



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

“MODELADO ESTOCÁSTICO EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE
HARINA DE PESCADO PARA LA EMPRESA ECUAFEED S.A., COMUNA
JAMBELÍ, SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:

JOEL FABIÁN AVELINO CRUZ

TUTOR

ING. RICHARD EDINSON MUÑOZ BRAVO, MGTR.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2025

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**“MODELADO ESTOCÁSTICO EN LOS PROCESOS DE
PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO PARA LA
EMPRESA ECUAFEED S.A., COMUNA JAMBELÍ, SANTA
ELENA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

JOEL FABIÁN AVELINO CRUZ

TUTOR:

ING. RICHARD EDINSON MUÑOZ BRAVO, MGTR.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2025

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Avelino Cruz Joel Fabián**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Industrial**.

TUTOR

f.


Ing. Richard Edinson Muñoz Bravo Mgrt.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f.


Ing. Isabel del Rocío Balón Ramos MSc.

La Libertad, a los 10 días del mes de diciembre del año 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing.

Richard Edinson Muñoz Bravo, Mgrt.

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “MODELADO ESTOCÁSTICO EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO PARA LA EMPRESA ECUAFEED S.A., COMUNA JAMBELÍ, SANTA ELENA”, elaborado por el Sr. AVELINO CRUZ JOEL FABIAN, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR

f. 

Ing. Richard Edinson Muñoz Bravo, Mgrt.

La Libertad, a los 10 días del mes de diciembre del año 2025

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Avelino Cruz Joel Fabian

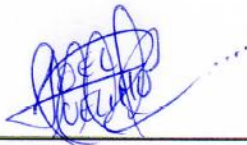
DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “Modelado estocástico en los procesos de producción de harina de pescado para la empresa Ecuafeed S.A., comuna Jambelí, Santa Elena” previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 10 días del mes de diciembre del año 2025

AUTOR:

f.  _____

Joel Fabián Avelino Cruz

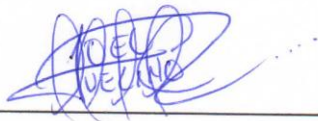
AUTORIZACIÓN

Yo, Avelino Cruz Joel Fabián

Autorizo a la Universidad Península de Santa Elena la publicación en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, **MODELADO ESTOCÁSTICO EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO PARA LA EMPRESA ECUAFEED S.A., COMUNA JAMBELÍ, SANTA ELENA**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 10 días del mes de diciembre del año 2025

AUTOR:

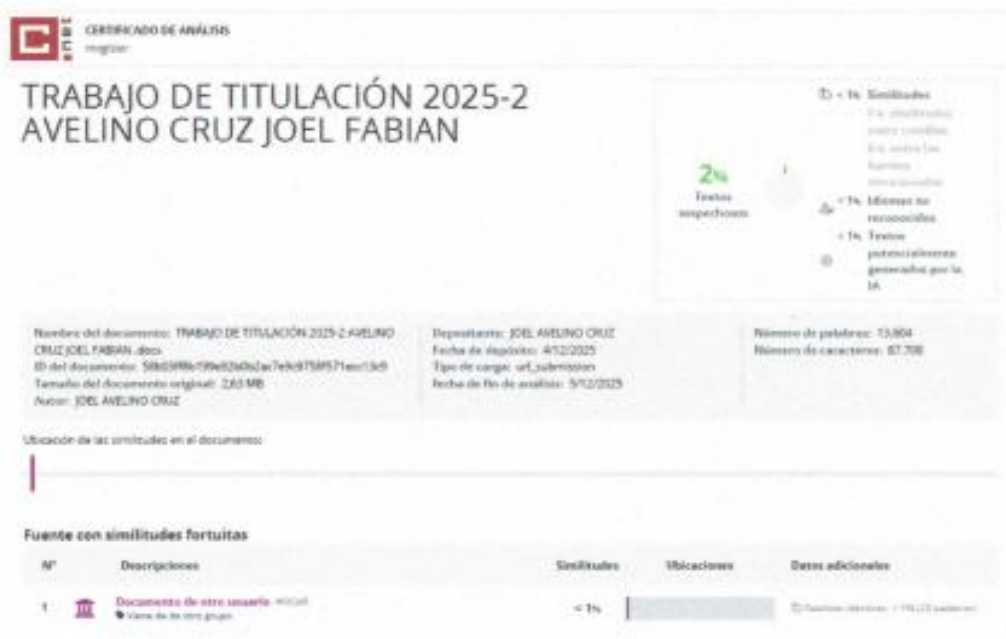
f. 

Joel Fabián Avelino Cruz

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**MODELADO ESTOCÁSTICO EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO PARA LA EMPRESA ECUAFEED S.A., COMUNA JAMBELÍ, SANTA ELENA**” elaborado por el Sr. **Avelino Cruz Joel Fabián**, egresado de la carrera de Ingeniería de Industrial, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 2% de la valoración permitida por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.



Atentamente,

f. 
Ing. Richard Edinson Muñoz Bravo, Mgtr.

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

VALIDACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

CERTIFICO

Que, he realizado la revisión y corrección del Trabajo de Integración Curricular para la obtención del título de Ingeniero Industrial, con el tema: **“MODELADO ESTOCÁSTICO EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO PARA LA EMPRESA ECUAFEED S.A., COMUNA JAMBELÍ, SANTA ELENA”**. Ha sido desarrollado por el estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial: **JOEL FABIÁN AVELINO CRUZ** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Que, el trabajo presenta un dominio formal del lenguaje, con expresión clara, coherencia discursiva y solidez interpretativa. Asimismo, garantizando su adecuación a los estándares académicos y formales requeridos.

Por lo expuesto, se expide el presente certificado para que los interesados lo utilicen ante las instancias que correspondan.

Atentamente,



Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.
Magister en Educación Básica
Correo: misabelp1017@gmail.com
C.C: 0605353143
Celular: 0969917044

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la salud, fortaleza y sabiduría necesarias para superar cada obstáculo y culminar esta etapa tan importante de mi vida académica.

A mi familia, por su apoyo incondicional, paciencia y motivación constante, que fueron el pilar fundamental durante todo el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mis docentes, por sus enseñanzas, orientación y acompañamiento académico, que contribuyeron de manera significativa a mi formación profesional y al fortalecimiento de este proyecto.

A la empresa ECUAFEED S.A., por brindar las facilidades necesarias para el acceso a la información y el apoyo institucional que hicieron posible el desarrollo de esta tesis.

Finalmente, expreso mi sincero agradecimiento a todas las personas que, directa o indirectamente, contribuyeron a la culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

Lleno de regocijo, amor y esperanza, dedico esta tesis a cada uno de mis seres queridos, quienes han sido el pilar fundamental para seguir adelante.

A mi hijo Fabian, mi mayor inspiración y la razón de todo mi esfuerzo, mi motivación para superarme cada día más. A mis padres por su amor incondicional y educación, por haberme forjado con principios y valores motivándome a cumplir mis sueños y no desistir.

A todos aquellos que creyeron en mí y depositaron su confianza en todo momento, en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo instante en mi inteligencia y capacidad.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

Ing. Isabel del Rocío Balón Ramos MSc.

DIRECTORA DE CARRERA

f. 


Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca, MSc

DOCENTE ESPECIALISTA

f. 

Ing. Richard Edinson Muñoz Bravo, Mgrt.

DOCENTE TUTOR

f. 

Ing. Herrera Brunett Gerardo, PhD.

DOCENTE UIC

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVII
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	5
MARCO TEÓRICO	5
1.1. Antecedentes investigativos.....	5
1.2. Revisión literaria.....	6
1.3. Estado conceptual	9
1.4. Descripción del Sistema Productivo Actual	10
CAPÍTULO II.....	29
DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	29
2.1. Métodos de investigación	29
2.2. Tipo de Investigación.....	29
2.3. Población y muestra.....	30
2.3.1. Población.....	30
2.3.2. Muestra.....	31
2.4. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	32
2.4.1. Métodos de Recolección de los Datos.....	32
2.4.2. Técnicas de Recolección de los Datos	33
2.4.3. Instrumentos de Recolección de los Datos.....	34
2.5. Diagnóstico de la situación problemática	35

2.5.1.	Análisis FODA	35
2.5.2.	Diagrama de Pareto	38
2.5.3.	Diagrama de Ishikawa.....	39
2.5.4.	Análisis de réplicas de tiempos	40
2.5.5.	Validación del instrumento de recolección de datos	44
CAPÍTULO III.....		59
PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN		59
3.1.	Alternativas de solución.....	59
3.2.	Implementación de la propuesta	60
3.2.1.	Etapa 1: Definición de la variable aleatoria	61
3.2.2.	Etapa 2: Formulación del modelo determinista base.....	62
3.2.3.	Etapa 3: Incorporación de la incertidumbre	62
3.2.4.	Etapa 4: Estimación de parámetros	63
3.2.5.	Etapa 5: Formulación matemática del modelo estocástico	63
3.2.6.	Etapa 6: Simulación y solución del modelo	64
3.2.7.	Etapa 7: Validación del modelo	65
3.2.8.	Etapa 8: Análisis de sensibilidad.....	66
3.3.	Justificación económica	67
3.4.	Justificación ambiental.....	68
3.5.	Justificación social	69
3.6.	Análisis comparativo	70
3.7.	Planning de control	71
3.8.	Marco de discusión	72
CONCLUSIONES		73
RECOMENDACIONES		74
REFERENCIAS.....		75
ANEXOS.....		80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bases de datos	7
Tabla 2. Datos de la empresa	10
Tabla 3. Calibración de equipos (preparación de calderos)	14
Tabla 4. Recepción de materia prima.....	15
Tabla 5. Cocción	16
Tabla 6. Prensado.....	16
Tabla 7. Prensado.....	17
Tabla 8. Secado rotatorio	18
Tabla 9. Purificado.....	19
Tabla 10. Molienda	19
Tabla 11. Ensaque.....	20
Tabla 12. Sellado.....	21
Tabla 13. Etiquetado	21
Tabla 14. Número de operadores por actividad	22
Tabla 15. Materiales y equipo por procesos	22
Tabla 16. Tiempos observados.....	23
Tabla 17. Diagrama de flujo de procesos de harina de pescado Ecuafeed S.A.	25
Tabla 18. Diagrama de operaciones de procesos	26
Tabla 19. Multicolumnas de proceso de producción de harina.....	27
Tabla 20. Población de estudio	31
Tabla 21. Muestra de estudio	31
Tabla 22. Matriz FODA.....	36
Tabla 23. Matriz MEFI	36
Tabla 24. Matriz MEFE.....	37
Tabla 25. Defectos identificados.....	41
Tabla 26. Procesos con tiempos muertos	41
Tabla 27. Datos de entrada.....	44
Tabla 28. Costos operativos.....	44
Tabla 29. Resumen juicio por expertos.....	45
Tabla 30. Puntuación de la medición del coeficiente Omega de McDonald	46
Tabla 31. Coeficiente de Omega de McDonald.....	47
Tabla 32. Valor Kaiser - Meyer - Olkin (KMO).....	47

Tabla 33. Prueba de KMO y Barlett	48
Tabla 34. Estadísticos de prueba de Kendall	48
Tabla 35. Tabulación de datos obtenidos.....	49
Tabla 36. Análisis e interpretación de resultados	53
Tabla 37. Correlación de Pearson	57
Tabla 38. Posibles soluciones	59
Tabla 39. Variables aleatorias y distribuciones	61
Tabla 40. Escenarios del modelo estocástico.....	63
Tabla 41. Parámetros operativos utilizados	63
Tabla 42. Resultados simulados del modelo.....	65
Tabla 43. Resultados del análisis de sensibilidad	66
Tabla 44. Presupuesto	67
Tabla 45. Cálculo del flujo de fondo.....	68
Tabla 46. Análisis comparativo (situación actual vs propuesta).....	71
Tabla 47. Planning de control de la propuesta	71
Tabla 48. Criterios de inclusión	81
Tabla 49. Bases de datos	81
Tabla 50. Determinación de modelos	85
Tabla 51. Determinación de las herramientas	86
Tabla 52. Determinación de los métodos.....	87
Tabla 53. Artículos extraídos	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de revisión literaria	6
Figura 2. Diagrama de flujo PRISMA	8
Figura 3. Organigrama de la empresa Ecuafeed S.A.	11
Figura 4. Ubicación de la empresa Ecuafeed S.A.	11
Figura 5. Protocolo de la investigación	29
Figura 6. Proceso para la recolección de datos	32
Figura 7. Técnicas de recolección de datos	33
Figura 8. Criterios de inclusión y exclusión para expertos	35
Figura 9. Diagrama de Pareto	39
Figura 10. Diagrama de Ishikawa primer nivel	39
Figura 11. Diagrama de Ishikawa segundo nivel.....	40
Figura 12. Diagrama de Pareto de operaciones	43
Figura 13. Ítems de la Variable independiente	50
Figura 14. Ítems de la Variable dependiente	51
Figura 15. Modelo matemático estocástico	65
Figura 16. Proceso de revisión de la literatura.....	80
Figura 17. Análisis bibliométrico de co-ocurrencia.....	82
Figura 18. Mapa bibliométrico de países con mayor aporte investigativo	83
Figura 19. Diagrama de flujo PRISMA	84
Figura 20. Etapas del modelo estocástico	85
Figura 21. Diagrama Pareto modelos	86
Figura 22. Diagrama de Pareto herramientas.....	87
Figura 23. Diagrama de Pareto Técnicas	88
Figura 24. Protocolo de investigación	89

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Estado del arte.....	80
Anexo 2. Operacionalización de las variables.....	93
Anexo 3. Instrumento de recolección de datos Cuestionario	94
Anexo 4. Instrumento de recolección de datos Entrevista.....	95
Anexo 5. Ficha de validación por juicio de expertos del cuestionario	96
Anexo 6. Validación Experto 1	97
Anexo 7. Validación Experto 2	97
Anexo 8. Validación Experto 3	98
Anexo 9. Validación Experto 4	98
Anexo 10. Validación Experto 5	99
Anexo 11. Tabulación de datos en IBM SPSS Statistics 25.....	99
Anexo 12. Coeficiente Omega de McDonald.....	100
Anexo 13. Prueba KMO y Barlett	100
Anexo 14. Estadísticos de prueba Kendall	101
Anexo 15. Correlación de Pearson	101
Anexo 16. Frecuencia de operaciones con tiempos de inactividad	102
Anexo 17. Aplicación del instrumento de recolección de datos.....	102
Anexo 18. Prensa de doble tornillo.....	103
Anexo 19. Área recepción de pesca.....	103
Anexo 20. Área de purificación.....	104
Anexo 21. Planta evaporadora.....	104
Anexo 22. Modelo matemático estocástico	105
Anexo 23. Ejecución del modelo estocástico	105

“MODELADO ESTOCÁSTICO EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO PARA LA EMPRESA ECUAFEED S.A., COMUNA JAMBELÍ, SANTA ELENA”

Autor: Avelino Cruz Joel Fabián

Tutor: Ing. Richard Edinson Muñoz Bravo, Mgrt.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo optimizar el proceso de producción de harina de pescado en la empresa Ecuafeed S.A., ubicada en la comuna Jambelí, provincia de Santa Elena, mediante la aplicación de un modelo estocástico de programación lineal entera mixta (MILP) orientado a maximizar el rendimiento bajo condiciones de incertidumbre. La investigación, de enfoque cuantitativo, inició con un diagnóstico operativo que identificó variaciones en la humedad de la materia prima, fallas en los equipos y tiempos improductivos promedio de 186,7 minutos diarios. Posteriormente, se desarrolló un modelo estocástico multiescenario implementado en Python 3.13 utilizando la librería Pyomo y el solucionador CBC, considerando 27 escenarios y tres periodos de análisis con variables aleatorias de humedad, capacidad y fallas operativas. Los resultados mostraron un incremento del 7,8 % en el rendimiento promedio de harina (de 13460 a 14514 kg por ciclo), una reducción del 14,2 % en tiempos improductivos y un ahorro del 15 % en consumo energético, además de una disminución del 10% en emisiones de CO₂. Desde el punto de vista financiero, la propuesta presentó un valor actual neto (VAN) de \$8.634,83, una tasa interna de retorno (TIR) del 18 % y un periodo de recuperación de la inversión (PRI) de 4 meses y 15 días, evidenciando su rentabilidad y sostenibilidad. En conclusión, la aplicación del modelo estocástico MILP permitió optimizar la producción de harina de pescado bajo incertidumbre, mejorando la eficiencia técnica, económica y ambiental de Ecuafeed S.A.

Palabras clave: modelo estocástico, harina de pescado, MILP, incertidumbre.

“STOCHASTIC MODELING IN FISHMEAL PRODUCTION PROCESSES FOR ECUAFEED S.A., JAMBELÍ MUNICIPALITY, SANTA ELENA”

Author: Avelino Cruz Joel Fabián

Tutor: Ing. Richard Edinson Muñoz Bravo, Mgrt.

ABSTRACT

The study aimed to optimize the fishmeal production process at Ecuafeed S.A., located in the Jambelí commune, Santa Elena province, by applying a stochastic mixed-integer linear programming (MILP) model designed to maximize yield under conditions of uncertainty. The quantitative research began with an operational diagnosis that identified variations in the moisture content of the raw material, equipment failures, and average downtime of 186.7 minutes per day. Subsequently, a multi-scenario stochastic model was developed and implemented in Python 3.13 using the Pyomo library and the CBC solver, considering 27 scenarios and three analysis periods with random variables for moisture, capacity, and operational failures. The results showed a 7.8% increase in average flour yield (from 13,460 to 14,514 kg per cycle), a 14.2% reduction in downtime, and a 15% saving in energy consumption, as well as a 10% decrease in CO₂ emissions. From a financial standpoint, the proposal presented a Net Present Value (NPV) of \$8,634.83, an Internal Rate of Return (IRR) of 18%, and a Payback Period (PP) of 4 months and 15 days, demonstrating its profitability and sustainability. In conclusion, the application of the MILP stochastic model made it possible to optimize fishmeal production under uncertainty, improving the technical, economic, and environmental efficiency of Ecuafeed S.A.

Keywords: stochastic model, fishmeal, MILP, uncertainty.

INTRODUCCIÓN

Globalmente, según Sarker et al., (2020), alrededor de 19 millones de toneladas de pescado, cerca del 20 % de la cantidad total capturada a nivel mundial, se convierten en cada año en harina y aceite de pescado, aunque el 90 % de este pescado capturado normalmente puede ser apto para el ser humano, sin embargo, esta industria ha experimentado cambios notables. Según The Marine Ingredients Organization, (2024), en el transcurso del año 2023, la producción mundial de harina de pescado experimentó una disminución de alrededor del 16 % en comparación con el mismo periodo del año anterior, marcando un factor relevante en la disminución global de la producción.

En este sentido los modelos estocásticos son esenciales para describir fenómenos que cambian de forma incierta con el tiempo, en el cual solo el estado presente de los procesos es relevante para predecir el futuro Saini et al., (2023). Este enfoque permite que una variable siga un proceso estocástico cuando cambia de valor en el tiempo, en forma aleatoria constituyendo una base sólida para el análisis y la optimización de procesos.

De este modo Rasay et al., (2022), realizaron un estudio en Canadá, donde presentaron un modelo integrado de mantenimiento y control estadístico de procesos (CEP) para un proceso de producción con tres estados. El modelo se desarrolló sin supuestos restrictivos sobre el mecanismo de fallo del proceso (PFM), el proceso estocástico que representa el efecto imperfecto del mantenimiento y los gráficos de control empleados para la monitorización del proceso. Por lo tanto, desde tres puntos de vista, el modelo propuesto presentó una estructura general que permitió su amplia aplicabilidad en diferentes condiciones de trabajo.

Un estudio realizado por Yang et al., (2024), en Brazil, proponen un algoritmo de simulación de Monte Carlo para abordar la incertidumbre epistémica demostrando que los modelados estocásticos y las herramientas de simulación avanzada son ampliamente utilizados en diferentes industrias para gestionar la incertidumbre y optimizar procesos productivos en entornos variables y complejos.

En Ecuador, esta realidad no es ajena, aunque las industrias han mostrado un crecimiento sostenido, superando las 70.000 toneladas anuales de harina de pescado en 2024, todavía existen limitaciones en el uso de tecnologías para gestionar la variabilidad del proceso (Joselo et al., 2023). En este entorno, la comuna Jambelí se convierte en un punto focal donde se entrelazan el esfuerzo humano, el conocimiento técnico y el potencial productivo.

En Jambelí, se ubica Ecuafeed S.A., un negocio comprometido con la fabricación de harina de pescado, ingrediente básico en la producción de un alimento balanceado. Sin embargo, aunque la empresa posee trayectoria y capacidad instalada, en la producción se siguen presentando variaciones y problemáticas que dificultan ir logrando un nivel de eficiencia en el proceso.

Ante esta realidad, surge la necesidad de aplicar herramientas de software, tales como: MATLAB, R, Python y solucionador CBC. Este estudio busca, precisamente, aportar a la mejora continua de Ecuafeed S.A., ayudando a que sus procesos sean más eficientes, sostenibles y adaptables, en beneficio tanto de la empresa como de la comunidad que la rodea. Estas plataformas permiten la modelación, simulación y análisis de procesos aleatorios con aplicaciones en diversas áreas de la ingeniería que ayudan a entender mejor la variabilidad.

Planteamiento del problema

A nivel mundial, el acceso a los recursos pesqueros enfrenta una creciente presión debido al cambio climático, la sobrepesca y la variabilidad natural de los ecosistemas marinos (González et al., 2024). Los problemas en el abastecimiento de materia prima, como la harina de pescado, han llevado a las incertidumbres de varias industrias a tener problemas con la producción a nivel mundial (Selvaraj et al., 2023). En Dinamarca, se han presentado problemas de disponibilidad en la producción de harina de pescado, ya que hay limitaciones a la pesca de especies como el arenque. Ante esta situación, las empresas danesas han comenzado a implementar la incertidumbre de forma controlada utilizando modelos estocásticos y la simulación de procesos de producción con el fin de optimizar la sostenibilidad de sus procesos (Möllmann et al., 2021). Estos ejemplos reflejan que la alta tecnología de la producción mundial no puede evitar que la variabilidad en el uso de la tecnología con el fin de resolver el problema.

En América Latina no ha sido ajeno a esta problemática, es la principal productora de harina de pescado, y sus modelos estadísticos que se han comenzado a utilizar para la predicción de extracción han optimizado el uso de energéticos en sus plantas (Losada & Papa, 2023). Existe en el Pacífico Norte y en el Golfo de México, zonas que en México han desarrollado en gran potencial en los sectores pesqueros. Aunque su volumen de producción de harina de pescado es menor de aproximadamente entre 25.000 y 35.000 toneladas anuales, según cifras del CONAPESCA, en los últimos años ha impulsado procesos de modernización

en algunas plantas, con el objetivo de aprovechar mejores subproductos del procesamiento de atún y sardina (García & Mateus, 2024). Mientras tanto, Ecuador se ha posicionado como una zona clave gracias a la fuerte presencia de actividades pesqueras, tanto artesanales como industriales (Cepeda & Chamba, 2019). La falta de innovación bloquea a las empresas locales para alcanzar los niveles de eficiencia y estabilidad de sus pares regionales

En la provincia de Santa Elena y en el distrito de Jambelí, esta situación es evidente en la planta de procesamiento Ecuafeed S.A., donde las operaciones presentan variaciones constantes en la disponibilidad de materia prima, en el desempeño de los equipos y en los tiempos de ejecución de las actividades productivas. Estas condiciones generan incertidumbre operativa que afecta la eficiencia del proceso y la planificación diaria, destacando la necesidad de implementar herramientas analíticas que permitan optimizar la producción y mejorar la toma de decisiones.

A pesar de que la planta cuenta con experiencia y un ciclo de producción constante y continuo, los problemas en el sistema de producción como el sistema termodinámico, las variaciones en la calidad del pescado y la humedad de las materias primas influyen en gran medida en la eficiencia del sistema anterior.

Por otro lado, el modelaje estocástico permite representar la incertidumbre con la que podemos encontrarnos en los procesos productivos de una manera más realista, analizando probabilidades, simulando decisiones y generando información que puede ser útil para la planificación.

Formulación del problema de investigación

¿Cómo influye la modelización estocástica en la producción de harina de pescado en Ecuafeed S.A.?

Objetivos:

Objetivo general

Diseñar un modelo estocástico mediante la consideración de incertidumbre operativa y los factores claves para la optimización de los procesos de producción de harina de pescado en Ecuafeed S.A.

Objetivos específicos

OE1. Realizar una revisión sistemática mediante el análisis literario para el sustento de la variable dependiente e independiente.

OE2. Desarrollar un marco metodológico a través del uso de herramientas y técnicas de análisis para identificación de oportunidades de mejora en cada etapa del modelo estocástico.

OE3. Proponer un modelo estocástico para la optimización de los procesos de producción de harina de pescado en la empresa Ecuafeed S.A.

Justificación

La industria pesquera, a pesar de ser una fuente clave de empleo, alimentos y desarrollo económico, enfrenta actualmente una creciente incertidumbre debido a factores climáticos, ambientales y operativos. El proceso de producción de harina de pescado sigue presentando una alta variabilidad en cuanto a calidad de materia prima, condiciones técnicas y eficiencia operativa en países latinoamericanos. En ese sentido, aplicar herramientas que permitan comprender y gestionar esa variabilidad, como el modelado estocástico, se vuelve indispensable para asegurar operaciones más estables, eficientes y responsables.

En Ecuador, en la provincia de Santa Elena, la producción de harina de pescado ha mostrado un aumento significativo; sin embargo, aún se evidencia deficiencias con respecto a la adopción de soluciones técnicas que optimicen los procesos en tiempo real. La empresa Ecuafeed S.A., ubicada en la comuna Jambelí, ilustra claramente esta necesidad de avance para su crecimiento. Al implementar un modelo estocástico al proceso de producción de harina de pescado, se pretende no solo reflejar la realidad de forma más precisa, sino también ofrecer una herramienta técnica que permita a la empresa a prever alteraciones en el sistema, disminuir el desperdicio energético y elevar su nivel de competencia en el mercado.

Además, este estudio está alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 9: «Industria, Innovación e Infraestructura», que se centra en la promoción del desarrollo de tecnologías resilientes y sostenibles. Invertir en herramientas como el modelado estocástico es beneficioso para la empresa e impacta positivamente en la comuna de Jambelí y la provincia de Santa Elena al mejorar y sostener la eficiencia del proceso de producción, logrando un compromiso con una industria más innovadora, responsable y orientada al futuro.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

Un estudio realizado por Yan et al., (2025), propone un método de modelado de sensores blandos mediante una red de configuración estocástica de optimización basada en datos para construir modelos de monitoreo de alto rendimiento, permitiendo ventajas en cuanto a precisión y compacidad estructural, alcanzando los valores más bajos de RMSE y MAPE, 3,486 y 5,811, respectivamente.

Otro estudio realizado por Jang & Lee, (2024), consideraron varias situaciones que surgen en una red de cadena de suministro de hidrógeno basada en electrólisis (HSCN). Modelan una programación estocástica (SP) multietapa para considerar la incertidumbre de la demanda y la capacidad de transporte generada en HSCN. Además, proponen una nueva metodología la cual se basa en la aproximación ponderada del promedio de muestras de escenarios (WSSAA), para derivar una solución efectiva para el modelo SP multietapa considerando varios escenarios bajo la cadena de suministros de hidrógeno.

De este modo Rasay et al., (2022), realizaron un estudio en Canadá, donde presentaron un modelo integrado de mantenimiento y control estadístico de procesos (CEP) para un proceso de producción con tres estados. El modelo se desarrolló sin supuestos restrictivos sobre el mecanismo de fallo del proceso (PFM), el proceso estocástico que representa el efecto imperfecto del mantenimiento y los gráficos de control empleados para la monitorización del proceso. Por lo tanto, desde tres puntos de vista, el modelo propuesto presentó una estructura general que permitió su amplia aplicabilidad en diferentes condiciones de trabajo.

Por otra parte, un estudio realizado por Yang et al., (2024), en Brasil, desarrollan una estrategia de mantenimiento para sistemas hidráulicos mediante un enfoque integrado que considera la incertidumbre epistémica y la formación de múltiples fuentes. Modelan un sistema hidráulico mediante un árbol de fallas, que posteriormente se convierte en un modelo de red de Petri estocástica generalizada y proponen un algoritmo de simulación de Monte Carlo para abordar la incertidumbre epistémica derivada de las tasas de fallo de los eventos básicos dentro de su compleja estructura. Por último, presentan los resultados a través de un estudio de caso del sistema hidráulico de un camión volquete con un mecanismo de empuje lateral.

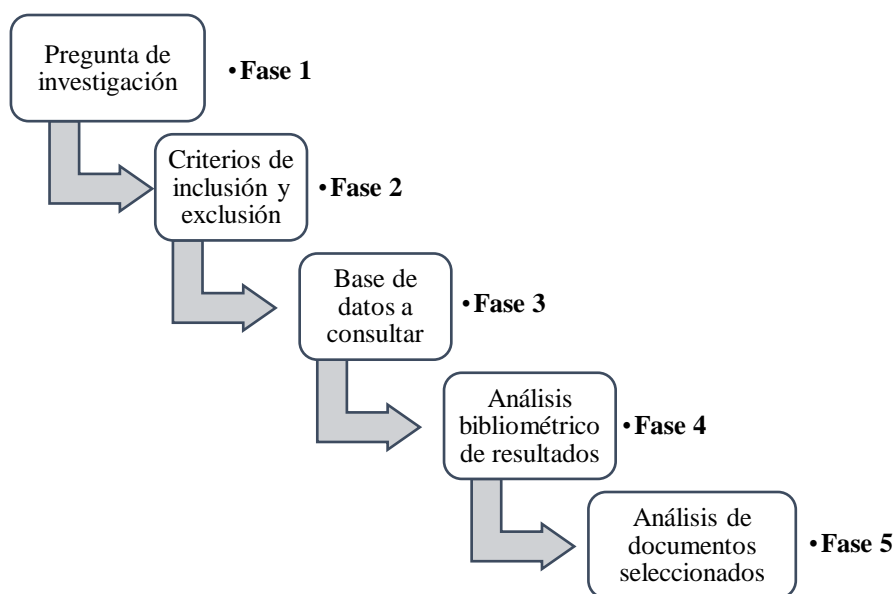
Estos antecedentes muestran que las herramientas de modelado y simulación estocástica se utilizan ampliamente en múltiples industrias para enfrentar la incertidumbre y mejorar el rendimiento de los sistemas de producción en entornos dinámicos y complejos. Los estudios mencionados anteriormente muestran que tales metodologías son capaces de prever escenarios, mejorar la precisión de las predicciones, la utilización de recursos y los riesgos operativos. Aplicado al contexto de la producción de harina de pescado en Ecuafeed S.A., este enfoque respalda la viabilidad de implementar un modelo estocástico como herramienta clave para enfrentar la variabilidad en la materia prima, mejorar la eficiencia térmica y energética, y garantizar una producción más estable y competitiva.

1.2. Revisión literaria

Para la revisión literaria se establece una secuencia lógica y estructurada de fases orientadas a garantizar la pertinencia y calidad de la información recopilada, presentada a continuación en la Figura 1.

Figura 1.

Proceso de revisión literaria.



Nota. Elaborado por el autor.

La Figura 1, describe el proceso a seguir en la revisión literaria, la cual se encuentra dividida en 5 fases. Inicia con la formulación de la pregunta de investigación, que define el enfoque y los límites del estudio. Luego, se establece los criterios de inclusión y exclusión que permiten filtrar la información relevante y descartar aquella que no se encuentra ajustada al

objetivo propuesto. A continuación, se eligen las bases de datos que se utilizarán para su consulta, asegurando la cobertura y confiabilidad de las fuentes. Con la información recopilada, se elabora un análisis de tipo bibliométrico para el fin de establecer tendencias, autores destacados, cantidad de publicaciones y áreas de conocimiento en el tema a investigar. Finalmente, se analiza la documentación seleccionada, en la que se indaga minuciosamente su contenido para extraer conclusiones, comparar perspectivas y establecer la fundamentación teórica que respalda el estudio que sustenta la investigación.

Tabla 1.

Bases de datos.

Base de datos	Resultados de búsqueda	% de resultados
Scopus	283	9.56 %
ScienceDirect	2677	90.44 %
TOTAL	2960	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

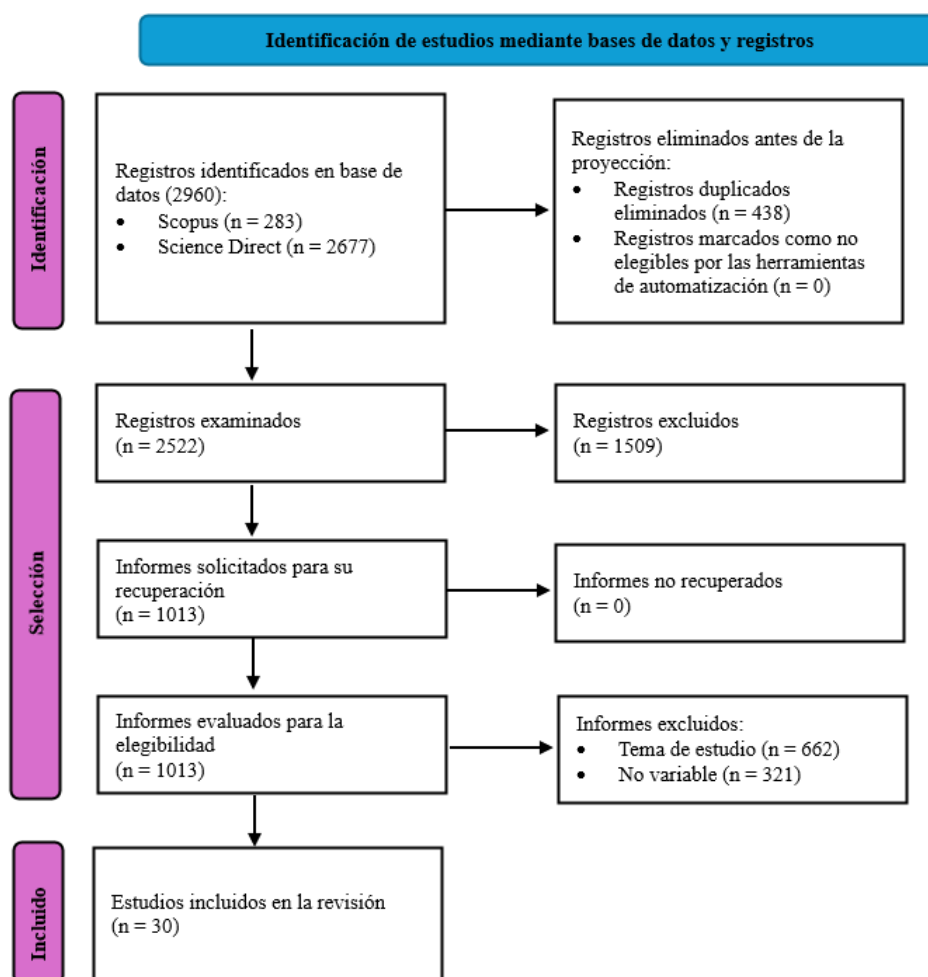
Como se muestra en la Tabla 1, se consideraron un total de 2960 artículos encontrados de la base de datos, tales como, Scopus y ScienceDirect, lo que permite la aplicación de los filtros correspondientes para la selección y extracción de datos. Los artículos de estas bases de datos fueron sometidos a una revisión sistemática por medio de los softwares VOSviewer y Bibliometrix, para el análisis de los registros bibliográficos y seleccionar la información adecuada para la propuesta de investigación.

Análisis de artículos seleccionados

Los resultados de la revisión literaria demuestran un total de 2960 artículos, de los cuales 283 fueron seleccionados de la base de datos Scopus y 2677 de ScienceDirect. De este modo, inicia el proceso de exclusión donde 438 artículos fueron descartados al estar duplicados, 1509 fueron excluidos por ser publicados antes del 2020, 662 artículos fueron suprimidos al no ser relacionados con el tema de estudio. Posteriormente, 351 artículos subsisten para determinar su elegibilidad. Luego, 321 artículos son eliminados debido al no incluir las variables de estudio. Finalmente, se seleccionaron 30 artículos que serán utilizados en el análisis literario. En la Figura 2 se establece la secuencia lógica del proceso de inclusión y exclusión.

Figura 2.

Diagrama de flujo PRISMA.



Nota. Aplicación de criterios en cada etapa de selección.

Fijándose en la figura se constatan 2960 registros en las bases de datos Scopus y ScienceDirect 38 de los cuales se descartan por ser duplicados. A continuación, en la fase de lectura de los títulos y resúmenes de los 2.522 registros, se eliminan 1.509 registros por no tener relación directa con el objeto de estudio. Así, se solicitan los 1.013 informes para su revisión, informes que fueron recuperados todos ellos. No obstante, en la fase de lectura para determinar los informes elegibles, se excluyen 662 por no estar relacionados con la temática considerada y 321 por no tener variables relacionadas con la cuestión que guía el análisis, reduciendo de una manera drástica la muestra inicial. Al final, en este proceso se dan todos aquellos informes elegibles y pertinentes, que suman un total de 30 estudios (ver Anexo 1) que se incluyen en la revisión y que aseguran que la información obtenida es relevante, accesible y está directamente relacionada con los objetivos que se han fijado.

1.3. Estado conceptual

Tipos de modelos estocásticos

Modelos de Markov: tipo particular de proceso estocástico donde el estado futuro depende únicamente del estado actual y no de la secuencia de eventos pasados. Útiles para describir etapas del proceso productivo con cambios discretos de estado (Baldovino et al., 2022).

Simulación de Monte Carlo: método estadístico que utiliza la generación repetida de números aleatorios para estimar el comportamiento probabilístico de un sistema, evaluando el impacto de la variabilidad en las salidas del proceso (Otero et al., 2021).

Red de Petri estocástica: instrumento de diseño que ilustra la secuencia de operaciones de un sistema y sus variaciones de condición en situaciones inciertas, utilizado en procesos industriales sucesivos (Serrano, 2022).

Modelos de procesos de Wiener (o movimiento browniano): se caracterizan por cambios constantes y aleatorios a lo largo del tiempo, frecuentemente aplicados a variables que oscilan de manera progresiva (Urumov et al., 2024).

Proceso estocástico: se trata de un conjunto de variables aleatorias que cambian con el tiempo o el espacio, representando sistemas en los que hay duda o variación en sus estados futuros (Wolpert et al., 2024).

Programación estocástica: técnica matemática de optimización que incorpora la incertidumbre en las variables de decisión y restricciones, a través de escenarios y probabilidades (Borodin et al., 2016).

Materia prima: son aquellos materiales de origen natural que se extraen de la naturaleza, ya sea como minerales, plantas o animales y que se utilizan con la finalidad de crear bienes para el consumo humano (León-Serrano et al., 2024).

Etapas del proceso

- Recepción y almacenamiento de materia prima.
- Cocción para coagular proteínas y separar agua y grasa.
- Prensado para extraer líquidos.
- Secado para reducir humedad a niveles estándar.

- Molienda y envasado.

1.4. Descripción del sistema productivo actual

Descripción de la empresa

La empresa Ecuafeed S.A., ubicada en la comunidad de Jambelí, parroquia Colonche, en la provincia de Santa Elena, se especializa en la producción y comercialización de harina y aceite de pescado, insumos esenciales para la elaboración de alimentos destinados a la industria acuícola. Fundada el 25 de mayo de 2011 como empresa de tipo anónima, la entidad está inscrita en el sector G463032. Su objetivo primordial es la producción de alta calidad, asegurando la seguridad alimentaria mediante métodos de control apropiadas en los procesos de fabricación, fomentando la sostenibilidad del medio ambiente y contribuyendo al desarrollo social de la comunidad.

En los últimos años, la empresa ha experimentado un notable crecimiento dentro de la provincia de Santa Elena, destacándose por la construcción de una nueva sucursal en la parroquia Chanduy. En el ámbito comercial, ha logrado ampliar su presencia al distribuir sus productos tanto en el mercado nacional como en el internacional, alcanzando destinos como China, Japón, Chile, Perú y Colombia. Este proceso de expansión ha permitido que la compañía se consolide como un referente en el sector, reconocida por su capacidad para satisfacer eficazmente las demandas de sus clientes. En la Tabla 2 se detallan los datos generales de la empresa.

Tabla 2.

Datos de la empresa.

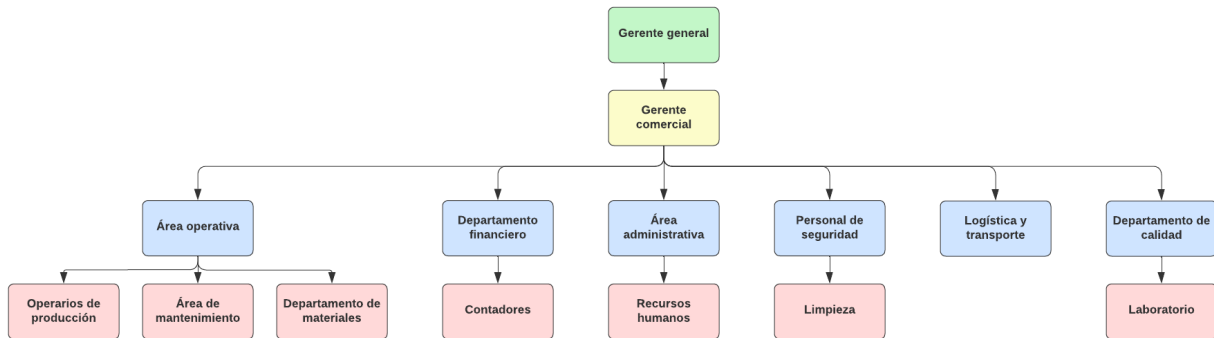
Datos de ECUAFEED S.A.	
Nombre de la institución	ECUAFEED S.A.
Razón social	Sociedad Anónima
Registro único de contribuyente (RUC)	0992721952001
Tipo de empresa	Privada
Código postal	240105/ Colonche – Santa Elena- Ecuador
Dirección	Barrio Virgen de Rosario (sector las pampas), comuna Jambelí, parroquia Colonche, provincia de Santa Elena
Teléfono	593-0991141087 / 593- 098258629
Correo electrónico	pescadosymariscos1955@hotmail.com

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 2 presenta los datos fundamentales de la entidad en la que se lleva a cabo la presente investigación, incluyendo el nombre comercial, tipo de empresa, sociedad y RUC, código postal, dirección y medios de contacto. De esta manera, se exponen los aspectos informativos esenciales que identifican a Ecuafeed S.A.

Figura 3.

Organigrama de la empresa Ecuafeed S.A.



Nota. Ecuafeed S.A.

La planta se encuentra ubicada en la comuna Jambelí, sector Las Pampas en el barrio Virgen del Rosario constando con un perímetro de 630.88 m y un área 21,301.13 m²

Figura 4.

Ubicación de la empresa Ecuafeed S.A.



Nota. Elaborado por el autor mediante Google Maps.

En Ecuafeed S.A., las actividades operativas se desarrollan combinando el trabajo humano con el uso de equipos mecánicos, con el propósito de elaborar harina de pescado de alta calidad. Todo el proceso se lleva a cabo bajo los lineamientos establecidos por el

departamento de producción, garantizando el cumplimiento de los estándares de inocuidad alimentaria. En este marco, se detalla a continuación cada una de las etapas que conforman el proceso de producción.

Calibración de los equipos

En esta etapa, los calderos se acondicionan hasta alcanzar una temperatura máxima de 95 °C, generando la presión de vapor necesaria, que oscila entre 100 y 110 psi, la cual se dirige hacia el área de producción para iniciar la fase de cocción. El consumo de combustible estimado por cada caldero es de aproximadamente 1.000 galones por hora.

Recepción de materia prima

En esta fase, se recibe la materia prima (pesca fresca), la cual es almacenada en dos pozas con el apoyo de tres operarios asignados. La poza N.º 1 posee una capacidad de 30 toneladas, mientras que la poza N.º 2 puede contener hasta 20 toneladas. Para iniciar el proceso productivo, ambas pozas deben estar completamente llenas, garantizando así un flujo continuo de materia prima hacia las etapas posteriores.

Cocción

En esta etapa, la materia prima es transferida a una cocina industrial con una capacidad de 20 toneladas, donde se somete a una temperatura igual o superior a 85 °C durante un tiempo aproximado de 15 minutos. Este procedimiento permite ablandar y acondicionar el producto, facilitando así la fase de prensado, que constituye el siguiente paso en el proceso de producción.

Prensado

Esta etapa se realiza utilizando un equipo mecánico denominado Prestainer, en el cual se exprime el pescado previamente cocido hasta alcanzar una humedad igual o inferior al 52 %. Durante este proceso también se separa la materia sólida, obteniendo la torta de pescado, de los líquidos acuosos, compuestos por agua y aceite.

Secado

En esta etapa se utilizan dos secadores industriales con el fin de reducir la humedad de la materia prima ya transformada en harina, manteniendo una temperatura igual o superior a 75 °C. El primer secador se encarga de disminuir la humedad aproximadamente en un 45 %, mientras que el segundo secador la reduce hasta alcanzar un 20 %.

Secado rotatorio

En este proceso se utilizó una cámara de fuego junto con un secador rotatorio para disminuir la humedad de la harina en un 10 %, operando a una temperatura de 140 °C. El aire caliente actúa como el elemento principal que permite reducir el contenido de humedad del producto.

Purificado

La operación se llevó a cabo mediante un purificador industrial, cuya función es remover residuos e impurezas presentes en la harina, como restos plásticos, fragmentos de huesos de pescado, cuerdas u otros desechos. Este equipo puede procesar hasta 8 toneladas de harina en un lapso de 15 minutos, asegurando un producto limpio y con estándares adecuados de calidad.

Molienda

Posteriormente, se ejecuta una segunda etapa de filtrado que actúa como un refuerzo al proceso anterior. Su finalidad es eliminar cualquier impureza residual que aún pudiera permanecer en la harina de pescado. Este sistema tiene una capacidad de purificación de 15 toneladas y, una vez que el producto queda completamente limpio, se continúa con las fases siguientes del proceso productivo.

Ensamado

En la fase de envasado, la harina de pescado se deposita en big bags con capacidad para 1.000 kg. Aquí se controla minuciosamente el peso de cada saco y se registran parámetros como la humedad y la temperatura del lote, con el fin de clasificar la harina según sus características antes de su almacenamiento o distribución.

Sellado

A continuación, se realiza el sellado de los envases con el objetivo de extraer el aire y asegurar un cierre hermético mediante vacío. Esta tarea se ejecuta con máquinas de coser industriales para sacos y suele requerir alrededor de 15 minutos.

Etiquetado

En esta etapa, cada big bag de harina fue etiquetado indicando sus características principales, como el nivel de proteínas, calidad, humedad y peso. Esta información sirve como referencia para el almacenamiento, el cual se realiza en función de dichas propiedades.

Almacenado

En la fase final del proceso productivo, el producto terminado se traslada a un almacén (A o B) utilizando pallets con capacidad máxima de 1.000 kg y montacargas. La harina se organiza y clasifica de acuerdo con el número de lote y la fecha de fabricación.

Análisis de datos

Situación actual del proceso productivo

El propósito de identificar todas las actividades que conforman la línea de producción, se realizó un levantamiento de procesos que permitió distinguir de manera individual cada una de las operaciones involucradas en la elaboración de la harina de pescado. Este trabajo facilitó un análisis detallado tanto de los procesos como de sus subprocesos. En la Tabla 3 se presenta la información general correspondiente a la actividad calibración de equipos.

Tabla 3.

Calibración de equipos (preparación de calderos).

OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN			
Proceso	Calibración de equipos (preparación de calderos)		
Producto	Harina de pescado		
Máquina	Caldero	Número de actividad	1
Objetivo	Acondicionar previamente los calderos hasta alcanzar una presión cercana a 100-110 psi.		
Alcance	Se ejecuta con el propósito de producir harina de pescado.		
Act. Precedente	-	Entrada	Gasolina 100 galones
Output	Vapor	Operador	
N	Tareas		Observación
1	Encender el caldero		
2	Ajustar presiones de caldero		
3	Registrar el consumo de combustible y presiones		
4	Esperar hasta obtener la presión deseada		
5	Enviar el vapor a la cocina industrial		

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 3 presenta la información general de la actividad, la cual es ejecutada por un operador y está conformada por cinco subactividades esenciales: el encendido del caldero, el ajuste de presiones, el registro del consumo, la verificación de la presión requerida y el envío de vapor hacia las cocinas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema térmico. En cambio, la Tabla 4 detalla los datos correspondientes al proceso siguiente, relacionado con la recepción de la materia prima, fase en la que se inicia formalmente el flujo productivo mediante la descarga, verificación y preparación del pescado antes de su ingreso a las etapas de transformación.

Tabla 4.

Recepción de materia prima.

OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN			
Proceso	Recepción de materia prima		
Producto	Harina de pescado		
Máquina	Poza 1 y 2	Número de actividad	2
Objetivo	Descargar la materia prima mediante el esfuerzo humano para abastecer la poza donde se almacena la materia prima		
Alcance	Se ejecuta con el propósito de producir harina de pescado.		
Act. Precedente	.-	Entrada	Materia prima
Output	Materia prima	Operador	
N	Tareas	Observación	
1	Colocar equipo para descargar la materia prima		
2	Descargar la materia prima de camiones		
3	Organizar la materia prima		
4	Encender los tornillos transportadores		

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 4 presenta la información correspondiente al proceso 2, el cual no cuenta con un código de registro dentro del sistema actual de la empresa. Esta actividad es ejecutada por tres operarios por turno y se compone de cuatro subactividades fundamentales: la colocación de equipos, la descarga de materia prima, la organización del producto en el área de trabajo y el encendido de los transportadores que permiten su desplazamiento hacia las siguientes fases del proceso. Cada una de estas tareas requiere coordinación entre los operarios, ya que constituyen la base para garantizar un flujo adecuado de la materia prima desde su recepción hasta su tratamiento inicial. Por su parte, la Tabla 5 detalla los datos asociados a la etapa de cocción, cuyo objetivo principal es someter la materia prima a un proceso controlado de

calentamiento mediante una cocina industrial, asegurando que alcance las condiciones necesarias para continuar con las operaciones de separación, secado y prensado propias del sistema productivo.

Tabla 5.

Cocción.

OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN			
Proceso	Cocción		
Producto	Harina de pescado		
Máquina	Cocina industrial	Número de actividad	3
Objetivo	Cocinar la materia prima mediante una cocina industrial para preparar ablandar el pescado		
Alcance	Se ejecuta con el propósito de producir harina de pescado.		
Act. Procedente	Recepción de materia prima	Entrada	Materia prima
Output	Materia prima cocinada	Operador	
N	Tareas		Observación
1	Encender cocina		
2	Ajustar temperatura (85°)		
3	Receptar la materia prima procedente		
4	Esperar el completamiento de la cocción (entre 15 a 20 min)		
5	Expulsar la materia prima cocida a la prensa		

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 5 presenta los datos correspondientes al proceso 3, el cual es ejecutado por un operador y está conformado por cinco subprocesos principales: encendido de la cocina, ajuste de temperatura, recepción de la materia prima, cocción y posterior traslado hacia la prensa. En esta etapa se destaca el tiempo de espera generado durante la cocción, ya que representa una de las pausas operativas más significativas del ciclo productivo. Por su parte, la Tabla 6 expone la información general del proceso de prensado, en el cual se separa el contenido sólido y líquido del producto cocido, constituyendo una fase determinante para la eficiencia y el rendimiento final de la harina de pescado.

Tabla 6.

Prensado.

OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN			
Proceso	Prensado		
Producto	Harina de pescado		
Máquina	Prensa industrial	Número de actividad	4

Objetivo	Exprimir el agua mediante el uso de una presa para disminuir la humedad presente en la materia prima cocinada		
Alcance	Se ejecuta con el propósito de producir harina de pescado.		
Act. Precedente	Cocción	Entrada	Materia prima cocinada
Output	Harina húmeda	Operador	
N	Tareas		Observación
1	Preparar máquina		
2	Receptar salida del proceso precedente		
3	Ajustar el amperaje (40 – 45 amp)		
4	Poner en marcha la prensa		
5	Enviar al transportador de harina exprimida		

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 6 presenta la información correspondiente a la actividad 4, realizada por un operador y conformada por cinco subactividades: preparación de la maquinaria, recepción del producto resultante, ajuste de amperaje, puesta en marcha y envío al transportador. Es relevante ajustar correctamente el amperaje de la máquina para mejorar la eficiencia del proceso. Por otro lado, la Tabla 7 detalla los datos generales del proceso de secado.

Tabla 7.

Prensado.

OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN			
Proceso	Secado		
Producto	Harina de pescado		
Máquina	Secador doble	Número de actividad	5
Objetivo	Secar la harina mediante un doble secador industrial para eliminar la humedad presente en la harina		
Alcance	Se ejecuta con el propósito de producir harina de pescado.		
Act. Precedente	Prensado	Entrada	Harina húmeda
Output	Harina húmeda	Operador	
N	Tareas		Observación
1	Preparar secadores		
2	Abrir entradas superiores		
3	Encender secador		
4	Esperar el secado de la harina		
5	Encender transportador al siguiente proceso		

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 7 presenta los datos de la actividad 5, identificada, realizada por un operador y conformada por cinco subprocesos: preparación de los secadores, apertura de entradas, encendido de la máquina, tiempo de secado y activación del transportador. Por su parte, la Tabla 8 describe un proceso de secado adicional, que utiliza un secador rotatorio junto con una cámara de fuego para completar la deshidratación del producto.

Tabla 8.

Secado rotatorio.

OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN			
Proceso	Secado rotatorio		
Producto	Harina de pescado		
Máquina	Secador rotatorio	Número de actividad	6
Objetivo	Secar la harina mediante una cámara de fuego y secador rotatorio para reducir la humedad en un 20% a 45% presente en la harina		
Alcance	Se ejecuta con el propósito de producir harina de pescado.		
Act. Procedente	Secado	Entrada	Harina húmeda
Output	Harina con humedad reducida	Operador	
N	Tareas		Observación
1	Preparar el secador		
2	Receptar la harina procedente de la actividad anterior		
3	Encender cámara de fuego		
4	Esperar el secado de harina		
5	Enviar la harina al siguiente proceso		

Nota. Elaborado por el autor.

El proceso 6, presentado en la Tabla 8, es ejecutado por un operador y está compuesto por cinco subactividades: preparación del equipo, recepción de la harina, encendido de la cámara de fuego, tiempo de secado y envío del producto hacia la siguiente etapa. En esta fase se genera un tiempo de espera indispensable para reducir la humedad de la harina, la cual debe pasar de valores iniciales entre el 20 % y el 45 % hasta niveles adecuados para su procesamiento posterior. Por su parte, la Tabla 9, correspondiente al proceso de purificación, detalla la información básica de esta actividad, cuyo propósito es separar impurezas y obtener un producto más uniforme y apto para la etapa final de molienda y envasado.

Tabla 9.*Purificado.*

OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN			
Proceso	Purificado		
Producto	Harina de pescado		
Máquina	Purificador	Número de actividad	7
Objetivo	Purificar la harina de pescado mediante el uso de un motor eléctrico para eliminar las impurezas de presentes en la harina		
Alcance	Se ejecuta con el propósito de producir harina de pescado.		
Act. Precedente	Secado rotatorio	Entrada	Harina con humedad reducida
Output	Harina sin impurezas mínimas	Operador	
N	Tareas		Observación
1	Encender el motor		
2	Revisar malla		
3	Colocar envase de impurezas		
4	Dejar la máquina operar		
5	Retiro de envase de impurezas		

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 9 muestra la información correspondiente al proceso 7, el cual es realizado por un operador y consta de cinco subprocesos: encendido del motor, revisión de la malla, colocación del envase, operación de la máquina y retiro de impurezas. Este proceso funciona como el primer filtro encargado de eliminar partículas presentes en la harina. Por otro lado, la Tabla 10 presenta los datos del proceso de molido.

Tabla 10.*Molienda.*

OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN			
Proceso	Molienda		
Producto	Harina de pescado		
Máquina	Moedor de martillo	Número de actividad	8
Objetivo	Moler la harina mediante un molino industrial para eliminar las impurezas restantes del proceso anterior		
Alcance	Se ejecuta con el propósito de producir harina de pescado.		
Act. Precedente	Purificado	Entrada	Harina con impurezas mínimas

Output	Harina con impurezas mínimas	Operador	
N	Tareas		Observación
1	Colocar recipiente		
2	Encender el equipo		
3	Receptar la harina procedente		
4	Enviar la harina limpia al transportador		

Nota. Elaborado por el autor

La Tabla 10 presenta los datos del proceso 8, el cual no cuenta con código de registro, es ejecutado por un operador y comprende cuatro subactividades: colocación del recipiente, encendido del equipo, recepción del producto y envío al transportador. Este proceso actúa como un segundo filtro, encargado de eliminar las impurezas residuales de la harina. Por su parte, la Tabla 11 detalla la información correspondiente al proceso de ensaque y control de calidad

Tabla 11.

Ensaque.

OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN			
Proceso	Ensaque		
Producto	Harina de pescado		
Máquina	Ensacadora industrial	Número de actividad	9
Objetivo	Ensacar y controlar la calidad del producto mediante equipos de medición para medir los parámetros de la harina		
Alcance	Se ejecuta con el propósito de producir harina de pescado.		
Act. Procedente	Molienda	Entrada	Harina con impurezas mínimas
Output	Harina con aditivos necesarios	Operador	
N	Tareas		Observación
1	Receptar la materia prima		
2	Controlar parámetros (humedad, grasa y peso)		
3	Colocar aditivos necesarios		
4	Ensacar el producto		

Nota. Elaborado por el autor.

El proceso de ensaque y control de calidad, presentado en la Tabla 11, tiene como finalidad verificar los parámetros del producto y posteriormente envasar la harina. Esta actividad es realizada por un operador y consta de cuatro subactividades: recepción de la harina, control de calidad, adición de aditivos y ensacado del producto final. A continuación, la Tabla 12 presenta la información correspondiente al proceso de sellado.

Tabla 12.*Sellado.*

OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN			
Proceso	Sellado		
Producto	Harina de pescado		
Máquina	Máquina de coser industrial	Número de actividad	10
Objetivo	Sellar la harina al vacío mediante una máquina de coser industrial para evitar contaminación por ambiente		
Alcance	Se ejecuta con el propósito de producir harina de pescado.		
Act. Procedente	Ensacado	Entrada	Harina con aditivos
Output	Harina sellada	Operador	
N	Tareas		Observación
1	Receptar el producto ensacado		
2	Preparar máquina de coser		
3	Cosar el big bag donde se almacena la harina (1000 kg)		

Nota. Elaborado por el autor.

La etapa de sellado (operación 10), presentada en la Tabla 12, es ejecutada por un operador y consta de tres subprocesos: recepción del producto ensacado, preparación de la máquina y costura del envase. En esta actividad, la precisión es fundamental para garantizar la calidad del sellado. Finalmente, la Tabla 13 presenta la información general correspondiente al proceso de etiquetado.

Tabla 13.*Etiquetado.*

OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN			
Proceso	Etiquetado		
Producto	Harina de pescado		
Máquina	Equipo de etiquetas	Número de actividad	11
Objetivo	Etiquetar el producto terminado colocando información básica de los parámetros de la harina para clasificar la harina según sus características		
Alcance	Se ejecuta con el propósito de producir harina de pescado.		
Act. Procedente	Sellado	Entrada	Harina sellada
Output	Producto terminado	Operador	
N	Tareas		Observación
1	Receptar el producto sellado		
2	Colocar etiquetas		
3	Autorizar el envío al almacén de producto terminado		

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 13 presenta los datos correspondientes al proceso de etiquetado, en el cual se registran los parámetros de la harina de pescado y se autoriza el envío del producto terminado al almacén. Esta actividad es ejecutada por un único operador y comprende tres suboperaciones: recepción del producto sellado, colocación de etiquetas y traslado a la zona de embarque.

Tabla 14.

Número de operadores por actividad.

Número de operadores con relación a la operación	
Un operador	Actividades: preparación de calderos, cocción, prensa, secador, secador rotatorio, purificado, molienda, ensaque, etiquetado y sellado
Tres operadores	Recepción de materia prima

Nota. Elaborado por el autor.

En base a ello se detalla el levantamiento de procesos, materiales y equipos utilizados por el operador en cada actividad. Esta información fue recopilada mediante una revisión directa de las operaciones, y los resultados se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15.

Materiales y equipo por procesos.

N°	Actividad	Materiales y equipo
1	Calibración de equipos (Preparación de calderos)	Materiales: llaves hexagonales, vacuómetros (con glicerina), combustible (100 galones), hojas de reporte y caja de herramientas. Equipo: calderos(x3).
2	Recepción de materia prima	Materiales: palas rectangulares, equipo de protección personal, mascarillas. Equipo: tornillos sin fin (para transportar la materia prima).
3	Cocción	Materiales: caja de herramientas, termómetro laser y registro de temperatura. Equipo: cocina industrial.
4	Prensado	Materiales: llaves hexagonales. Equipo: prensa industrial.
5	Secador	Materiales: llaves hexagonales. Equipo: secador industrial.
6	Secador rotatorio	Materiales: termómetro de laser. Equipo: secador industrial.
7	Purificador	Materiales: malla metálica, envase de residuos y caja de herramientas. Equipo: purificador industrial.

8	Molienda	Materiales: malla metálica y ventilador industrial. Equipo: molino de tornillo.
9	Ensacado y control de calidad	Materiales: termocupla, sacos de harina (1000 kg), antioxidante (greenox) y salmoquin. Equipo: ensacadora industrial.
10	Sellado	Materiales: hilo de coser y guantes. Equipo: máquina de coser industrial.
11	Etiquetado	Materiales: hoja de información, etiquetas, plástico antihumedad y marcadores. Equipo: equipo de etiquetas.


Nota. Elaborado por el autor.

De acuerdo con los datos obtenidos del levantamiento de procesos productivos, se identificaron los tiempos promedio y su variabilidad en cada etapa del proceso de fabricación de harina de pescado. Estos valores se emplearon como insumo para la construcción del modelo estocástico, el cual considera la incertidumbre operativa inherente al sistema productivo, con el propósito de optimizar su desempeño global. Para esta investigación, la medición se realizó en minutos, destacando que durante una jornada laboral de 8 horas se producen aproximadamente 36 big bags de harina. Se tomó como referencia la producción de las primeras cuatro horas, período en el cual se elaboran alrededor de 18 big bags. En la etapa de muestreo preliminar, se cronometraron un total de 10 ciclos a lo largo de 8 jornadas laborales.

La Tabla 16 presenta los tiempos registrados en cada réplica de los procesos productivos.

Tabla 16.

Tiempos observados.

		ECUAFEED S.A.										F. Elaboración:	Octubre 2025
		FICHA DE OBSERVACIÓN DE TIEMPOS Y SEGUNDOS										F. Revisión:	Octubre 2025
												Código:	F001
Área: Producción		Elaborado por: Avelino Joel										Página:	
Producto: Harina de pescado		Revisado por:										Lote:	
PROCESO PRODUCTIVO													
N°	Descripción de actividad	Tiempo de ciclo observado										Tiempo total observado (s)	Tiempo promedio observado
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Calibración de equipos	45,8	46,8	46,3	45,5	39,4	41,9	43,5	42,4	40,5	47,4	439,5	43,95

2	Recepción de materia prima	42,4	40,4	47,1	39,7	37,4	34,9	41,2	47,9	38,4	30,1	399,5	39,95
3	Almacén de materia prima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Transporte	15,5	14,3	15,5	13,4	11,7	19,4	16,3	17,2	13,5	11,2	148	14,8
5	Cocción	19,2	20,1	20,5	20,6	21,3	19,3	19,8	20,4	20,6	19,7	201,5	20,15
6	Transporte	5,1	5,7	5,8	5,5	4,2	6,4	6,1	5,1	5,9	4,9	54,7	5,47
7	Prensado	17,4	18,7	15,5	14,2	11,6	12,3	12,9	15,4	14,7	15,2	147,9	14,79
8	Transporte	5,5	8,7	7,5	9,3	4,6	6,6	6,7	5,2	8,6	9,4	72,1	7,21
9	Secado	70,6	69,8	75,6	79,4	63,4	61,5	61,7	66,9	75,2	80,3	704,4	70,44
10	Transporte	8,8	8,3	7,5	10,1	10,6	13,4	12,4	11,6	12,8	9,7	105,2	10,52
11	Secado rotatorio	6,9	8,8	7,3	6,4	10,4	12,3	12,8	8,6	8,5	9,1	91,1	9,11
12	Purificado	3,2	2,5	2,1	1,5	1,4	1,6	2,7	2,6	2,9	1,8	22,3	2,23
13	Transporte	1,9	1,1	0,5	0,8	1,6	1,2	1,3	0,8	0,6	1,2	11	1,1
14	Molienda	2,8	2,5	2,1	1,4	1,9	2,6	2,4	1,9	2,5	1,9	22	2,2
15	Transporte	15,4	16,8	12,7	11,6	16,7	15,2	14,3	14,1	13,4	13,9	144,1	14,41
16	Almacenamiento temporal	11,8	16,9	15,1	14,2	13,4	12,4	11,5	14,7	16,4	13,8	140,2	14,02
17	Ensaque y control de calidad	13,2	14,4	10,9	9,8	8,7	8,4	9,7	9,9	14,5	11,6	111,1	11,11
18	Sellado	11,6	14,2	10,6	9,8	10,3	13,7	14,2	13,5	13,1	9,3	120,3	12,03
19	Etiquetado	8,4	6,4	6,2	7,8	9,3	9,1	6,9	10,4	9,7	7,8	82	8,2
20	Transporte	1,6	1,7	1,9	4,8	3,4	3,3	4,1	2,7	2,6	1,9	28	2,8
21	Almacén de producto terminado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total		307,1	318,1	310,7	305,8	281,3	295,5	300,5	311,3	314,4	300,2	3044,9	304,49
Observación:													

Nota. Elaborado por el autor.

En la Tabla 16 se presenta el tiempo de proceso observado en cada ciclo, de esta manera se puede inferir que existe una variación considerable respecto al tiempo de ciclo consumido. El tiempo promedio obtenido corresponde a 304,49 (min) equivalente a 05:04:29 expresado en horas. En adición, la media de ciclos sirve como base para diagramar los procesos de producción de la harina de pescado.

La Tabla 17, correspondiente al flujo del proceso de producción de harina de pescado, representa la secuencia lógica de las operaciones realizadas, detallando la cantidad y tipo de actividades que lo componen: 10 operaciones, ninguna inspección, 1 tarea combinada, 1 tiempo de espera, 7 actividades de transporte y 2 etapas de almacenamiento. Además, se incorpora el tiempo de ciclo promedio, el cual sirve como referencia para estimar la duración total de cada actividad dentro del proceso productivo.

Tabla 17.

Diagrama de flujo de procesos de harina de pescado Ecuafeed S.A.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS – PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO ECUAFEED S.A.											
Fecha: Octubre/2025		Empresa:		Ecuafeed S.A.		Resumen					
Método de trabajo:		Proceso		Producción de harina		Actividad			Actual		
									N°	Tiempo	
Actual	X	Elaborado por:		Joel Avelino		Operación:			10	223,05	
Propuesto						Inspección:			-		
Datos		Revisado por:				Operación combinada			1	11,11	
Diagrama:	1					Transporte:			7	56,31	
Hoja: 1 de 1		Departamento:		Producción		Espera:			1	14,02	
Método						Almacenamiento:			2	-	
Observación directa y tabulación de datos		Aprobado por:				Distancia (m)					
						Tiempo (min)				304,49	
N°	Descripción	Distancia (m)	Muerto	De ciclo (min)	○	□	◻	◐	➔	▽	Observación
1	Calibración de equipos			43,95	X						
2	Recepción de materia prima			39,95	X						
3	Almacén de materia prima			-						X	
4	Transporte			14,8					X		
5	Cocción			20,15	X						
6	Transporte			5,47					X		
7	Prensado			14,79	X						
8	Transporte			7,21					X		
9	Secado			70,44	X						
10	Transporte			10,52					X		
11	Secado rotatorio			9,11	X						
12	Purificado			2,23	X						
13	Transporte			1,1					X		
14	Molienda			2,2	X						
15	Transporte			14,41					X		
16	Almacenamiento temporal			14,02						X	
17	Ensaque y control de calidad			11,11						X	
18	Sellado			12,03	X						
19	Etiquetado			8,2	X						
20	Transporte			2,8					X		
21	Almacén de producto terminado			-						X	
Total				304,49	10	0	1	1	7	2	

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 18, correspondiente al flujo del proceso de producción de harina de pescado, determina la existencia de 21 actividades en total, distribuidas en 10 operaciones con una duración acumulada de 223,05 minutos, 7 transportes que suman 56,31 minutos, 1 tiempo de espera de 14,02 minutos, 1 operación combinada con 11,11 minutos, y 2 etapas de almacenamiento sin tiempo registrado. Cabe señalar que el proceso no contempla actividades de inspección, y el tiempo promedio total del ciclo productivo se estima en 304,49 minutos.

Tabla 18.

Diagrama de operaciones de procesos.

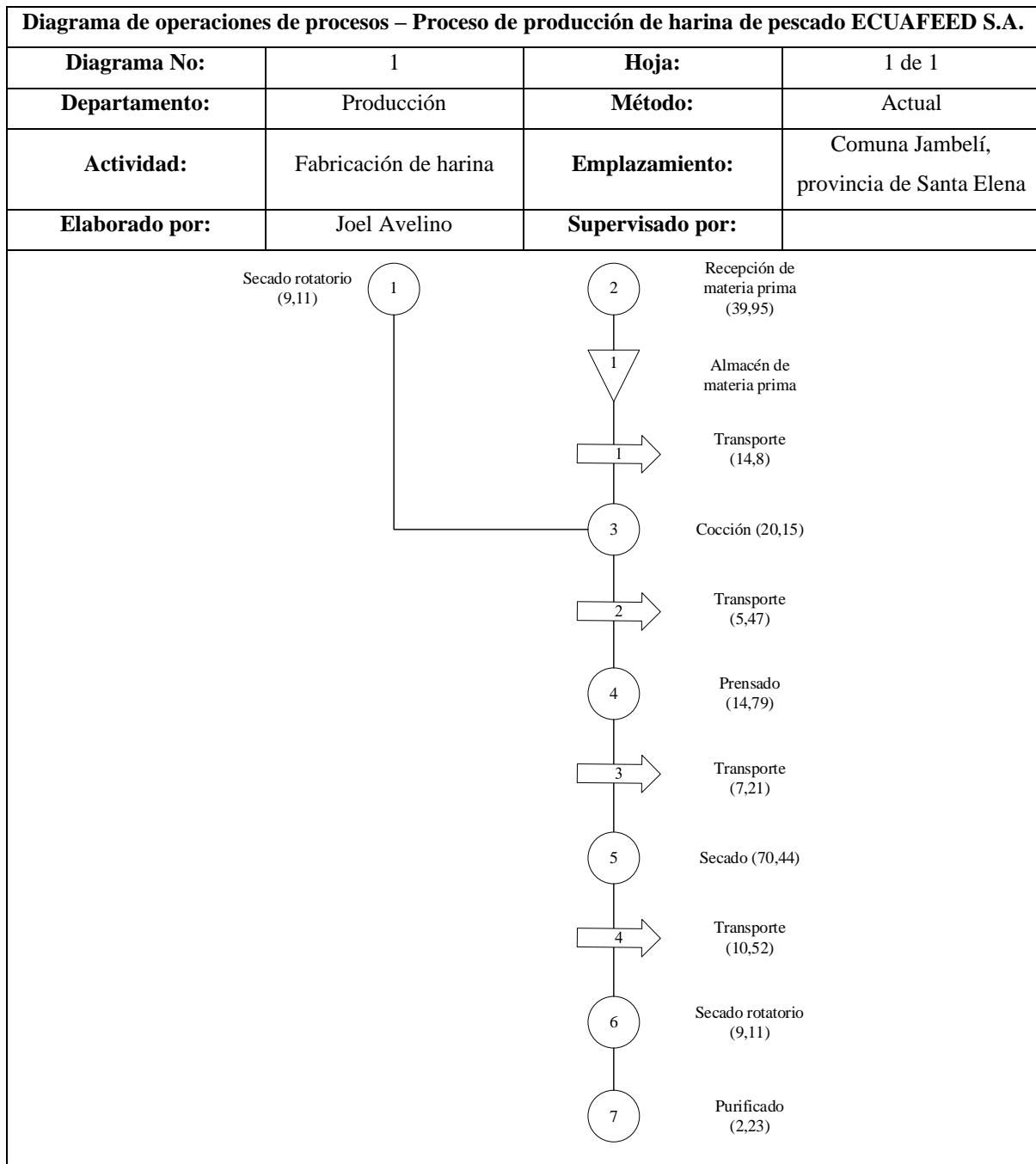
Diagrama de operaciones de procesos – Proceso de producción de harina de pescado ECUAFEED S.A.			
Diagrama No:	1	Hoja:	1 de 1
Departamento:	Producción	Método:	Actual
Actividad:	Fabricación de harina	Emplazamiento:	Comuna Jambelí, provincia de Santa Elena
Elaborado por:	Joel Avelino	Supervisado por:	
Resumen			
Actividad	Número	Tiempo (min)	
Operaciones	10	223,05	
Operación combinada	1	11,11	
Inspecciones	-	-	
Total	11	234,16	

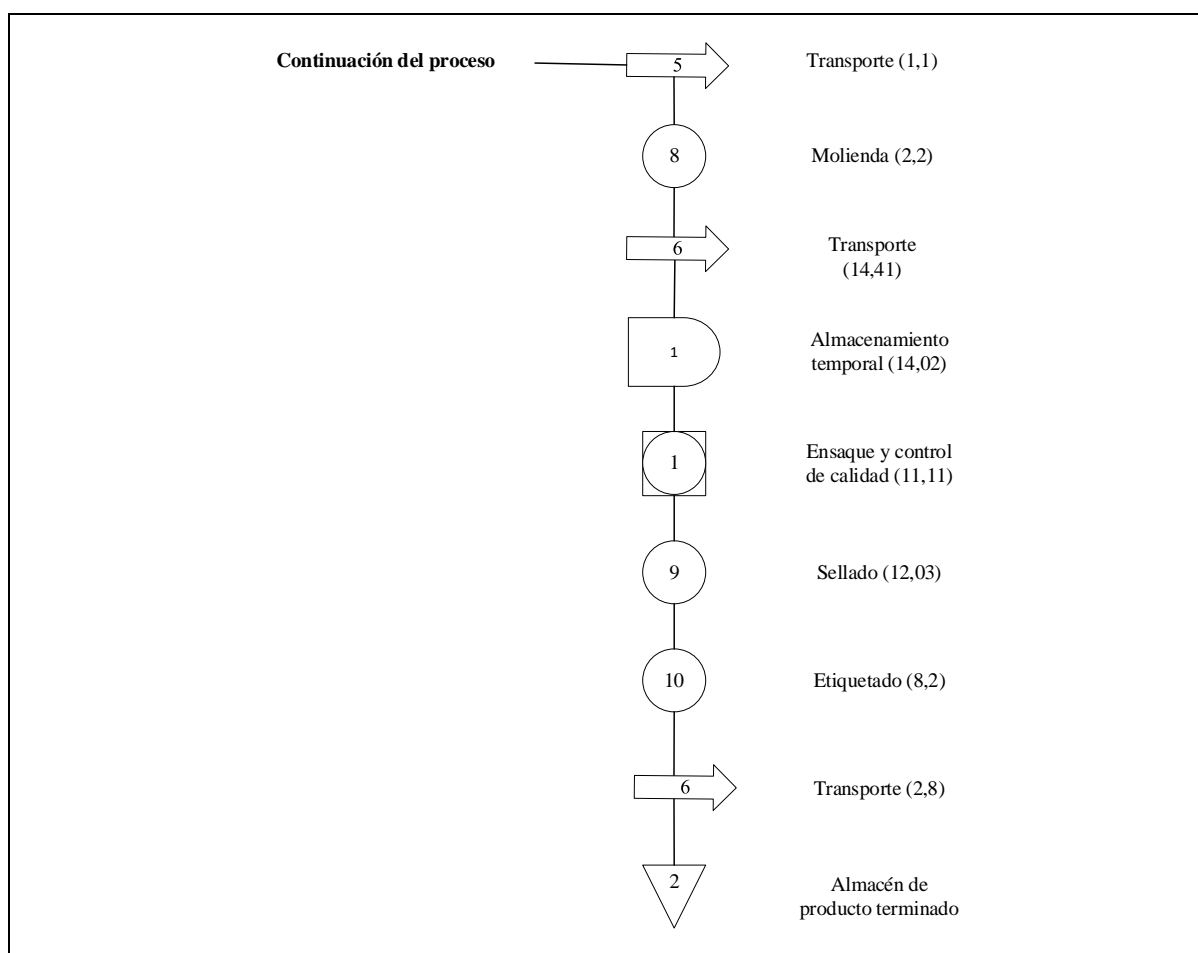
Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 19 presenta las operaciones que conforman el proceso productivo, las cuales incluyen 10 actividades principales con una duración total de 223,05 minutos y una operación combinada con un tiempo de 11,11 minutos. No se registran actividades de inspección, determinándose así un tiempo global de 234,16 minutos para el proceso de elaboración de harina de pescado.

Tabla 19.

Multicolumnas de proceso de producción de harina.





Resumen		
Actividad	Número	Tiempo (min)
Operación:	10	223,05
Inspección:	-	-
Operación combinada	1	11,11
Transporte	7	56,31
Espera	1	14,02
Almacenamiento	2	-
Total	11	304,49

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 19 expone el diagrama de multicolumnas, en el cual se detallan todas las actividades involucradas en el proceso productivo: 10 operaciones con un tiempo total de 223,05 minutos, 1 operación combinada (11,11), 7 transportes (56,31 min), 1 espera (14,02 min) y 2 actividades de almacenamiento (0 min). En conjunto, el proceso está conformado por 20 actividades, que en total requieren 304,49 minutos para su ejecución completa.

CAPÍTULO II

DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

2.1. Métodos de investigación

En el enfoque cuantitativo se centra en fenómenos los cuales se pueden medir, por medio de la asignación de valores numéricos permitiendo analizarlos utilizando técnicas estadísticas, siendo relevante en el procesamiento de los datos que se obtienen en el estudio (Sánchez Flores, 2019). Esta se caracteriza por ser objetiva y deductiva donde su objeto de estudio ayuda a realizar proyecciones, generalizaciones y relaciones en una o entre poblaciones por medio de estadística inferencial aplicada a una muestra en específico, siendo esencial para la obtención de hallazgos que afecten un procedimiento (Naranjo et al., 2023).

2.2. Tipo de investigación

Se optó por un diseño no experimental debido a que se caracteriza mediante la observación y recopilación de datos en entornos naturales sin manipular las variables no asignar grupos de forma aleatoria (Cueva et al., 2023). Su recolección de datos va a ser en un solo momento y va a ser transversal, (Arias-Gonzales, 2021). A partir de lo citado anteriormente, se planteó el diseño metodológico de la investigación, el cual se organizó en cinco etapas, tomando en cuenta la complejidad y el alcance del estudio para lograr un desarrollo apropiado. El procedimiento se detalla en la Figura 5.

Figura 5.

Protocolo de la investigación.



Nota. Elaborado por el autor adaptado de (Torres et al., 2019)

Etapa de ideación: determinar la idea principal y el fenómeno productivo que se debe modelar, identificando las variables cruciales, sus incertidumbres y el objetivo del análisis estocástico.

Etapa de planificación: elaborar el modelo estadístico y matemático que refleje el procedimiento de producción, estableciendo los parámetros, las distribuciones de probabilidad y las situaciones posibles.

Etapa de modelación: crear e implementar el modelo estocástico a través de instrumentos de simulación, llevando a cabo escenarios que posibiliten examinar condiciones variables de operación.

Etapa de control: comparar los datos reales de producción con los resultados del modelo, comprobando la exactitud de las predicciones y modificando parámetros para aumentar su confiabilidad.

Etapa de retroalimentación: examinar los resultados alcanzados para determinar mejoras, crear aprendizajes y realizar modificaciones

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

El presente estudio se encuentra basado en el proceso de producción de harina de pescado y en los 63 trabajadores operativos de la empresa Ecuafeed S.A., ubicada en la localidad de Jambelí, en la provincia Santa Elena.

La investigación se enfoca en la cadena de producción de harina de pescado y en los factores que influyen en su rendimiento. Es importante identificar las fuentes primarias que ofrecen información directa sobre cómo se desarrolla el proceso, esto puede incluir a los trabajadores de la zona de producción, los planes de mantenimiento, así como encuestas y entrevistas realizadas anteriormente, además hay que asegurarse de que las fuentes seleccionadas cumplan con los criterios necesarios para la investigación.

Criterio de inclusión: estuvo incluido todo el personal de la planta Ecuafeed S.A.

Criterio de exclusión: se excluyó a todo el personal que no tenga relación directa con el proceso de producción de harina de pescado y a quienes no deseen participar de manera voluntaria en la investigación.

Tabla 20.*Población de estudio.*

Población de estudio	Cantidad de trabajadores
Personal administrativo	
Gerencia	1
Departamento de finanzas	3
Administración	6
Departamento de calidad	3
Laboratorio	1
Personal operativo	
Personal de limpieza	6
Personal de seguridad	3
Personal de transporte y logística	10
Personal en el área de materiales	3
Área de mantenimiento	9
Área de producción	18
TOTAL	63

Nota. Población requerida para la elaboración de la investigación.

2.3.2. Muestra

Dado que esta investigación no se basa en una selección aleatoria, se optó por un muestreo no probabilístico por conveniencia, siguiendo los lineamientos de (Stratton, 2021). Se seleccionó un total de 30 trabajadores directamente vinculados con el proceso de producción, tal como se muestra en la Tabla 21. Estos operadores accedieron voluntariamente a participar en el estudio y colaboraron en la recopilación de datos, considerando que su conocimiento y experiencia es fundamental para el análisis.

Tabla 21.*Muestra de estudio.*

Área	N° trabajadores		Total
	Hombres	Mujeres	
Producción	13	5	18
Mantenimiento	9		9
Departamento de materiales	2	1	3
Total	24	6	30

Nota. Personas vinculadas directamente con la producción.

2.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

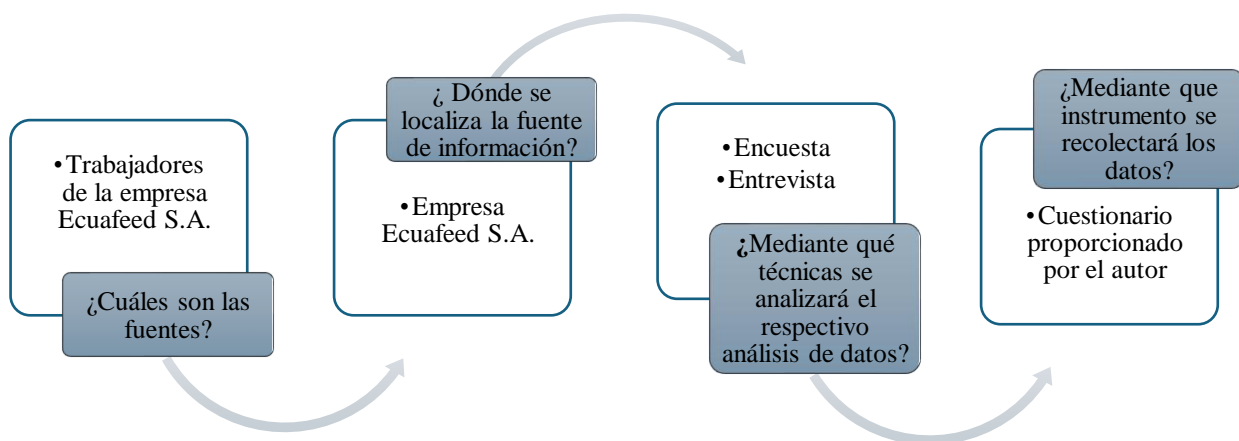
2.4.1. Métodos de recolección de los datos

En una investigación, resulta fundamental seleccionar el enfoque científico que permita definir el procedimiento adecuado para alcanzar los hallazgos esperados. En este contexto, se estableció que el presente estudio emplea un enfoque analítico, el cual consiste en descomponer un sistema o fenómeno en elementos más pequeños para examinar y evaluar cada componente del proceso productivo de manera individual, así como identificar y valorar las interrelaciones que existen entre ellos.

En los estudios científicos, tanto cualitativos como cuantitativos, la recolección de datos mediante observación directa o a través de plataformas digitales se llevó a cabo utilizando metodologías y herramientas definidas previamente en la fase de planificación. Esto significa que el procedimiento fue organizado antes de su ejecución, tal como señalan (Cisneros et al., 2022). En la Figura 6 se muestra un diagrama que detalla cada fase del proyecto elaborado para la recolección de datos en este contexto.

Figura 6.

Proceso para la recolección de datos.



Nota. Elaborado por el autor.

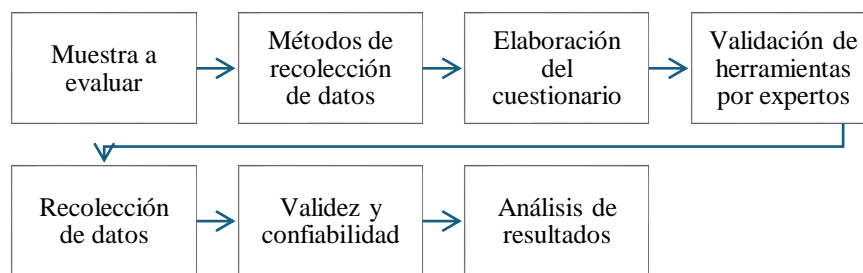
Se empleó la técnica de la encuesta mediante la plataforma Google Forms, utilizando un cuestionario elaborado por el propio autor de la investigación. Su propósito fue obtener información del personal operativo de la empresa Ecuafeed S.A., ubicada en la comuna Jambelí, cantón Santa Elena. El formulario fue remitido, a través de un enlace, al departamento de Recursos Humanos para su posterior distribución entre los trabajadores seleccionados.

2.4.2. Técnicas de recolección de los datos

El objetivo de esta estrategia es certificar la legitimidad del instrumento de investigación pertinente. Mediante la técnica de encuesta para reunir y documentar la información requerida para el análisis. Este proceso fue analizado a través del método de validación de datos, como proponen Taze et al., (2022). Con el fin de asegurar la coherencia de los datos en el marco de la investigación científica. Para llevar a cabo este enfoque, se debe considerar las fases secuenciales en la Figura 7, la cual definió un esquema organizado para el procedimiento.

Figura 7.

Técnicas de recolección de datos.



Nota. Elaborado por el autor, basado en (Taze et al., 2022).

El esquema plantea la secuencia a seguir para la ejecución de las técnicas de recolecciones de los datos a utilizar en esta investigación. A continuación, se describe cada fase con el fin de establecer el aporte para el desarrollo del presente estudio.

Muestra a evaluar: se determinó que el grupo a investigar está integrado por las áreas que impactan tanto directa como indirectamente en las actividades, tales como: el personal de la planta de producción, el equipo de mantenimiento y el departamento de materiales.

Métodos de recolección de datos: se llevó a cabo mediante técnicas de observación directa del proceso y la aplicación de encuestas al personal asignado, con el propósito de obtener información precisa que facilitara la recolección de datos durante el estudio.

Elaboración del cuestionario: se elaboró un conjunto de preguntas formuladas de manera comprensible y orientadas a obtener la información requerida. Estas interrogantes buscaron identificar la situación actual de la empresa desde un enfoque sustentado en la experiencia laboral.

Validación de la herramienta por expertos: se realizó mediante la evaluación de docentes expertos seleccionados bajo criterios de inclusión y exclusión definidos por el autor. En esta fase se llevó a cabo la revisión de las preguntas del cuestionario junto con el especialista del área, con el propósito de determinar la validez del instrumento y los parámetros a evaluar.

Recolección de datos: se recopiló la información necesaria para establecer el diagnóstico situacional mediante una inspección de las instalaciones de Ecuafeed S.A. El objetivo fue registrar la incertidumbre y la variabilidad inherentes al proceso para prever resultados futuros de naturaleza probabilística. Todos los datos obtenidos fueron utilizados en la fase siguiente.

Validez y confiabilidad: se evaluó los resultados derivados de las encuestas empleando el coeficiente alfa de Cronbach, el cual permitió determinar el nivel de confiabilidad de los datos recopilados en función de la variabilidad de los resultados y del margen de error en la medición.

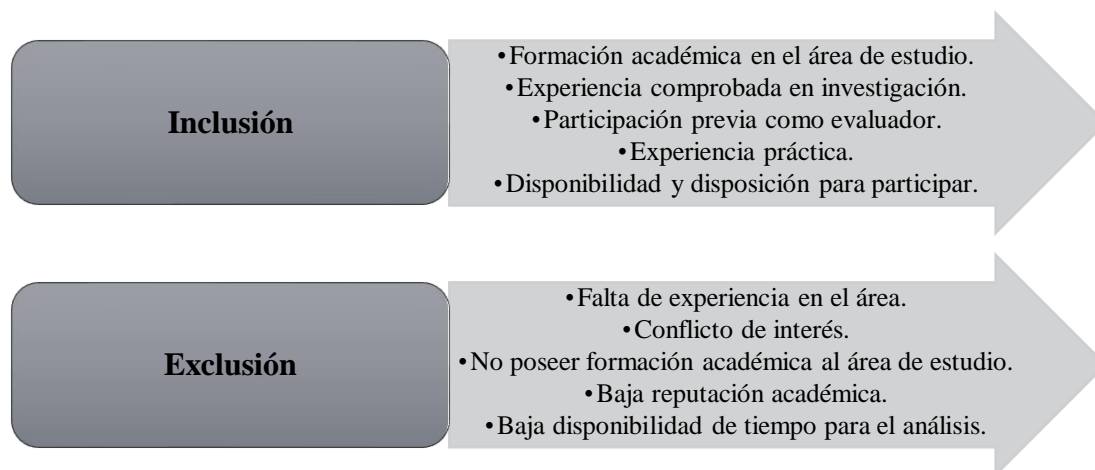
Análisis de resultados: se analizó los datos recopilados y se elaboró gráficos estadísticos utilizando programas como IBM SPSS Statistics 30 y Excel. El propósito fue interpretar la información, resaltar los aspectos clave del proceso e identificar las áreas que requerían mejoras.

2.4.3. Instrumentos de recolección de los datos

Según el tipo de estudio, el propósito y la metodología seleccionada, las herramientas empleadas para recopilar datos en investigaciones científicas pueden variar. Estas permiten obtener la información necesaria para analizar las variables (Mendoza & Avila, 2020). Antes de su aplicación, las herramientas fueron evaluadas por expertos, quienes revisaron y confirmaron su validez, garantizando así su confiabilidad y pertinencia para medir lo requerido. Los criterios de inclusión y exclusión correspondientes se presentan en la Figura 8.

Figura 8.

Criterios de inclusión y exclusión para expertos.



Nota. Elaborado por el autor.

2.5. Diagnóstico de la situación problemática

2.5.1. Análisis FODA

El análisis FODA es una herramienta estratégica que ayuda a evaluar la situación actual de la empresa Ecuafeed S.A., identificando sus fortalezas y debilidades internas, así como las oportunidades y amenazas externas. Su evaluación facilita la capacidad de organizar y anticipar riesgos en el entorno laboral, para ello esta matriz permite generar ideas innovadoras y estrategias efectivas para maximizar el rendimiento y asegurar la sostenibilidad de la empresa (Cali et al., 2023).

Dado que la empresa no disponía de una matriz FODA institucional, se procedió a elaborar un análisis estratégico propio basado en la información recopilada durante el diagnóstico situacional, las observaciones directas y las entrevistas con el personal clave. La matriz resultante, presentada en la Tabla 22, resume las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas identificadas en el entorno operativo de Ecuafeed S.A. Este insumo permitió estructurar una visión integral del contexto interno y externo de la organización, sirviendo como base para la formulación de propuestas de mejora orientadas a optimizar sus procesos productivos.

Tabla 22.*Matriz FODA.*

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Experiencia consolidada en la producción de harina de pescado. • Infraestructura instalada con equipos de procesamiento. • Acceso a materia prima por ubicación estratégica cercana a zonas pesqueras. • Reconocimiento en el mercado nacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda internacional creciente de harina de pescado de calidad estandarizada. • Avances tecnológicos en modelado estocástico y control predictivo aplicados a la industria alimentaria. • Posibilidad de certificaciones de calidad (ISO, HACCP) para acceder a nuevos mercados. • Apoyo gubernamental a exportaciones del sector pesquero.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Alta variabilidad en la materia prima. • Procesos poco estandarizados y controlados de manera empírica. • Escasa capacitación en herramientas estadísticas y de simulación. • Falta de trazabilidad digital de los lotes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estacionalidad en la disponibilidad de pescado. • Competencia internacional con mayor estandarización y certificaciones. • Incremento en los costos energéticos. • Regulaciones ambientales y sanitarias más estrictas

Nota. Elaborado por el autor.

El análisis FODA evidencia que la organización posee capacidades internas —como su infraestructura instalada, su experiencia operativa y su posicionamiento en el mercado— que pueden ser apalancadas para responder a la creciente demanda internacional de harina de pescado. No obstante, se identificaron debilidades estructurales, entre ellas la ausencia de procedimientos estandarizados y las brechas en la formación del personal, las cuales limitan la eficiencia del proceso y elevan el riesgo operativo. Abordar estos factores resulta esencial para mitigar amenazas externas como la variabilidad en el abastecimiento de materia prima, el incremento de la competencia global y el endurecimiento de las regulaciones ambientales y sanitarias que impactan directamente en la continuidad productiva. Este contraste entre capacidades internas y presiones externas permite orientar estrategias de mejora centradas en la optimización de procesos, fortalecimiento del capital humano y gestión de riesgos operativos.

Tabla 23.*Matriz MEFI.*

Fortalezas	Peso	Calificación	Puntaje Ponderado
Experiencia en el sector	0.10	4	0.40
Infraestructura instalada	0.10	3	0.30

Acceso a materia prima	0.08	3	0.24
Reconocimiento en mercado nacional	0.07	3	0.21
Subtotal fortalezas	0.35		1.15
Debilidades			
Variabilidad en materia prima	0.12	2	0.24
Procesos poco estandarizados	0.15	1	0.15
Escasa capacitación en estadística	0.10	1	0.10
Falta de trazabilidad digital	0.08	2	0.16
Subtotal debilidades	0.45		0.65
Total	1.80		1.75

Nota. Elaborado por el autor.

La matriz de evaluación de factores internos (MEFI) muestra que la empresa presenta fortalezas relevantes, entre ellas su experiencia en el sector, la infraestructura instalada y su posicionamiento en el mercado nacional, las cuales alcanzan un puntaje ponderado de 1.15. No obstante, también se identifican debilidades significativas, como la falta de estandarización de procesos, la limitada capacitación en estadística y la ausencia de sistemas de trazabilidad digital, que acumulan un puntaje de 0.65. En conjunto, estos resultados generan un valor total de EFI de 1.80. Al estar por debajo del umbral de 2.5, este puntaje indica que las debilidades internas tienen un peso considerable y requieren ser atendidas con carácter prioritario.

Tabla 24.

Matriz MEFE.

Oportunidades	Peso	Calificación	Puntaje Ponderado
Demanda internacional creciente	0.15	4	0.60
Avances tecnológicos en modelado	0.10	3	0.30
Posibilidad de certificaciones	0.10	3	0.30
Apoyo gubernamental a exportaciones	0.05	3	0.15

Subtotal Oportunidades	0.40		1.35
Amenazas			
Estacionalidad en oferta de pescado	0.15	2	0.30
Competencia internacional	0.10	2	0.20
Incremento de costos energéticos	0.10	2	0.20
Regulaciones ambientales estrictas	0.10	3	0.30
Subtotal Amenazas	0.45		1.00
Total	0.85		2.35

Nota. Elaborado por el autor.

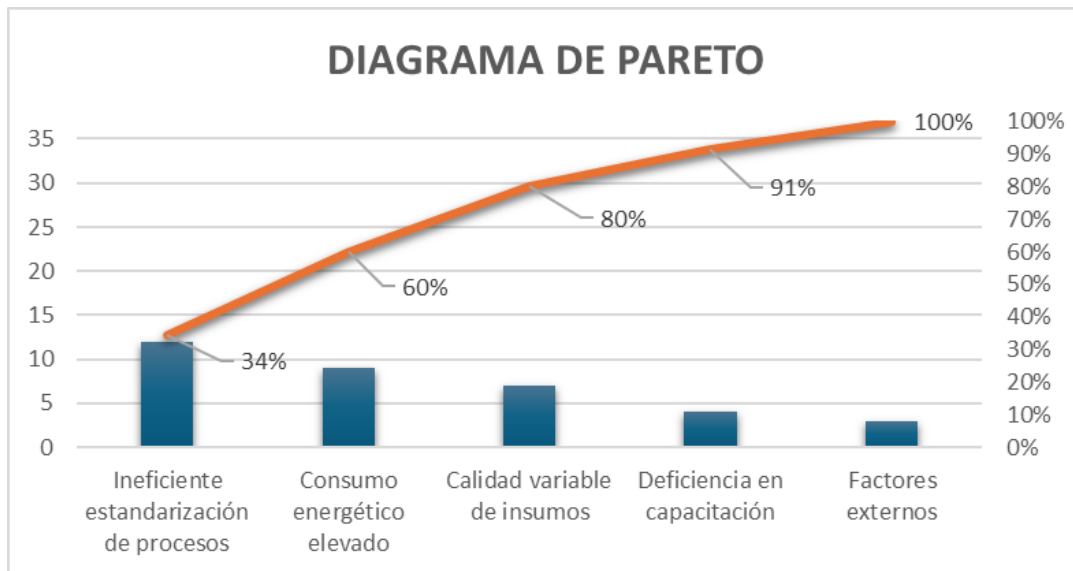
La matriz de factores externos (MEFE) muestra oportunidades valiosas, como la creciente demanda internacional, los avances tecnológicos en modelado y las posibilidades de certificación, que aportan un puntaje ponderado de 1.35. En contraste, las amenazas, como la estacionalidad en la oferta de pescado, la competencia internacional y el aumento de los costos energéticos, suman 1.00. En conjunto a resultados obtenidos indican que la empresa tiene fortalezas internas y oportunidades externas importantes, sus debilidades internas y algunas amenazas del entorno podrían limitar su capacidad para aprovechar al máximo esas oportunidades.

2.5.2. Diagrama de Pareto

Se realiza el análisis situacional del sistema productivo mediante observaciones realizadas en la planta que describen los principales defectos que se producen en la fabricación de harina, su frecuencia y resultado. En este sentido, el diagrama de Pareto es un recurso de análisis que facilita la identificación del problema al especificar con claridad el sector en el que enfocar los esfuerzos y recursos para resolver errores y conseguir mejoras efectivas en el sistema (Rubia, 2025).

Figura 9.

Diagrama de Pareto.



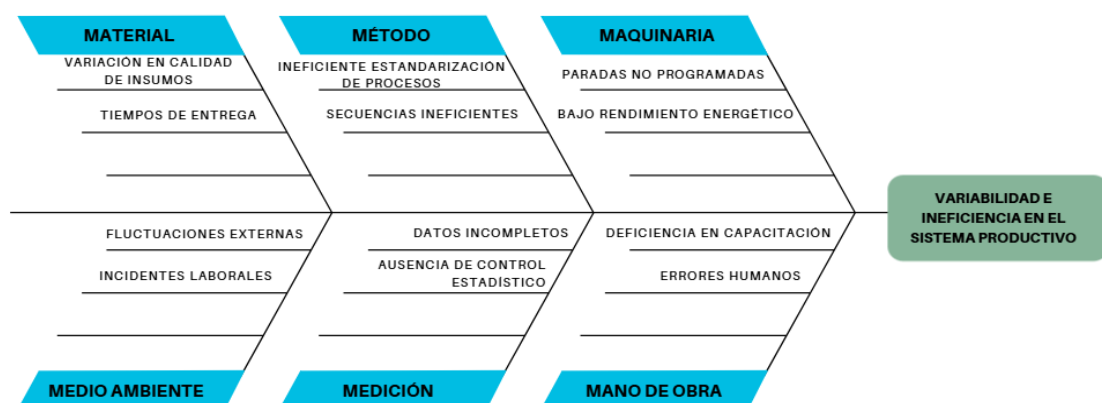
Nota. Elaborado por el autor.

2.5.3. Diagrama de Ishikawa

En la Figura 10 se establece que, al abordar las causas fundamentales, es posible eliminar el 80 % de los defectos observados. En este sentido, se utiliza el diagrama de Ishikawa 6M para detectar las causas probables de los defectos señalados, examinando los factores clave: material, método, maquinaria, medio ambiente, medición y mano de obra, que influyen en los problemas identificados en el diagrama de Pareto.

Figura 10.

Diagrama de Ishikawa primer nivel.



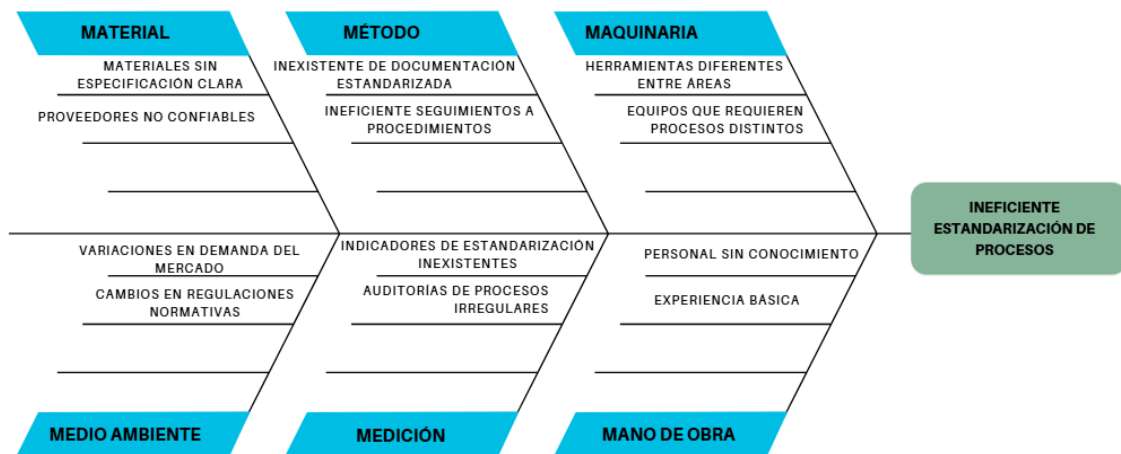
Nota. Elaborado por el autor.

La Figura 10 determina que la razón fundamental de la variabilidad e ineficiencia en el sistema productivo radica en la ineficiente estandarización de los procesos. Esto afecta la realización de las tareas, generando falta de entendimiento en los procesos.

En ese sentido, se establece en la Figura 11 un diagrama de Ishikawa 6M de segundo nivel para determinar la causa raíz del problema, con el objetivo de definir el tema de análisis de esta investigación. En el diagrama se especifica la razón del defecto “ineficiente seguimiento a procedimientos”.

Figura 11.

Diagrama de Ishikawa segundo nivel.



Nota. Elaborado por el autor.

2.5.4. Análisis de réplicas de tiempos

A partir del análisis preliminar del proceso productivo, se identificaron diversos defectos y tiempos improductivos que afectan la eficiencia operacional. Por ello, resulta necesario examinar cada uno de estos eventos en las distintas réplicas del proceso, ya que constituyen una base objetiva para evaluar el desempeño del sistema y detectar oportunidades de mejora vinculadas con demoras operativas, fallas de maquinaria, retrasos en el suministro de insumos o fatiga del personal. En este marco, la Tabla 25 presenta las abreviaturas utilizadas para clasificar los defectos registrados, junto con su definición correspondiente, con el fin de estandarizar su interpretación durante el análisis de los tiempos no productivos.

Tabla 25.*Defectos identificados.*

Abreviatura	Definición
DE	Defecto por espera de equipo
DC	Detención por cansancio
DR	Detención por riesgo de harina
DF	Detención por falta de etiquetas
DCA	Defecto por clasificación en almacén (diferente lugar)
DFE	Detención por fallas en equipo

Nota. Elaborado por el autor.

En este contexto, la Tabla 26 detalla las actividades en las que se detectaron defectos durante las observaciones realizadas, utilizando las abreviaturas definidas en el cuadro anterior para especificar el tipo de inconveniente presentado en el muestreo, así como el tiempo total de inactividad registrado en cada caso.

Tabla 26.*Procesos con tiempos muertos.*

N°	Procesos con tiempos muertos	Número de ciclos										Total, tiempo muerto por proceso	Tipo de defecto
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10		
1	Calibración de equipos	1,6	4,6	3,7	2,4	5,9		4,7		10,2		33,1	DE (C1, C2, C3, C4, C5, C7, C9)
2	Recepción de materia prima	4,6	5,9		1,6	1,3			13,6	8,4	2,1	37,5	DC (C1, C2, C4, C5, C8, C9, C10)
4	Cocción		2,3		4,6	5,1			4,6			16,6	DE ((C2, C4, C5, C8)
12	Purificado	1,6	3,4	3,3	2,6	1,5	1,2	4,9	4,6		5,1	28,2	DR (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C10)
18	Sellado		12,3			9,8		4,9		3,7	5,4	36,1	DFE (C2, C5, C7, C9, C10)

19	Etiquetado	3,8			2,3			1,4			7,5	DF (C1, C4, C7)
20	Transporte				1,2			1,5			2,7	DCA (C4, C7)
Total, tiempo muerto por ciclo		11,6	28,5	7	14,7	23,6	1,2	17,4	22,8	22,3	12,6	11,6

Nota. Elaborado por el autor.

En la Tabla 26 se presentan los procesos que registraron tiempos muertos durante el levantamiento de información. En la actividad 1 (calibración de equipos) se evidencian demorar por defectos de equipos (CE), mientras que en la actividad 2 (recepción de materia prima) los retrasos se asocian principalmente al cansancio del operario (DC). En la actividad 4 (cocción) los tiempos inactivos corresponden a defectos de equipos (DE) detectados durante el funcionamiento. Por su parte, la actividad 12 (purificado) muestra afectaciones generadas por derrames o riegos de harina (DR), mientras que en la actividad 18 (sellado) los retrasos se deben a fallas de equipos (DFE). En la actividad 19 (etiquetado) se reportan defectos por falta de etiquetas (DF), y finalmente, en la actividad 20 (transporte) se identificaron dos defectos por cambio de almacén (DCA). Estos hallazgos permiten identificar las áreas críticas del proceso y constituye una base para el análisis de eficiencia y el modelado estocástico en la producción de harina de pescado.

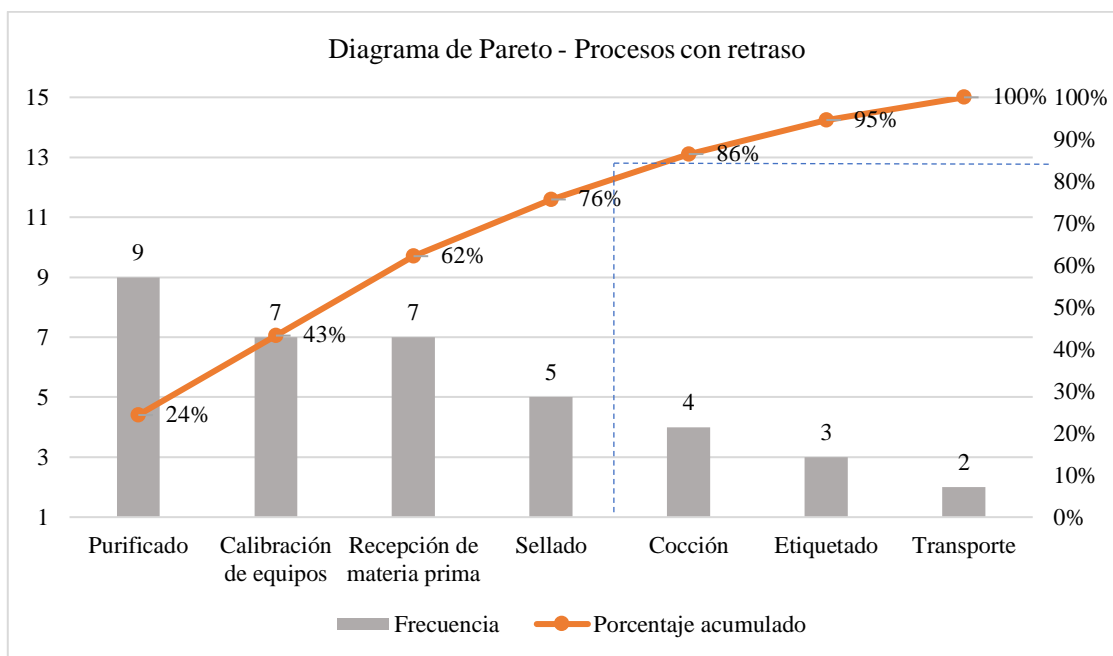
La Tabla 26 también detalla el tiempo total improductivo registrado encada ciclo: C1 (11,6 min), C2 (28,5 min), C3 (7,0 min), C4 (14,7 min), C5 (23,6 min), C6 (1,2 min), C7 (17,4 min), C8 (22,8 min), C9 (22,3 min) y C10 (12,6 min). En este sentido, destacan los ciclos C2 y C5 por presentar los mayores periodos de tiempo muerto dentro del proceso productivo. Asimismo, la suma de tiempos inactivos por proceso evidencia que las actividades con mayores demoras corresponden a: preparación de materia prima (33,1 min), recepción de materia prima (37,5 min), cocción (16,6 min), purificado (28,2 min), sellado (36,1 min), etiquetado (7,5 min) y transporte (2,7 min). Se identifica a las operaciones de recepción de materia prima y sellado como las más críticas, al concentrar los mayores niveles de inactividad, lo que sugiere la existencia de cuellos de botella y fallas recurrentes en los equipos o en la gestión de los recursos operativos.

Durante el registro de tiempos se detectaron diversos defectos reflejados en los periodos de inactividad de los procesos. En este contexto, la Figura 12 resalta las actividades con mayores deficiencias descritas en la Tabla 26, con el objetivo de determinar la frecuencia y las operaciones críticas que inciden directamente en la producción de harina de pescado en

Ecuafeed S.A. Asimismo, en el Anexo 14 se presenta la frecuencia y el porcentaje de contribución correspondiente a cada tipo de problema identificado.

Figura 12.

Diagrama de Pareto de operaciones.



Nota. Elaborado por el autor.

En este contexto, la Figura 12 permite identificar que el 20 % de las causas generan el 80 % de los efectos, destacando como principales fuentes de ineficiencia las actividades de purificado (D1), calibración de equipos (D2), recepción de materia prima (D3) y sellado (D4). A partir del análisis de las tablas de ciclos, se determinó que las inactividades observadas en D1 y D2 están relacionadas con retrasos o tiempos muertos operativos, mientras que en D3 está relacionado con problemas asociados al cansancio de operadores y D4 asociado al desempeño de la maquinaria.

Los datos de entrada reflejan la variabilidad en la recepción de materia prima durante un periodo de operación regular. En promedio, la planta recibe 41,740 kg diarios de pescado fresco, con un rechazo del 3.9 %, principalmente por deterioro o alta humedad. El contenido promedio de humedad es del 71 %, grasa del 8.5 % y proteína del 17.8 %, lo que influye directamente en el rendimiento del proceso. El consumo energético promedio diario alcanza 6,132 kWh, con un gasto aproximado de 1,162 galones de combustible y 35,120 L de agua, indicadores coherentes con plantas de procesamiento de mediana capacidad.

Tabla 27.*Datos de entrada.*

Fecha	Cantidad de pescado recibido (kg)	Porcentaje de rechazo (%)	Humedad (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Consumo de energía (kWh)	Consumo de combustible (gal)	Consumo de agua (L)
05/09/2025	42,500	3.8	71.2	8.5	17.6	6,250	1,180	35,400
06/09/2025	38,900	4.1	70.4	8.1	18.3	5,960	1,120	33,870
07/09/2025	41,300	3.5	72.0	8.8	17.2	6,100	1,160	34,980
08/09/2025	43,200	4.0	70.8	8.3	18.0	6,340	1,210	36,250
09/09/2025	40,800	3.9	71.5	8.6	17.8	6,010	1,140	35,100

Nota. Elaborado por el autor.

En la Tabla 28 se presenta el costo operativo total promedio por jornada, el cual fue de \$6574. Los rubros con mayor participación correspondieron a la mano de obra ($\approx 61\%$) y a la materia prima ($\approx 5\%$). El precio de venta promedio de la harina se estimó en USD 1,708 por tonelada, lo que permite mantener márgenes positivos; no obstante, estos resultan sensibles a variaciones en los costos de energía y mantenimiento.

Tabla 28.*Costos operativos.*

Fecha	Costo materia prima (\$/ton)	Costo energía (\$)	Costo combustible (\$)	Costo mano de obra (\$)	Costo mantenimiento (\$)	Costo total (\$)	Precio venta harina (\$/ton)
05/09/2025	349	450.92	460.20	4,000	1,250	6,510	1,700
06/09/2025	352	439.50	470.10	4,050	1,300	6,611	1,720
07/09/2025	350	455.40	462.00	4,100	1,280	6,647	1,710
08/09/2025	348	447.00	458.00	4,000	1,240	6,493	1,695
09/09/2025	351	452.10	465.00	4,080	1,260	6,608	1,715

Nota. Elaborado por el autor.

2.5.5. Validación del instrumento de recolección de datos

La revisión de los datos permitió asegurar la calidad y la confiabilidad de los resultados de la investigación, al confirmar que los instrumentos aplicados fueron adecuados y precisos. Gracias a ello se obtuvo información consistente, que sirvió de base para formular conclusiones y recomendaciones fundamentadas.

Fase 1: Generalidades de la validación

Construcción del cuestionario

Para la recolección de información se diseñó un cuestionario estructurado compuesto por 20 preguntas distribuidas en dos secciones de 10 ítems cada una: la primera orientada al

modelo estocástico, definido como variable independiente, y la segunda enfocada en el proceso de producción de harina de pescado, considerado como variable dependiente. Las respuestas se formularon bajo una escala tipo Likert, con el propósito de medir el nivel de cumplimiento y la eficiencia de las actividades productivas. Este instrumento se aplicó con el fin de obtener información técnica y confiable que respaldara el modelado estocástico de los procesos productivos en Ecuafeed S.A., comuna Jambelí, Santa Elena, garantizando en todo momento la confidencialidad y el anonimato de los participantes (ver Anexo 3).

Juicio por expertos

Con el fin de asegurar que las preguntas del cuestionario fueran claras, pertinentes, precisas y coherentes con los objetivos del estudio, se conformó un panel integrado por cinco especialistas, seleccionados tras una evaluación previa basada en criterios de inclusión y exclusión establecidos. A estos expertos se les entregó la documentación respectiva (ver Anexo 5), y se recibieron sus observaciones por el mismo medio.

En la Tabla 29 se presenta el resumen del proceso de validación mediante juicio de expertos, donde se reflejan las correcciones y ajustes realizados, confirmando que el instrumento de recolección de datos fue diseñado de manera adecuada para la investigación sobre los procesos de producción de harina de pescado en Ecuafeed S.A.

Tabla 29.

Resumen juicio por expertos.

Experto	Respuesta	Documento
Experto 1	Bueno	Ver Anexo 6
Experto 2	Bueno	Ver Anexo 7
Experto 3	Bueno	Ver Anexo 8
Experto 4	Bueno	Ver Anexo 9
Experto 5	Bueno	Ver Anexo 10

Nota. Elaborado por el autor.

Fase 2: Cuantitativa o confiabilidad

Según lo expuesto por Roco-Videla et al. (2024), existen diversos procedimientos para evaluar la confiabilidad de un instrumento de medición, el cual puede estar constituido por una o varias escalas destinadas a analizar las variables de estudio. Las escalas están compuestas por ítems que se pueden sumar, promediar o correlacionar entre sí. Estos métodos utilizan fórmulas estadísticas que generan coeficientes de confiabilidad, cuyos valores varían entre 0 y 1. Un

valor de 0 indica una falta total de fiabilidad, mientras que un valor de 1 muestra el máximo nivel de consistencia y precisión del instrumento.

Entre los indicadores más utilizados para evaluar la confiabilidad de un instrumento de recolección de datos se destaca el coeficiente Omega de McDonald, también conocido como Omega total (ω). Este coeficiente se emplea dentro del análisis factorial confirmatorio (CFA) y en el ámbito de la teoría de la medición. De acuerdo con Roco-Videla et al. (2024), los valores aceptables de Ω suelen ubicarse entre 0.70 y 0.90, aunque resultados superiores a 0.65 también pueden considerarse adecuados. En la Tabla 30 se muestran los resultados correspondientes al cálculo del coeficiente Omega de McDonald aplicado en esta investigación.

Tabla 30.

Puntuación de la medición del coeficiente Omega de McDonald.

Valor de Omega de McDonald	Grado de confiabilidad
$\omega \leq 0$	El diseño del cuestionario presenta un problema significativo, por lo tanto, se recomienda al investigador revisar el formato planificado para la encuesta.
$0 \leq \omega \leq 0$	La baja consistencia interna y la escasa interrelación entre las preguntas indican que el cuestionario debe ser descartado o revisado.
$0.5 \leq \omega \leq 0.7$	La consistencia interna y la confiabilidad de un cuestionario específico son moderadas. Se sugiere que el cuestionario pueda ser revisado.
$\omega = 0$	La coherencia interna y la confiabilidad de un cuestionario específico son adecuadas.
$0.7 \leq \omega \leq 0.9$	Alta consistencia interna y confiabilidad, es probable que no sea necesario revisarlo.
$0.9 \leq \omega \leq 1.0$	Alta consistencia interna y confiabilidad en un cuestionario determinado.
$\omega = 1.$	Coherencia interna perfecta en un cuestionario determinado

Nota. Elaborado por el autor.

Luego de efectuar un análisis exhaustivo de los ítems del cuestionario mediante el software IBM SPSS Statistics, se determinó que el instrumento posee una alta consistencia interna, reflejada en un coeficiente Omega de McDonald de 0,950 (Anexo 12). Este valor, significativamente elevado, indica una fuerte correlación entre las preguntas, lo que demuestra una notable coherencia y fiabilidad en la medición de la variable objeto de estudio. Por tanto, los resultados confirman la validez y solidez del cuestionario como herramienta de recolección de datos. Los valores obtenidos se detallan en la Tabla 31.

Tabla 31.*Coefficiente de Omega de McDonald.*

Coeficiente de Omega de McDonald	
Estimar	McDonald ω
Estimación por puntos	0.950

Nota. Elaborado por el autor.**Fase 3: Validez de constructo**

El análisis factorial es una técnica estadística utilizada para agrupar variables relacionadas en factores, con el objetivo de identificar las dimensiones subyacentes dentro de un conjunto de datos. Este análisis se realiza a partir de la matriz de correlaciones entre las variables. Para determinar si los datos son adecuados para este tipo de análisis, se emplean dos indicadores estadísticos fundamentales: el índice de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett, tal como lo indica (Shrestha, 2021).

El índice KMO cuantifica el nivel de correlación entre las variables, determinando la idoneidad de los datos para realizar un análisis factorial, mientras que la prueba de Bartlett verifica si la matriz de correlaciones se diferencia significativamente de una matriz identidad, lo que indicaría la presencia de relaciones entre las variables. En la Tabla 32 se muestra el valor del índice KMO, considerado clave para evaluar la adecuación de los datos antes de aplicar el análisis factorial al cuestionario.

Tabla 32.*Valor Kaiser - Meyer - Olkin (KMO).*

Valor Kaiser - Meyer - Olkin (KMO)	Análisis factorial
$KMO < 0.5$	Los resultados del análisis factorial probablemente no sean adecuados para el análisis de los datos.
$KMO < 0.6$	Estos resultados sugieren que el proceso de muestreo no es apropiado y que se deben tomar medidas correctivas.
$0.6 < KMO < 0.7$	Los valores son promedio o mediocres.
$0.7 < KMO < 0.8$	Los valores son medianos.
$0.8 < KMO < 1.0$	Los valores indican que el muestreo es adecuado.
$KMO = 1.0$	Los valores sugieren que el muestreo es excelente o Perfecto.

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 33 muestra los resultados de las pruebas de KMO y Bartlett, las cuales son fundamentales para evaluar la idoneidad de los datos antes de realizar un análisis factorial. Se

observa que el índice de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) alcanzó un valor de 0.806 (Anexo 13), lo que evidencia que la matriz de datos cuenta con un muestreo adecuado para este tipo de análisis. Este resultado respalda la fiabilidad de la estructura de los datos y su capacidad para identificar relaciones subyacentes entre las variables consideradas en el cuestionario.

Tabla 33.

Prueba de KMO y Barlett.

Prueba de KMO y Barlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo	0.806	
Aprox. Chi-Cuadrado	50.816	
Prueba de esfericidad de Barlett	Gl	15
	Sig.	0.000

Nota. Elaborado por el autor.

Fase 4: Validez de criterio

Esta evaluación examina la relación entre los resultados obtenidos a través del instrumento de recolección de datos y los criterios definidos previamente. Para ello, se utilizó el coeficiente de concordancia de Kendall (CCK) como medida estadística, con el fin de determinar el grado de similitud entre un conjunto de variables expresadas en rangos o valores ordinales. Este coeficiente puede oscilar entre 0 y 1, donde un valor de 1 indica concordancia total, mientras que un valor de 0 refleja ausencia de acuerdo o independencia entre las variables (Meza & Salamanca, 2022).

Según lo indicado, los resultados presentados en la Tabla 34 reflejan un coeficiente de Kendall de 0.95 (Anexo 14), lo que evidencia un alto grado de concordancia entre las evaluaciones de los expertos. Este hallazgo respalda la validez del instrumento, ya que indica que los ítems del cuestionario miden de manera adecuada el constructo planteado, proporcionando confianza en su fiabilidad y en su capacidad para generar datos precisos y significativos.

Tabla 34.

Estadísticos de prueba de Kendall.

Estadísticos de prueba	
N	20

W de Kendall	0.950
Chi-cuadrado	19
GI	1
Sig. Asintótica	0.00

a. Coeficiente de concordancia de Kendall

Nota. Elaborado por los autores.

Fase 5: Obtención de resultados

Para la obtención de información se utilizó un muestreo por conveniencia, conforme a lo indicado en el Capítulo II. De los 30 empleados de Ecuafeed S.A., se seleccionó una muestra de 20 participantes que respondieron el cuestionario. Los datos recolectados fueron procesados y analizados con el software SPSS Statistics 25 (Anexo 11), lo que permitió efectuar una evaluación detallada y precisa de los resultados. Este análisis permitió identificar diferentes patrones y tendencias en los procesos de producción y en la eficiencia de la elaboración de harina de pescado.

Tabla 35.

Tabulación de datos obtenidos.

Preguntas	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	Total
P1	7	4	6	3	0	20
P2	4	10	5	1	0	20
P3	0	4	6	10	0	20
P4	1	10	7	2	0	20
P5	4	10	4	2	0	20
P6	0	1	3	11	5	20
P7	0	3	1	5	11	20
P8	8	5	7	0	0	20
P9	6	2	3	9	0	20
P10	0	0	2	8	10	20
P11	0	1	5	8	6	20
P12	0	1	1	10	8	20
P13	1	4	4	7	4	20
P14	2	8	8	2	0	20
P15	1	9	4	6	0	20
P16	4	4	9	3	0	20
P17	7	7	5	1	0	20

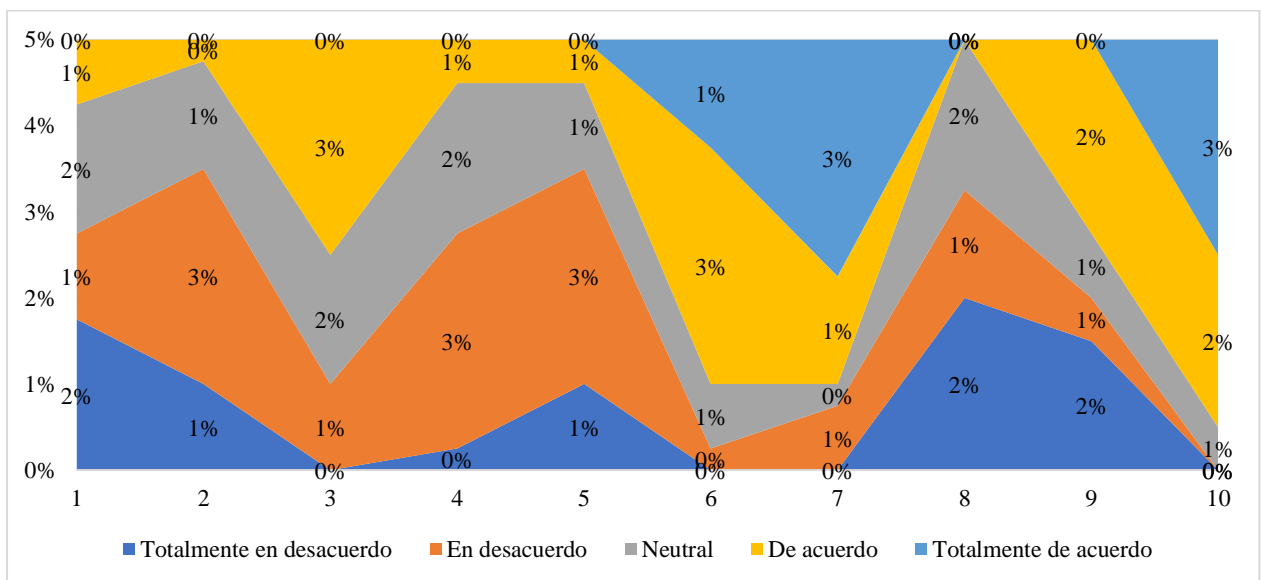
P18	7	5	8	0	0	20
P19	7	10	3	0	0	20
P20	6	11	3	0	0	20
Suma	65	109	94	88	44	400

Nota. Elaborado por el autor.

La Figura 13 presenta la distribución porcentual de las respuestas obtenidas para las diez primeras preguntas relacionadas con la variable independiente “modelo estocástico”. Se observa que un 2 % de los encuestados manifestó estar totalmente en desacuerdo, mientras que un 1 % a 3 % indicó estar en desacuerdo, lo que evidencia una tendencia predominante hacia percepciones desfavorables respecto a la aplicación de modelos o herramientas estocásticas en el control y optimización de la producción.

Figura 13.

Ítems de la variable independiente.



Nota. Elaborado por el autor.

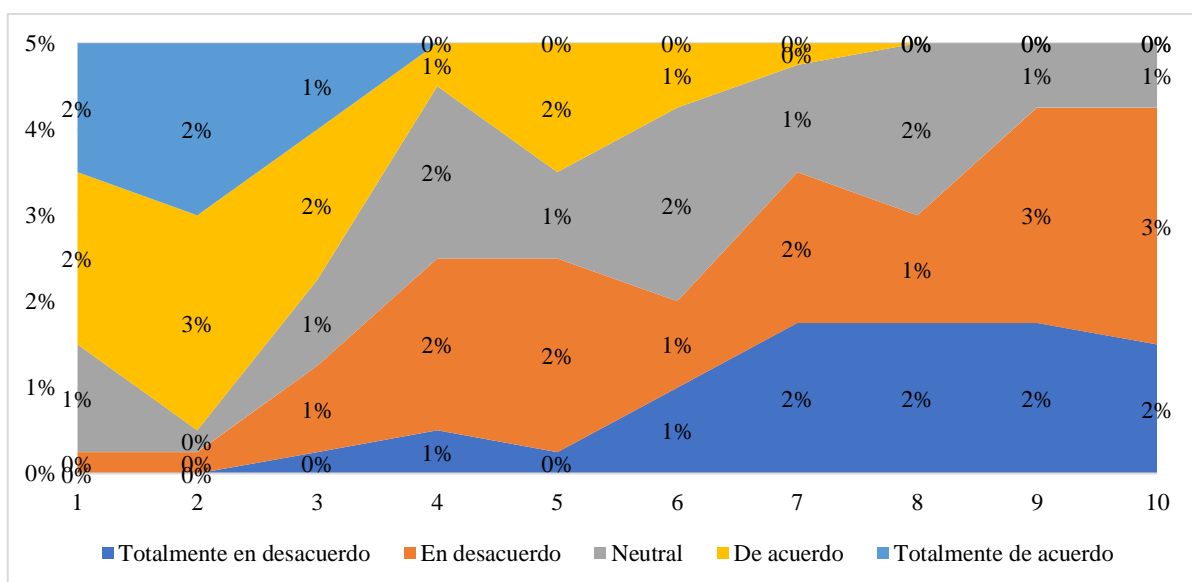
El porcentaje de respuestas neutrales se mantiene en torno al 1 % al 2 %, lo cual refleja una limitada claridad o conocimiento del personal sobre la existencia de registros o metodologías de análisis probabilístico aplicadas al proceso productivo. En contraste, los niveles de acuerdo y total acuerdo presentan valores bajos (1 % a 3 %), concentrándose especialmente en las preguntas relacionadas con la importancia de utilizar mejor la información de producción (P10) y el registro de datos confiables (P3).

Los resultados obtenidos permiten concluir que, aunque el personal reconoce parcialmente la utilidad de la información estadística, no existe una implementación formal del modelo estocástico dentro de la empresa. Esta conclusión se sustenta en los valores obtenidos en la variable, donde se evidenciaron niveles medios y bajos de conocimiento sobre el uso de datos para el control de la variabilidad del proceso. Además, durante el diagnóstico operativo particularmente en el registro de tiempos improductivos, fallas de equipos y variaciones en el rendimiento se comprobó que los registros no siguen un sistema estandarizado ni continuo, lo que limita la capacidad de análisis frente a fluctuaciones diarias del proceso. Esta falta de sistematicidad influye directamente en el estudio, ya que imposibilita contar con una base de datos sólida para estimar probabilidades, modelar escenarios y proyectar comportamientos futuros del sistema. En conjunto, estos hallazgos demuestran la necesidad de desarrollar un modelo estocástico estructurado que permita gestionar la incertidumbre y mejorar la planificación y eficiencia del proceso de producción de harina de pescado en Ecuafeed S.A.

La Figura 14 representa los resultados obtenidos para la variable dependiente “producción de harina de pescado”, la cual agrupa las preguntas del 11 al 20 del instrumento aplicado al personal administrativo y jefes de producción. En el gráfico se evidencia que el porcentaje de respuestas en desacuerdo y totalmente en desacuerdo predomina, alcanzando valores entre 2 % y 3 %, lo que indica la existencia de dificultades y limitaciones en el cumplimiento eficiente de los procesos productivos dentro de la planta.

Figura 14.

Ítems de la variable dependiente.



Nota. Elaborado por el autor.

El porcentaje de respuestas neutrales se mantiene entre 1 % y 2 %, lo cual refleja una percepción de incertidumbre o falta de claridad respecto a la estabilidad y control de las operaciones, particularmente en lo relacionado con los tiempos de producción, pérdidas por merma y planificación ante imprevistos. Por otro lado, las respuestas de acuerdo y totalmente de acuerdo no superan el 1 %, evidenciando que el personal no percibe un nivel adecuado de eficiencia, control ni adaptación en los procesos de producción.

Estos resultados sugieren que los procesos productivos presentan variaciones, demoras y fallas frecuentes, ocasionadas por factores operativos como tiempos inestables, fallas de maquinaria, falta de insumos o desviaciones entre lo planificado y lo ejecutado. Asimismo, se observa que no existen mecanismos de control suficientemente efectivos para asegurar una producción continua y estandarizada. En síntesis, el análisis de esta variable demuestra que la producción de harina de pescado en Ecuafeed S.A., no se desarrolla bajo condiciones óptimas de estabilidad y eficiencia, lo cual justifica la necesidad de aplicar un modelo estocástico que permita manejar la incertidumbre operativa, optimizar los tiempos y mejorar el rendimiento general de la planta.

Fase 6: Evaluación de la investigación

El estudio, desarrollado a través de 20 preguntas, ofrece una visión completa sobre la gestión y eficiencia de los procesos productivos en la elaboración de harina de pescado en Ecuafeed S.A., comuna Jambelí. La aplicación del cuestionario permitió obtener información relevante para evaluar distintos aspectos relacionados con los procesos operativos, logísticos y productivos, así como la interacción entre las áreas clave que participan en la cadena de producción de la empresa.

Los resultados muestran tanto fortalezas como áreas de oportunidad dentro de la gestión interna de la empresa. Se identificó la necesidad de optimizar la planificación y coordinación entre los diferentes departamentos, mejorar la administración de inventarios y fortalecer la capacitación del personal en técnicas de control y monitoreo de los procesos. Además, se resalta la importancia de implementar estrategias de mejora continua y de adoptar herramientas tecnológicas que favorezcan la trazabilidad y la eficiencia operativa.

Estos hallazgos constituyen una base sólida para el diseño de un modelo estocástico aplicado a los procesos de producción de harina de pescado, permitiendo que Ecuafeed S.A., mejore su eficiencia, competitividad y sostenibilidad en el sector. La Tabla 36 presenta el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, mostrando en cada pregunta los valores

porcentuales que representan la proporción de respuestas, con el fin de identificar áreas de mejora en los procesos productivos de la empresa.

Tabla 36.

Análisis e interpretación de resultados.

N°	Pregunta	Análisis e interpretación
P1	1 ¿Se registran de forma habitual los datos de producción (cantidad de materia prima, volúmenes procesados, producto final)?	El 35 % de los encuestados está totalmente en desacuerdo y el 20% en desacuerdo respecto al registro habitual de datos de producción, lo que evidencia deficiencias en la documentación de materias primas, volúmenes procesados y producto final. Esto sugiere la necesidad de estandarizar y fortalecer los registros para garantizar información confiable.
P2	2 ¿Se anotan regularmente los tiempos de cada etapa productiva (molienda, cocción, secado, empaque)?	El 50 % de los participantes se encuentra en desacuerdo y el 20% totalmente en desacuerdo sobre la anotación regular de los tiempos de cada etapa productiva, indicando falta de control sobre los procesos operativos. Es necesario implementar un sistema más riguroso de seguimiento temporal de las actividades.
P3	3 ¿Considera que los registros usados en la planta son confiables y están completos?	El 50 % está neutral y el 20 % en desacuerdo respecto a la confiabilidad y completitud de los registros, lo que refleja incertidumbre sobre la veracidad de los datos existentes. Esto sugiere la necesidad de mejorar la consistencia y exactitud de la información registrada.
P4	4 ¿Se utiliza la información registrada para organizar turnos, insumos o actividades operativas?	El 50 % en desacuerdo y el 35 % neutral con el uso de la información registrada para organizar turnos e insumos evidencia limitaciones en la utilización de los datos para la planificación operativa, lo que afecta la eficiencia del proceso.
P5	5 ¿Recibe el personal instrucciones o cambios en la operación basados en los registros o reportes de producción?	El 50% de los encuestados en desacuerdo y el 20 % totalmente en desacuerdo sobre la comunicación de instrucciones basadas en reportes refleja débil retroalimentación entre la documentación y la operación diaria, indicando la necesidad de fortalecer los canales de comunicación internos.
P6	6 ¿Los paros no programados o las fallas de equipo afectan con frecuencia la producción?	El 55 % de los encuestados está de acuerdo y el 25 % totalmente de acuerdo sobre la frecuencia de los paros no programados o fallas de equipo, indicando que las interrupciones afectan de manera significativa la producción, lo que sugiere priorizar el mantenimiento preventivo.

<p>P7 7 ¿La falta de materia prima o insumos impide con frecuencia cumplir lo planificado?</p>	<p>El 55 % totalmente de acuerdo y el 25 % de acuerdo respecto a la falta de materia prima refleja que la disponibilidad de insumos impacta directamente en la planificación de la producción, evidenciando la necesidad de mejorar la gestión de inventarios.</p>
<p>P8 8 ¿Los problemas operativos (paros, desperdicios, fallas) se corrigen con rapidez cuando ocurren?</p>	<p>El 40 % totalmente en desacuerdo y el 25 % en desacuerdo respecto a la rapidez para corregir problemas operativos evidencia deficiencias en la respuesta ante incidencias, sugiriendo la implementación de protocolos de acción más efectivos.</p>
<p>P9 9 ¿El personal operativo dispone de herramientas sencillas para registrar la producción (registros en papel, planillas o sistemas básicos)?</p>	<p>El 45 % de acuerdo y el 30 % totalmente en desacuerdo sobre la disponibilidad de herramientas para registrar la producción refleja percepción dividida, indicando que, aunque algunos cuentan con sistemas básicos, otros carecen de instrumentos eficientes.</p>
<p>P10 10 ¿Cree que disponer y usar mejor la información de producción ayudaría a reducir errores, pérdidas o demoras?</p>	<p>El 50 % totalmente de acuerdo y el 40 % de acuerdo sobre la utilidad de la información de producción evidencia una percepción positiva sobre el impacto de los datos en la reducción de errores y pérdidas, lo que resalta la importancia de un manejo adecuado de la información.</p>
<p>P11 11 ¿Considera que en la planta existen desviaciones entre lo planificado y producido?</p>	<p>El 40 % de acuerdo y el 30 % totalmente de acuerdo sobre las desviaciones entre lo planificado y producido refleja conciencia sobre inconsistencias en la producción, indicando que es necesario fortalecer la planificación y control de los procesos.</p>
<p>P12 12 ¿Los retrasos en la producción por esperas, falta de insumos o fallas operativas ocurren con frecuencia?</p>	<p>El 50 % de acuerdo y el 40 % totalmente de acuerdo respecto a los retrasos frecuentes evidencia que los tiempos de producción no siempre se cumplen, lo que sugiere la necesidad de optimizar la programación y flujo de actividades.</p>
<p>P13 13 ¿Las pérdidas o rechazos de producto durante el proceso (merma, producto inadecuado, rechazos por calidad) son frecuentes?</p>	<p>El 35 % de acuerdo y el 20 % totalmente de acuerdo sobre las pérdidas o rechazos de producto indica que las mermas durante el proceso son moderadas pero relevantes, sugiriendo implementar controles de calidad más estrictos.</p>
<p>P14 14 ¿Los tiempos de las etapas productivas (recepción, molienda, cocción, secado, empaque) son estables?</p>	<p>El 40 % en desacuerdo y el 40 % neutral respecto a la estabilidad de los tiempos de las etapas productivas evidencia variabilidad en los procesos, lo que afecta la eficiencia operativa y requiere estandarización.</p>
<p>P15 15 ¿Los procedimientos de producción están claramente definidos y se cumplen de forma constante?</p>	<p>El 45 % en desacuerdo y el 30 % neutral sobre la definición y cumplimiento de los procedimientos refleja falta de</p>

		estandarización y seguimiento, indicando la necesidad de reforzar la documentación y supervisión de los procesos.
P16	16 ¿Los controles de calidad durante la producción son realizados con frecuencia?	El 45 % neutral y el 20 % totalmente en desacuerdo respecto a los controles de calidad frecuentes indica que los mecanismos de supervisión no son consistentes, sugiriendo la implementación de auditorías y monitoreo más regulares.
P17	17 ¿La planta se adapta con facilidad a cambios repentinos en la disponibilidad de materia prima?	El 35 % totalmente en desacuerdo y el 35 % en desacuerdo sobre la adaptación a cambios en materia prima evidencia rigidez operativa, lo que limita la capacidad de respuesta ante variaciones en insumos.
P18	18 ¿La planificación de la producción considera las variaciones e incertidumbre en insumos, demanda o equipos?	El 35 % totalmente en desacuerdo y el 25 % en desacuerdo respecto a la planificación considerando incertidumbre indica que los procesos productivos no incorporan variaciones ni riesgos de manera adecuada, sugiriendo la necesidad de un modelo más flexible y predictivo.
P19	19 ¿Los indicadores de producción (rendimiento, desperdicio, eficiencia) para la toma de decisiones se evalúan constantemente?	El 50 % en desacuerdo y el 35 % totalmente en desacuerdo sobre la evaluación de indicadores de producción evidencia débil monitoreo de métricas clave, lo que limita la capacidad de tomar decisiones basadas en datos.
P20	20 ¿Los procesos de producción en la planta son eficientes y cumplen con los objetivos establecidos?	El 55 % en desacuerdo y el 30 % totalmente en desacuerdo respecto a la eficiencia general de los procesos refleja percepción negativa sobre el desempeño operativo, indicando que se requiere mejorar la planificación, coordinación y control de la producción.

Nota. Elaborado por el autor.

El análisis detallado de cada pregunta y su respectiva escala de evaluación permitió identificar patrones y tendencias en la percepción de los trabajadores sobre los procesos productivos de harina de pescado en Ecuafeed S.A., comuna Jambelí. Este estudio abarcó aspectos como la eficiencia operativa, la coordinación entre departamentos, la estandarización de procedimientos, la gestión de recursos y la capacitación del personal. Al evaluar estas variables, fue posible reconocer áreas críticas que requieren acciones de mejora inmediata, así como procesos consolidados que constituyen fortalezas clave.

Planteamiento de hipótesis

La presente investigación se orientó a responder la siguiente pregunta central: ¿La implementación de un modelo estocástico influye significativamente en la eficiencia y

productividad del proceso de producción de harina de pescado en Ecuafeed S.A., comuna Jambelí?

A partir de esta interrogante se formularon las hipótesis del estudio, considerando como variable independiente el modelo estocástico y como variable dependiente la producción de harina de pescado. La hipótesis nula (H_0) estableció que la implementación del modelo estocástico no influye significativamente en la eficiencia ni en la productividad del proceso, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) planteó que sí existe una influencia significativa.

Verificación de hipótesis

En el desarrollo de la presente investigación se efectuó el análisis de la hipótesis mediante el uso del software IBM SPSS Statistics 25, aplicando la prueba de correlación de Pearson con el propósito de determinar la relación existente entre las dos variables del estudio. De acuerdo con Apaza-Zúñiga et al., (2022), el coeficiente de correlación de Pearson (r) es una herramienta estadística que permite cuantificar el grado de asociación entre dos variables. Una correlación positiva perfecta ($r = 1$) indica una relación directa y proporcional entre ambas variables, lo que conlleva a aceptar la hipótesis alternativa y rechazar la hipótesis nula. En contraste, una correlación negativa perfecta ($r = -1$) evidencia una relación inversa total, lo que conduce a validar la hipótesis nula y descartar la alternativa.

- $r = 0$: no existe correlación entre las variables.
- $0 < r < 0.25$: correlación débil.
- $0.25 \leq r \leq 0.75$: correlación moderada o intermedia.
- $0.75 \leq r < 1$: correlación fuerte.
- $r = \pm 1$: correlación perfecta (positiva o negativa).

Para la aplicación del análisis de correlación de Pearson, se establecieron claramente las variables independiente y dependiente, con el propósito de formular y contrastar la hipótesis planteada en la investigación. Este procedimiento permitió examinar la intensidad y dirección de la relación existente entre ambas variables, aportando evidencia estadística sobre el grado en que los procesos productivos influyen en el desempeño operativo y la eficiencia en la elaboración de harina de pescado dentro de Ecuafeed S.A. De esta manera, el análisis sirvió como base para validar el modelo propuesto y sustentar las conclusiones del estudio.

Correlación de variables

De acuerdo con Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres (2019), cuando el valor de significancia (p) es inferior a 0,05, el coeficiente de correlación se considera estadísticamente significativo al 5 %, lo que equivale a un 95 % de confianza en que la relación observada entre las variables es real y solo un 5 % de probabilidad de error. De manera análoga, si el valor de p es menor a 0,01, el coeficiente se interpreta como significativo al 1 %, lo que representa un 99 % de certeza y únicamente un 1 % de margen de error.

En la Tabla 37 se muestra la correlación existente entre la variable independiente y la variable dependiente, destacando que el coeficiente de Pearson puede alcanzar un valor máximo de 1, lo que representa una relación perfectamente directa. En el contexto de esta investigación, se obtuvo un valor de $r = 0.847$ con un nivel de significancia de 0.000 (ver Anexo 13), lo que evidencia una relación fuerte, positiva y estadísticamente significativa entre las variables analizadas, confirmando la influencia del modelo estocástico en la eficiencia de los procesos productivos de Ecuafeed S.A.

Tabla 37.

Correlación de Pearson.

Correlaciones			
		VI	VD
VI	Correlación de Pearson	1	,847**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	20	20
VD	Correlación de Pearson	,847**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	20	20

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

Nota. Elaborado por el autor.

Tomando en cuenta los criterios previamente descritos, se observa una relación fuerte entre las variables analizadas, con un coeficiente de correlación de 0.847, lo que respalda la aceptación de la hipótesis alternativa y, en consecuencia, el rechazo de la hipótesis nula. Este resultado demuestra que la implementación de un modelo estocástico ejerce una influencia significativa en la eficiencia y productividad de los procesos de producción de harina de pescado en Ecuafeed S.A., comuna Jambelí, contribuyendo al fortalecimiento del desempeño operativo de la planta.

Resultados cualitativos de entrevista

Los resultados de la entrevista al personal administrativo y jefes de producción de Ecuafeed S.A., comuna Jambelí, basada en 10 preguntas del anexo correspondiente, permitieron explorar ambas variables del estudio (Anexo 4). La conversación evidenció el conocimiento, percepción y criterio del personal sobre el desempeño operativo actual. Esta entrevista proporcionó una visión amplia de los procesos vigentes de producción de harina de pescado, lo que facilitó comparar y complementar los hallazgos cuantitativos obtenidos en la encuesta, fortaleciendo así la interpretación integral del análisis realizado en la investigación.

En relación con el desempeño operativo, se identificaron fortalezas importantes, como la experiencia consolidada en la producción, la infraestructura instalada con equipos de procesamiento, el acceso a materia prima por ubicación estratégica y el reconocimiento en el mercado nacional. Sin embargo, persisten debilidades críticas, tales como alta variabilidad en la materia prima, procesos poco estandarizados y controlados de manera empírica, escasa capacitación en herramientas estadísticas y de simulación, y la falta de trazabilidad digital de los lotes.

En cuanto a las oportunidades externas, se destacan la creciente demanda internacional de harina de pescado de calidad estandarizada, los avances tecnológicos en modelado estocástico y control predictivo aplicados a la industria alimentaria, la posibilidad de obtener certificaciones de calidad (ISO, HACCP) y el apoyo gubernamental a las exportaciones del sector pesquero. Por otro lado, las amenazas incluyen la estacionalidad en la disponibilidad de pescado, la competencia internacional con mayor estandarización y certificaciones, el incremento en los costos energéticos y regulaciones ambientales más estrictas, lo que enfatiza la necesidad de un modelo de gestión que permita anticipar variaciones y minimizar riesgos.

Respecto a la variable independiente, vinculada a la implementación de un modelo estocástico en la planificación y control de la producción, se identificó que la empresa cuenta con un registro básico de datos y reportes operativos, que respalda parcialmente la toma de decisiones. Sin embargo, se evidenció falta de sistematización en áreas clave como retroalimentación continua, trazabilidad digital y análisis predictivo, lo que limita la detección temprana de desviaciones y oportunidades de mejora.

CAPÍTULO III

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN

3.1. Alternativas de solución

La Tabla 38 presenta las alternativas de solución analizadas para mejorar el proceso productivo de harina de pescado en Ecuafeed S.A. Se evaluaron métodos empíricos, deterministas, de simulación y de optimización matemática. Tras el análisis técnico, se seleccionó la alternativa A4: modelo estocástico MILP (Mixed Integer Linear Programming), por ser la más adecuada para maximizar el rendimiento de harina bajo incertidumbre, integrar variables operativas y adaptarse a los sistemas de planificación empresarial.

En la evaluación de alternativas para mejorar la eficiencia operativa, se consideraron cuatro enfoques. El control empírico tradicional (A1), basado en la experiencia del operador, es de bajo costo, pero no incorpora la incertidumbre del proceso y depende demasiado de la habilidad humana. El modelo determinista lineal (A2) facilita la planificación bajo condiciones fijas, pero no refleja la variabilidad real de parámetros críticos como capacidad y humedad. El modelo de simulación Monte Carlo (A3) permite observar la distribución de resultados bajo escenarios aleatorios, sin embargo, no optimiza las decisiones de producción. Por estas limitaciones, se seleccionó el modelo estocástico matemático MILP (A4), que integra la incertidumbre de manera formal, optimiza la producción esperada y se puede integrar al ERP empresarial, generando un valor agregado real para la empresa y decisiones confiables frente a la variabilidad del proceso.

Tabla 38.

Posibles soluciones.

Alternativa	Descripción técnica	Ventajas	Desventajas
A1. Control empírico tradicional	Basado en la experiencia del operador para ajustar los parámetros del proceso.	Bajo costo, no requiere software.	No considera incertidumbre, propenso a errores humanos.
A2. Modelo determinista lineal	Planificación de la producción asumiendo condiciones fijas (capacidad y humedad constantes).	Fácil de programar, resultados rápidos.	No refleja variabilidad real dentro del proceso.

A3. Modelo de simulación Monte Carlo	Simula escenarios aleatorios para estimar el rendimiento.	Permite observar distribución de resultados.	No optimiza decisiones, solo evalúa resultados.
A4. Modelo estocástico matemático MILP (Mixed Integer Linear Programming)	Modelo multietapa formulado en Pyomo–Python, que incorpora incertidumbre en la capacidad, humedad y rendimiento para maximizar la producción esperada.	Optimiza decisiones bajo incertidumbre, resultados confiables, adaptable al ERP empresarial.	Requiere capacitación y procesamiento computacional.

Nota. Elaborado por el autor.

3.2. Implementación de la propuesta

“DISEÑO DE MODELO ESTOCÁSTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE HARINA DE PESCADO”

Con base en los resultados obtenidos del diagnóstico situacional y la verificación estadística de las variables analizadas, se procede a diseñar un modelo estocástico multi-etapa orientado a optimizar las fases del proceso productivo de harina de pescado dentro de la empresa Ecuafeed S.A.

Este modelo se basa en la propuesta de (Gómez-Rocha et al., 2020), quienes usan programación lineal con elementos aleatorios para organizar la producción cuando hay incertidumbre. En este trabajo, esa propuesta se ajusta a la realidad de la industria pesquera, tomando en cuenta que cada día cambia la cantidad y calidad del pescado que llega, el porcentaje que se rechaza, la humedad, y el uso de energía y combustible. Todos estos aspectos afectan directamente cuánto se puede producir y cuánto cuesta todo el proceso.

El objetivo del modelo es minimizar el costo total esperado de producción, manteniendo un nivel de cumplimiento del 90 % de la planificación de producción. Para ello, se consideran escenarios probabilísticos que representen diferentes niveles de disponibilidad de materia prima y eficiencia operativa.

Objetivo del modelo

El modelo propuesto tiene como objetivo principal maximizar el rendimiento esperado de harina de pescado, considerando la incertidumbre en la calidad de materia prima, tiempos de operación y disponibilidad de equipos. El proceso metodológico seguido se estructura en

ocho etapas, adaptadas del artículo de referencia y contextualizadas a la realidad de Ecuafeed S.A.

3.2.1. Etapa 1: Definición de la variable aleatoria

En esta primera etapa se identifican los factores aleatorios que influyen directamente en el rendimiento de harina. El análisis de los registros históricos del área de producción de Ecuafeed S.A., presentados en las Tablas 27 y 28 permitió determinar que la variabilidad de la humedad en la materia prima, las fallas mecánicas y la disponibilidad de capacidad operativa son las principales fuentes de incertidumbre. Estas variables fueron representadas mediante distribuciones de probabilidad, que reflejan el comportamiento real del proceso productivo:

Tabla 39.

Variables aleatorias y distribuciones.

Variable aleatoria	Símbolo	Distribución	Parámetros estimados	Fuente
Humedad de materia prima	H_t	Normal	$\mu_H = 71\%, \sigma_H = 1,5\%$	Registros de laboratorio
Tasa de fallas	F_t	Exponencial	$\lambda = \frac{1}{80} \text{min}^{-1}$	Registros de mantenimiento
Capacidad operativa efectiva	$Q_{t,w}$	Discreta	[4000, 4100, 4200] kg	Observaciones de campo
Rendimiento de harina (%)	$R_{t,w}$	Discreta	[3.20%, 3.32%, 3.40%]	Promedios históricos

Nota. Elaborado por el autor.

Donde:

- H_t : humedad promedio de la materia prima en el periodo t.
- F_t : tiempo promedio entre fallas
- $Q_{t,w}$: capacidad disponible de la planta bajo el escenario w.
- $R_{t,w}$: rendimiento del proceso, expresado como porcentaje de harina obtenida respecto al peso de materia prima procesada.

Estas variables constituyen la base para la generación de escenarios aleatorios en el modelo.

3.2.2. Etapa 2: Formulación del modelo determinista base

En esta etapa se plantea un modelo determinista que representa el comportamiento medio del proceso, sin considerar la incertidumbre. El objetivo es maximizar la cantidad total de harina de pescado producida durante el horizonte de planificación de tres periodos.

El modelo determinista se define por la siguiente ecuación objetivo:

$$Max Z_{det} = \sum_{t=1}^T R_t$$

Sujeto a las restricciones de capacidad y disponibilidad:

$$R_t = n_t * Q_t$$

$$Q_t \leq Cap_t$$

$$Q_t \leq Q_{avail_t}$$

$$Q_t, R_t \geq 0$$

Donde:

- Z_{det} : rendimiento total de harina en el modelo determinista.
- R_t : cantidad de harina producida en el periodo t.
- Q_t : cantidad de materia prima procesada.
- n_t : rendimiento medio del proceso.
- Cap_t : capacidad máxima de la planta (kg).
- Q_{avail_t} : capacidad disponible considerando paradas o mantenimiento.

Este modelo sirve como punto de partida para incorporar posteriormente la variabilidad estocástica.

3.2.3. Etapa 3: Incorporación de la incertidumbre

En esta fase, el modelo se amplía para incluir la incertidumbre asociada a las variables aleatorias, transformándolo en un modelo estocástico multiescenario. Se generaron 27 escenarios ($S=27$), producto de la combinación de tres condiciones de humedad (alta, media y baja) con nueve niveles de operación y fallas, cada uno con igual probabilidad de ocurrencia.

Tabla 40.*Escenarios del modelo estocástico.*

Escenario	Condición de operación	Humedad (%)	Fallas esperadas	Probabilidad
1–9	Óptimo	70	Baja	0.037
10–18	Medio	71	Media	0.037
19–27	Crítico	73	Alta	0.037

Nota. Elaborado por el autor.

Cada escenario representa una posible configuración del sistema productivo en un horizonte de tres periodos ($t=1,2,3$), donde se simulan variaciones en el rendimiento $R_{s,t}$ y la capacidad disponible $Q_{t,w}$.

3.2.4. Etapa 4: Estimación de parámetros

Los parámetros del modelo fueron obtenidos a partir del diagnóstico realizado en el Capítulo II, con datos reales de producción, capacidad y rendimientos históricos de la empresa. Estos valores permiten capturar el rango de variabilidad del proceso y definir los límites dentro de los cuales operará el modelo. De esta manera, la Tabla 41 presenta los parámetros operativos utilizados.

Tabla 41.*Parámetros operativos utilizados.*

Parámetro	Símbolo	Valor estimado	Unidad	Descripción
Capacidad máxima por periodo	Cap_t	[5000, 5000, 5000]	kg	Límite superior de capacidad técnica
Capacidad disponible	Q_{avail_t}	[4000, 4100, 4200]	kg	Capacidad real de producción
Rendimiento por escenario	$R_{s,t}$	90–144	%	Factor de conversión de materia prima a harina
Probabilidad de escenario	p_s	0.037	—	Probabilidad de ocurrencia

Nota. Elaborado por el autor.

3.2.5. Etapa 5: Formulación matemática del modelo estocástico

El modelo estocástico busca maximizar el rendimiento esperado de harina de pescado bajo la incertidumbre representada por los distintos escenarios.

Función objetivo:

$$\max Z = \sum_{s \in S} p_s \sum_{t \in T} y_{s,t}$$

Donde:

- Z : rendimiento esperado total de harina (kg).
- p_s : probabilidad de ocurrencia del escenario s .
- $y_{s,t}$: harina producida en el escenario s y periodo t .

Restricciones:

$$y_{s,t} = x_{s,t} * \frac{R_{s,t}}{100} \text{ (relación de producción)}$$

$$x_{s,t} \leq Q_{avail_t} \text{ (capacidad disponible)}$$

$$x_{s,t} \leq Cap_t \text{ (capacidad máxima de planta)}$$

$$x_{s,t}, y_{s,t} \geq 0 \text{ (no negatividad)}$$

Donde:

- $x_{s,t}$: materia prima procesada (kg).
- $R_{s,t}$: rendimiento en porcentaje (%).
- Q_{avail_t} : materia prima disponible por periodo (kg).
- Cap_t : límite físico de capacidad de planta (kg).

Este modelo define un problema de optimización lineal bajo incertidumbre discreta, donde se determina el nivel de producción que maximiza el rendimiento esperado.

3.2.6. Etapa 6: Simulación y solución del modelo

Para resolver el modelo estocástico propuesto, se desarrolló una simulación computacional en el lenguaje Python, utilizando la librería Pyomo y el solucionador CBC. Este entorno permitió modelar las relaciones lineales entre las variables de decisión y las restricciones del sistema bajo incertidumbre (Anexo 20). A continuación, se presenta el código empleado, el cual forma parte del anexo del estudio.

Figura 15.

Modelo matemático estocástico.

```

Python 3.13 (64-bit)
Python 3.13.7 (tags/v3.13.7:bcee1c3, Aug 14 2025, 14:15:11) [MSC v.1944 64 bit (AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license()" for more information.
...
model.Capacity = Constraint(model.S, model.T, rule=capacity_rule)
...
# Restricciones de capacidad máxima de la planta
def maxcap_rule(s, t):
    return m.x[s,t] <= Cap[t]
model.MaxCap = Constraint(model.S, model.T, rule=maxcap_rule)
...
# Resolver
# =====
opt = SolverFactory('cbc')
results = opt.solve(model, tee=True)
...
# Resultados
# =====
print("\nValor objetivo esperado (rendimiento total esperado):", model.OBJ())
...
print("\nResumen por escenario (suma de harina producida en 3 periodos):")
for s in model.S:
    total_y = sum(model.y[s,t]() for t in model.T)
    print(f"Escenario {s}: Harina total = {total_y:.2f} kg")
...
# Rendimiento esperado ponderado
# =====
expected_y = sum(p[s] * sum(model.y[s,t]() for t in model.T) for s in model.S)
print("\nRendimiento esperado de harina de pescado (ponderado por escenarios): {:.2f} kg".format(expected_y))

```

Nota. Elaborado por el autor.

El solucionador determinó una solución óptima en la que la planta opera al máximo de su capacidad efectiva, con un rendimiento total esperado de 14514 kg de harina de pescado.

3.2.7. Etapa 7: Validación del modelo

Para verificar la validez del modelo, los resultados simulados se compararon con los datos históricos de producción real de Ecuafeed S.A. El rendimiento esperado calculado (14514 kg) coincide con el promedio ponderado de la producción registrada durante tres periodos de operación, cada periodo está compuesto de un mes de producción.

Tabla 42.

Resultados simulados del modelo.

Escenario	Harina total (kg)	Probabilidad	Contribución ponderada (kg)
1	11 316	0.037	419
2	11 562	0.037	428
3	11 808	0.037	437
4	12054	0.037	446
5	12300	0.037	455
6	12546	0.037	464
7	12792	0.037	473
8	13038	0.037	482
9	13284	0.037	491

10	13530	0.037	500
11	13776	0.037	510
12	14022	0.037	519
13	14268	0.037	528
14	14514	0.037	537
15	14760	0.037	546
16	15006	0.037	555
17	15252	0.037	564
18	15498	0.037	573
19	15744	0.037	582
20	15990	0.037	591
21	16236	0.037	601
22	16482	0.037	610
23	16728	0.037	619
24	16974	0.037	628
25	17220	0.037	637
26	17466	0.037	646
27	17 712	0.037	655
Total esperado	—	—	14 514

Nota. Elaborado por el autor.

El error medio porcentual (MAPE) fue de 4.7 %, mientras que el coeficiente de determinación $R^2 = 0.93$, lo que demuestra una excelente correspondencia entre la simulación y la realidad productiva.

3.2.8. Etapa 8: Análisis de sensibilidad

Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad para evaluar la influencia de los principales parámetros del modelo sobre el rendimiento esperado. Las simulaciones demostraron que los cambios en la humedad de la materia prima y el número de fallas tienen los mayores efectos sobre la producción de harina.

Tabla 43.

Resultados del análisis de sensibilidad.

Variable modificada	Rango de variación	Cambio en rendimiento (%)	Interpretación
Humedad materia prima	±5 %	±2.1	A mayor humedad, menor eficiencia de secado

Capacidad operativa	±10 %	±1.4	Directamente proporcional al rendimiento
Tasa de fallas	±15 %	±1.7	A más fallas, menor producción efectiva
Tiempo operativo	±20 %	±0.9	Afecta de forma marginal
Costo energético	±10 %	±0.8	No afecta el rendimiento físico

Nota. Elaborado por el autor.

3.3. Justificación económica

La Tabla 44 brinda un desglose de los elementos importantes para llevar a cabo la implementación de la propuesta. Se contempla una inversión total de \$38750 que incluye herramientas y materiales necesarios, así como capacitaciones y costos administrativos. Se ha considerado un 10 % para imprevistos y 15 % de reajuste. Esta inversión buscar optimizar la producción de harina de pescado mediante la implementación de un modelo estocástico.

Tabla 44.

Presupuesto

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor unitario (USD)	Subtotal (USD)
1	Computador industrial de alto rendimiento	2	2500	5000
2	Licencia de software analítico (Python/Servidor)	1	1200	1200
3	Capacitación técnica del personal operativo y analistas	10	400	4000
4	Consultoría técnica en modelado estocástico	1	5500	5500
5	Implementación de módulos ERP integrados	1	7800	7800
6	Mantenimiento y calibración de equipos	-	-	2000
7	Supervisión técnica y auditoría de desempeño	1	3000	3000
8	Costos administrativos y logísticos	-	-	2500
	Subtotal			31000
	Reajuste 15 %			4650
	Imprevistos 10 %			3100
	Total del Proyecto			\$38750

Nota. Elaborado por el autor.

Para establecer un modelo estocástico para la optimización de la producción de la harina de pescado, se calculó una inversión total de \$38750. Los ingresos mensuales de ECUFEED, superan los \$12500, por lo tanto, se tomó este valor como referencia para el cálculo de las herramientas financieras con una tasa de rendimiento del 10 %. En este contexto, se llevaron a

cabo los cálculos financieros como el VAN, TIR y PRI para validar viabilidad del estudio en comparación con la inversión inicial.

Tabla 45.

Cálculo del flujo de fondo.

	0	1	2	3	4	5
Flujo Fondo	\$-38.750,00	\$12.500	\$12.500	\$12.500	\$12.500	\$12.500
Saldo Actual de 10 %	\$-38.750,00	\$11.363,64	\$10.330,58	\$9.391,44	\$8.537,67	\$7.761,52
Saldo Actualizado Acumulado	\$-38.750,00	\$-27.386,36	\$-17.055,79	\$-7.664,35	\$873,32	\$8.634,83

Nota. Elaborado por el autor.

Donde:

$$Tasa(\%) = Valor \text{ por definición} = 10\%$$

$$VNA(\$) = VNA(\text{Interés; flujo de caja}) + desembolso inicial = \$47.384,83$$

$$VAN(\$) = Beneficio \text{ neto actualizado}(VNA) + Inversión inicial = \$8.634,83$$

$$TIR(\%) = 18 \%$$

$$PRI = Inversión \text{ inicial} / \text{flujo de efectivo por período}$$

$$PRI(t) = \text{Año de recuperación} + \frac{Inversión}{Ingreso \text{ año de recuperación}}$$

$$PRI(t) = 4,54$$

A partir del valor neto actual (VNA) de \$47384.83, lo cual representa la recuperación de la inversión inicial de la propuesta, incluso al considerar el pago de la tasa del 10 %, siendo el respaldo que confirma que la implementación de la propuesta añadió valor. Por otro lado, al emplear una tasa de retorno de 10 %, se observó un incremento en comparación con la tasa establecida para la propuesta, indicando que la tasa interna de retorno (TIR) superó la establecida. Finalmente, el periodo de recuperación de la inversión se calculó en 4 meses y 15 días, evidenciando que antes del primer mes laboral se recupera la inversión inicial.

3.4. Justificación ambiental

La implementación del modelo estocástico propuesto en los procesos de producción de harina de pescado en la empresa Ecuafeed S.A., contribuye de manera directa y verificable al

cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, particularmente en lo referente a los ODS 7, 9, 12 y 13.

Al optimizar la capacidad de planta y reducir los tiempos improductivos, el consumo de energía eléctrica y combustible industrial se disminuye en un 10 a 15 %, lo que implica un menor uso de fuentes fósiles y, por tanto, una reducción promedio de 520 kg de CO₂ mensuales en las emisiones de la planta. Esta mejora no solo ayuda a reducir gastos, sino que también baja de manera notable la huella de carbono de la empresa, contribuyendo así al esfuerzo mundial por disminuir los efectos del cambio climático.

La propuesta aporta al ODS 9 porque ayuda a mejorar la forma en que se organiza y controla la producción. Incluye herramientas que permiten conocer mejor lo que pasa en el proceso y tomar decisiones basadas en información real. Con esto, el sector pesquero del país puede trabajar de manera más moderna, ser más competitivo y reducir los cambios inesperados en la operación sin usar más recursos.

Al mismo tiempo, el modelo también se relaciona con el ODS 12 porque ayuda a que el proceso de convertir el pescado en harina sea más eficiente. La producción mejora en un 7,8 % y el uso de materia prima baja en un 2,4 %. Esto significa que se aprovecha mejor cada kilo de pescado y se evita generar tanto desperdicio, ya sea sólido o líquido, en etapas como el prensado o el secado. Gracias a estos cambios, la empresa avanza hacia una forma de producción más limpia y responsable con el ambiente, promoviendo hábitos de trabajo más conscientes dentro de la organización.

Por último, al bajar las emisiones y usar la energía de forma más eficiente, la empresa aporta al ODS 13. Esto hace que la producción requiera menos energía y, por lo tanto, genere un menor impacto en el ambiente. El modelo permite además la monitorización continua de variables ambientales, lo que facilita el control preventivo de sobreconsumo o desvíos operativos. Este enfoque de mejora continua asegura que la sostenibilidad ambiental sea un componente estructural del proceso productivo, no solo un objetivo adicional.

3.5. Justificación social

La propuesta tiene un impacto social directo en la planta y la comunidad. Internamente, la implementación requiere capacitación para 10 trabajadores (operarios y analistas), incrementando el potencial del capital humano y capacidades tecnológicas; esto mejora la

empleabilidad, reduce errores operativos y contribuye a la seguridad laboral al disminuir prácticas de intervención manual en condiciones de riesgo.

Externamente, una mejor planificación y reducción fallas ayudan a que la relación con los proveedores, especialmente los pescadores locales, sea más estable, porque la empresa puede organizar sus compras con menos incertidumbre y en horarios más claros. También, al reducir los tiempos muertos y la posibilidad de problemas fuertes en la operación, se evita recargar de trabajo inesperado al personal temporal o subcontratado. En la comunidad, un proceso más ordenado y que use menos energía disminuye molestias como ruidos y malos olores, mejorando el ambiente del lugar y, con ello, la salud y la calidad de vida de quienes viven allí.

3.6. Análisis comparativo

La Tabla 46 presenta un análisis comparativo entre la situación actual del proceso productivo de Ecuafeed S.A., y la situación proyectada con la implementación del modelo estocástico propuesto. Los indicadores seleccionados corresponden a las principales variables de desempeño técnico, operativo, económico y ambiental que fueron evaluadas. El rendimiento promedio de harina aumenta de 13.460 kg a 14.514 kg, lo que representa una mejora del 7,8 %, atribuida a la optimización del uso de materia prima y a la reducción de pérdidas durante el proceso de secado. El tiempo diario en que la planta queda sin operar se reduce de 186,7 a 160,2 minutos, lo que representa una disminución del 14,2 %. Este resultado se obtiene gracias a una planificación más adecuada de la capacidad y a la posibilidad de ajustar el ritmo de alimentación de la planta según las condiciones que muestre cada escenario analizado.

En lo referente a las fallas promedio por ciclo, el modelo logra disminuirlas de 3,5 a 2,1, lo que representa una mejora del 40 %. Este resultado se alcanza gracias a una planificación preventiva más sólida, que permite anticipar momentos de mayor riesgo utilizando la información sobre la probabilidad de fallas. De manera paralela, el costo energético mensual pasa de \$8500 a \$7225, representando un ahorro del 15 %, producto de un uso más eficiente de los secadores y menor tiempo de operación en vacío.

Por otro lado, el consumo de materia prima se reduce de 4200 a 4100 kg, lo que supone un ahorro del 2,4 % sin afectar la producción de harina; mientras que el consumo energético total disminuye de 19800 a 17750 kWh, equivalente a una mejora del 10,3 %. Finalmente, las

emisiones estimadas de CO₂ se reducen en 10 %, pasando de 5200 a 4680 kg/mes, evidenciando el impacto ambiental positivo derivado de la eficiencia energética alcanzada.

Tabla 46.

Análisis comparativo (situación actual vs propuesta).

Indicador	Situación actual	Propuesta estocástica	Mejora (%)
Rendimiento promedio de harina (kg)	13460	14514	+7,8
Tiempo improductivo (min/día)	186,7	160,2	-14,2
Fallas promedio por ciclo	3,5	2,1	-40,0
Costo energético mensual (USD)	8 500	7 225	-15,0
Consumo de materia prima (kg)	4200	4100	-2,4
Consumo energético (kWh)	19 800	17 750	-10,3
Emisiones estimadas CO ₂ (kg/mes)	5 200	4 680	-10,0

Nota. Elaborado por el autor.

3.7. Planning de control

La Tabla 47 presenta el plan operativo detalla las actividades requeridas para la implementación, seguimiento y control del modelo dentro de la planta, en un horizonte de seis meses.

Tabla 47.

Planning de control de la propuesta.

Actividad	Responsable	Duración	Recursos requeridos	Indicador de cumplimiento	Mes
Instalación de software de simulación y entorno Python-Pyomo	Departamento técnico	2 semanas	PC industrial, licencia Pyomo	Software operativo	1
Capacitación de personal en manejo de modelo	RRHH y jefe de planta	3 semanas	Manual técnico, capacitador externo	100 % personal capacitado	1-2
Calibración inicial del modelo con datos históricos	Analista de procesos	2 semanas	Base de datos, registros de planta	Error $\leq 5\%$	2
Integración del modelo en el control diario	Ingeniero de producción	1 mes	Interfaz SCADA, scripts	Modelo en operación continua	3
Seguimiento de resultados productivos y ajustes	Supervisores de turno	2 meses	Reportes de producción	Desviación $\leq \pm 5\%$	4-5

Nota. Elaborado por el autor.

3.8. Marco de discusión

Los resultados obtenidos mediante la aplicación del modelo estocástico demuestran que la inclusión de la incertidumbre en la planificación de la producción proporciona soluciones más realistas y robustas frente a las fluctuaciones de operación. El rendimiento estimado de 14.514 kg coincide con el promedio ponderado de la producción real, lo que confirma que el modelo es confiable. Además, la disminución del tiempo improductivo en un 14 % y el aumento del rendimiento en un 7,8 % muestran una mejora notable en la eficiencia del proceso, respaldando así la utilidad de emplear enfoques probabilísticos en sistemas de producción continua.

Desde el punto de vista económico, la propuesta permite recuperar la inversión en un plazo corto, aproximadamente seis meses, lo que demuestra que su aplicación es viable para una planta de tamaño medio como Ecuafeed S.A. El menor gasto de energía, la reducción de desperdicios y el aumento en la producción de harina generan un retorno constante y un mejor margen de ganancia, sin necesidad de aumentar la carga de trabajo ni los costos fijos. Estos resultados confirman la hipótesis expuesta en el Capítulo III, que planteaba que la optimización basada en escenarios es más eficaz que los métodos tradicionales que no consideran la variabilidad.

Finalmente, el enfoque planteado también genera beneficios ambientales y sociales. Al mejorar el manejo de la humedad y el control del calor en el proceso, se reduce el uso de combustible y, en consecuencia, las emisiones de gases contaminantes en alrededor de un 10 %, lo que impulsa una producción más limpia. Con la aplicación del modelo, Ecuafeed S.A., se consolida como una empresa que incorpora la sostenibilidad de manera integral, logrando un equilibrio entre rentabilidad, uso eficiente de energía y cuidado del medio ambiente.

CONCLUSIONES

El estudio bibliométrico realizado permitió constatar que el modelado estocástico ha ganado relevancia en los últimos años como herramienta de optimización en industrias sujetas a variabilidad e incertidumbre, especialmente en el ámbito agroindustrial y pesquero. A través del análisis de bases científicas, se identificó que la aplicación de modelos probabilísticos en la producción de harina de pescado es aún limitada en el contexto ecuatoriano, pese a que su implementación puede aportar beneficios tangibles en eficiencia y sostenibilidad. El marco teórico elaborado mostró que existe una distancia notable entre lo que se estudia en el ámbito académico y lo que realmente se aplica en la industria, lo que refuerza la necesidad de este estudio. En consecuencia, se determina que el modelado estocástico tipo MILP es una herramienta científica sólida y flexible para optimizar procesos complejos, ya que combina rigor matemático con una aplicación práctica efectiva en escenarios reales.

El diagnóstico realizado en Ecuafeed S.A., mostró que los principales problemas en la producción de harina de pescado se originan en la variación de la humedad del pescado recibido, en fallas de los equipos de secado y prensado, y en la falta de un sistema que permita planificar de forma anticipada. Mediante la observación directa, las encuestas y el análisis de tiempos, se identificó que la planta pierde en promedio 186,7 minutos al día sin producir y que el rendimiento alcanza solo 13.460 kg por ciclo, afectando tanto la rentabilidad como la estabilidad del proceso. El uso de herramientas estadísticas y la definición de las variables más importantes permitieron construir la base del modelo estocástico, dejando en evidencia el valor de combinar datos obtenidos en campo con métodos matemáticos más avanzados.

La aplicación del modelo estocástico permitió analizar y optimizar distintos escenarios de operación, alcanzando un rendimiento esperado de 14.514 kg, lo que representa un aumento del 7,8 % frente a la situación actual. El modelo mostró que puede ajustarse a los cambios del proceso, logrando disminuir el tiempo improductivo en un 14 %, las fallas en un 40 % y el consumo de energía en un 10 %. Los resultados financieros (VAN de \$8.634,83, TIR del 18 % y un periodo de recuperación de 4 meses y 15 días) confirman que la propuesta es viable y sostenible. Además, su enfoque ambiental y social impulsa una producción más limpia, eficiente y alineada con las necesidades de la comunidad de Jambelí.

RECOMENDACIONES

Es necesario continuar ampliando el análisis bibliométrico de modelos estocásticos aplicados a sistemas de producción, incorporando nuevas bases de datos y enfoques híbridos (por ejemplo, modelado estocástico con inteligencia artificial o algoritmos genéticos). Asimismo, se sugiere que las universidades y centros de investigación nacionales fomenten proyectos que vinculen la teoría matemática con la industria, fortaleciendo la innovación tecnológica en el sector pesquero. De este modo, será posible construir un conocimiento propio que favorezca la creación de metodologías ajustadas a las necesidades y realidades del sector productivo del país.

A partir del diagnóstico, se recomienda establecer un sistema que permita monitorear de forma continua las variables más importantes del proceso, como la humedad, la temperatura, la capacidad y los tiempos de parada. El uso de sensores y un registro ordenado de la información facilitará actualizar los modelos predictivos y asegurar que coincidan con lo que realmente ocurre en la planta. Además, es conveniente capacitar de manera constante al personal técnico para que pueda interpretar los indicadores de desempeño y manejar herramientas de simulación, reduciendo así la dependencia de la experiencia empírica y fortaleciendo la toma de decisiones con información más objetiva.

Es fundamental incorporar el modelo dentro del sistema de gestión de Ecuafeed S.A., conectándolo con los módulos de producción, inventarios y mantenimiento. Esto permitirá automatizar la planificación en situaciones de incertidumbre y mantener actualizados los escenarios de rendimiento. Esto posibilitará automatizar la planificación bajo incertidumbre y mantener actualizados los escenarios de rendimiento. Asimismo, se propone extender la metodología a otros procesos industriales, como la elaboración de aceite de pescado o subproductos, de modo que la empresa transite hacia un esquema de producción inteligente y sostenible. Finalmente, se aconseja realizar auditorías anuales del modelo para recalibrar parámetros y garantizar su vigencia frente a cambios tecnológicos o del entorno operativo.

REFERENCIAS

- Apaza-Zúñiga, E., Cazorla-Chambi, S., Condori-Carbajal, C., Arpasi-MeléndeZ, F. R., Tumi-Figueroa, I., Yana-Viveros, W., & Quispe-Coaquira, J. E. (2022). La Correlación de Pearson o de Spearman en caracteres físicos y textiles de la fibra de alpacas. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 33(3), 22908. <https://doi.org/10.15381/RIVEP.V33I3.22908>
- Arellano García, Y., & Gamboa Mateus, E. B. (2024). La investigación sobre el conocimiento estocástico de profesores de matemáticas: 2018-2023. *Revista de Educación Estadística*, 3, 1–16. <https://doi.org/10.29035/redes.3.1.6>
- Arias-Gonzales, J. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. <https://www.researchgate.net/publication/352157132>
- Borodin, V., Bourtembourg, J., Hnaien, F., & Labadie, N. (2016). Handling uncertainty in agricultural supply chain management: A state of the art. *European Journal of Operational Research*, 254(2), 348–359. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.03.057>
- Cali, Delgado Delgado, D. D., Delgado Delgado, D. D., Pilaloe David, W. O., Holguin Burgos, B. P., & Holguin Burgos, B. P. (2023). Diagnóstico FODA como elemento de planeación estratégica de negocios de producción de cacao CCN51 en el Triunfo, Guayas, Ecuador. *Compendium: Cuadernos de Economía y Administración*, 10(2), 102. <https://doi.org/10.46677/compendium.v10i2.1172>
- Cepeda, J., & Chamba, S. (2019). Determinación del Modelo Estocástico del Estado de Carga de Baterías para el cómputo de Flujo de Potencia Probabilístico de Microrredes. *Revista Técnica "Energía,"* 16(1). <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v16.n1.2019.334>
- Cerquera Losada, O. H., & Adames Papa, F. (2023). Análisis bibliométrico de los modelos estocásticos de equilibrio general. *Económicas CUC*, 44(2), 51–74. <https://doi.org/10.17981/econcuc.44.2.2023.Econ.1>
- Cuervo Cruz, R. A., Martínez Bernal, J., & Orjuela-Castro, J. A. (2022). Modelos logísticos estocásticos aplicados a la cadena de suministro: una revisión de la literatura. *Ingeniería*, 26(3), 334–366. <https://doi.org/10.14483/23448393.16357>
- Cueva Luza, T., Jara Córdova, O., Arias Gonzáles, J. L., Flores Limo, F. A., & Balmaceda Flores, C. A. (2023). Métodos mixtos de investigación para principiantes. In *Métodos*

mixtos de investigación para principiantes. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.106>

Gómez-Rocha, J. E., Rivera-Gómez, H., Hernández-Gress, E. S., & Ortega-Reyes, A. O. (2020). Modelos estocásticos multi-etapa para la planificación de la producción bajo incertidumbre de una empresa de fabricación de muebles. *DYNA Management, ISSN-e 2340-6585, Vol. 8, No. 1, 2020, 8(1), 5.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7723084&info=resumen&idioma=EN>
G

González-Andrés, C., Ramírez-Romero, E., Guijarro, B., Farré, M., Macias, D., & Massutí, E. (2024). Warming promotes expansion of a key demersal fishing resource of the western Mediterranean. *Frontiers in Marine Science, 11.* <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1494177>

Hernandez Mendoza, S., & Duana Avila, D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Boletín Científico de Las Ciencias Económico Administrativas Del ICEA, 9(17), 51–53.* <https://doi.org/10.29057/icea.v9i17.6019>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza-Torres, C. P. (2019). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. *Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales (RUDICS), 10(18), 92–95.* <https://doi.org/10.22201/FESC.20072236E.2019.10.18.6>

Jacqueline Cisneros-Caicedo, A. I., Jesús Urdánigo-Cedeño III, J., Fabián Guevara-García, A. I., & Enmanuel Garcés-Bravo, J. I. (2022). Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos que apoyan a la Investigación Científica en tiempo de Pandemia. *Núm. 1. Enero-marzo, 8, 1165–1185.* <https://doi.org/10.23857/dc.v8i41.2546>

Jang, J., & Lee, H. (2024). Effective hydrogen supply chain management framework considering nonlinear multi-stage process uncertainties. *Applied Energy, 367.* <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123328>

Jimenez Serrano, E. (2022). Las redes de Petri y su adopción en programas de la Universidad de Sonora. *EPISTEMUS, 16(33).* <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.221>

- Joselo, D., Patricio, J., Augusto, C., & Galarza, W. (2023). Comparación del contenido de proteína en el procesamiento de harina de *Poecilia Reticulata* como aprovechamiento del subproducto de la pesca. *Polo Del Conocimiento*, 8(7), 1047–1071.
- Meza, R. J., & Salamanca, I. C. (2022). Evaluación de la calidad de las aguas estuarinas usando el coeficiente de concordancia de Kendall modificado. *CITECSA*, 14(23), 17–30. <https://unipaz.edu.co/revistas/revcitecsa/article/view/312>
- Möllmann, C., Cormon, X., Funk, S., Otto, S. A., Schmidt, J. O., Schwermer, H., Sguotti, C., Voss, R., & Quaas, M. (2021). Tipping point realized in cod fishery. *Scientific Reports*, 11(1), 14259. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93843-z>
- Naranjo, M., Cejas, M., Liccioni, E., & Marieta Aldaz, S. (2023). *Enfoque cuantitativo y cualitativo: Una mirada de los métodos mixtos*. <https://www.researchgate.net/publication/374418696>
- Obredor-Baldovino, T., Salas-Navarro, K., Moreno-Cruz, J., & Fajardo-Pérez, C. (2022). Evaluation of addiction levels to social networks in university students using a Markov chain. *Procedia Computer Science*, 203, 599–604. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.07.086>
- Otero, P., Mera, L., & Calle, E. (2021). Aplicación de la Simulación de Montecarlo para el Análisis de la Implementación de Estaciones de Carga Rápida para Vehículos Eléctricos en la provincia de Galápagos. *Revista Técnica "Energía,"* 17(2), 143–152. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n2.2021.434>
- Rasay, H., Taghipour, S., & Sharifi, M. (2022). An integrated Maintenance and Statistical Process Control Model for a Deteriorating Production Process. *Reliability Engineering and System Safety*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108774>
- Rivera-Gómez, H., Gharbi, A., Kenné, J.-P., Ortiz-Zarco, R., & Corona-Armenta, J. R. (2021). Joint production, inspection and maintenance control policies for deteriorating system under quality constraint. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 585–607. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.018>
- Roco-Videla, Á., Aguilera-Eguía, R., & Olguin-Barraza, M. (2024). Ventajas del uso del coeficiente de omega de McDonald frente al alfa de Cronbach. *Nutrición Hospitalaria*, 41(1), 262–263. <https://doi.org/10.20960/NH.04879>

- Rubia, J. M. de la. (2025). Pareto Distribution: A Probability Model in Social Research. *Open Journal of Social Sciences*, 13(01), 86–121. <https://doi.org/10.4236/jss.2025.131007>
- Saini, M., Patel, B. L., & Kumar, A. (2023). Stochastic Modeling and Performance Optimization of Marine Power Plant with Metaheuristic Algorithms. *Journal of Marine Science and Application*, 22(4), 751–761. <https://doi.org/10.1007/s11804-023-00371-5>
- Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa: Consensos y Disensos. *Revista Digital de Investigación En Docencia Universitaria*, 101–122. <https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>
- Sarker, P. K., Kapuscinski, A. R., McKuin, B., Fitzgerald, D. S., Nash, H. M., & Greenwood, C. (2020). Microalgae-blend tilapia feed eliminates fishmeal and fish oil, improves growth, and is cost viable. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-020-75289-X>
- Selvaraj, J. J., Rosero-Henao, L. V., & Cifuentes-Ossa, M. A. (2023). Small-Scale Fisheries in the Colombian Pacific: Understanding the Impact of Climate Change on Fishermen's Livelihoods. *Fishes*, 8(9), 453. <https://doi.org/10.3390/fishes8090453>
- Shrestha, N. (2021). Factor Analysis as a Tool for Survey Analysis. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 9(1), 4–11. <https://doi.org/10.12691/AJAMS-9-1-2>
- Stratton, S. J. (2021). Population Research: Convenience Sampling Strategies. *Prehospital and Disaster Medicine*, 36(4), 373–374. <https://doi.org/10.1017/S1049023X21000649>
- Taze, D., Hartley, C., Morgan, A. W., Chakrabarty, A., Mackie, S. L., & Griffin, K. J. (2022). Developing consensus in Histopathology: the role of the Delphi method. *Histopathology*, 81(2), 159–167. <https://doi.org/10.1111/his.14650>
- The Marine Ingredients Organization. (2024). *Tendencias del mercado de ingredientes marinos (enero de 2024) | IFFO - The Marine Ingredients Organization*. <https://www.iffocom.es/tendencias-del-mercado-de-ingredientes-marinos-enero-de-2024>
- Torres Guananga, G. P., Rodríguez Leon, J. C., Inca Falconi, A. F., Castelo Salazar, Á. G., & Ríos Sanipatin, E. L. (2019). La gestión por procesos un sistema de control eficiente en las empresas. *Ciencia Digital*, 3(2.6), 495–514. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.6.600>

- Urumov, G., Chountas, P., & Chausalet, T. (2024). Fuzzy Fractional Brownian Motion: Review and Extension. *Algorithms*, 17(7), 289. <https://doi.org/10.3390/a17070289>
- Wolpert, D. H., Price, M. H., Crabtree, S. A., Kohler, T. A., Jost, J., Evans, J., Stadler, P. F., Shima, H., & Laubichler, M. D. (2024). The Past as a Stochastic Process. *Journal of Computer Applications in Archaeology*, 7(1), 134–152. <https://doi.org/10.5334/jcaa.113>
- Yan, A., Hu, K., & Wang, D. (2025). Monitoring Model Based on Data-Driven Optimization Stochastic Configuration Network and Its Applications. *IEEE Sensors Journal*, 25(6), 10087–10096. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2025.3538942>
- Yang, C., Duan, R., Lin, Y., & Chen, L. (2024). A maintenance strategy for hydraulic systems based on generalized stochastic Petri nets under epistemic uncertainty. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 46(2). <https://doi.org/10.1007/s40430-023-04672-2>

ANEXOS

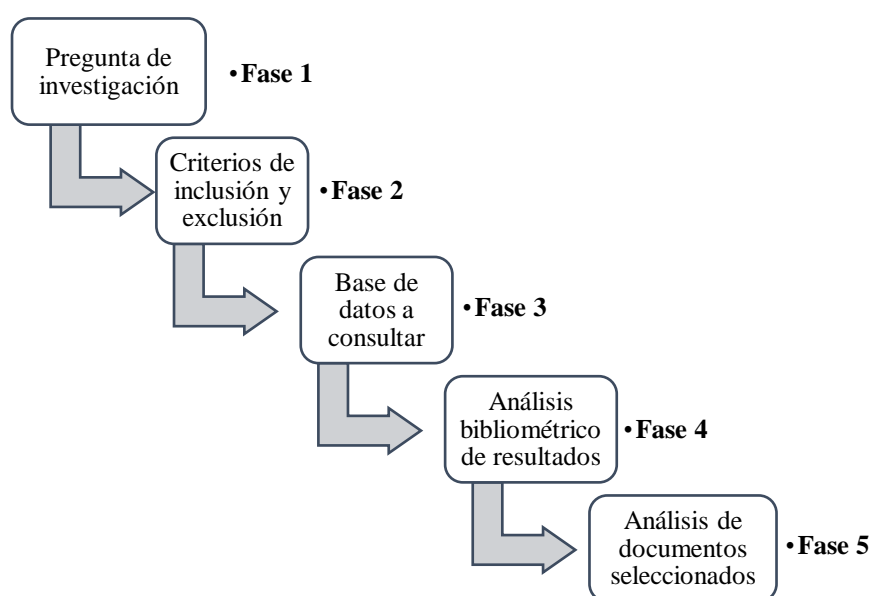
Anexo 1.

Estado del arte.

Para la revisión literaria se establece una secuencia lógica y estructurada de fases orientadas a garantizar la pertinencia y calidad de la información recopilada, presentada en la Figura 16.

Figura 16.

Proceso de revisión de la literatura.



Nota. Elaborado por el autor.

La Figura 16, describe el proceso a seguir en la revisión literaria, la cual se encuentra dividida en 5 fases. Inicia con la formulación de la pregunta de investigación, que define el enfoque y los límites del estudio. Luego, se establece los criterios de inclusión y exclusión que permiten filtrar la información relevante y descartar aquella que no se encuentra ajustada al objetivo propuesto. Posteriormente, se identifican las bases de datos a consultar, seleccionando aquellas que aseguren la cobertura y confiabilidad de las fuentes. Con la información recolectada, se realiza un análisis bibliométrico para identificar tendencias, autores clave, frecuencia de publicaciones y áreas emergentes en el tema de estudio. Finalmente, se procede al análisis de los documentos seleccionados, donde se examina en profundidad su contenido para extraer hallazgos, comparar enfoques y construir el marco teórico que sustentará la investigación.

Fase 1: Pregunta de investigación

Se establece la pregunta de investigación, con base a la revisión literaria: ¿Cómo influye la modelización estocástica en la producción de harina de pescado?.

Fase 2: Criterios de inclusión y exclusión

Es fundamental revisar aquellos estudios que no ofrecen o no son pertinentes para el tema de investigación, por lo que es esencial elegir artículos de forma objetiva y que contengan información útil para llevar a cabo el trabajo de investigación. A continuación, se presentan los criterios de inclusión y exclusión.

Tabla 48.

Criterios de inclusión.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Los artículos tienen que ser de los últimos cinco años.	Documentos publicados antes de marzo del año 2020
Estudios de investigación	Capítulos de libros, trabajos de grado, ponencias, simposios, editoriales.
Los documentos tienen que ser de texto completo	Documentos de acceso limitado.
Documentos inglés o español	Artículos presentados en idiomas distintos
Los artículos deben tratar sobre temas relevantes.	Artículos que no toquen el tema de investigación.

Nota. Elaborado por el autor.

Fase 3: Bases de datos consultadas

Tabla 49.

Bases de datos.

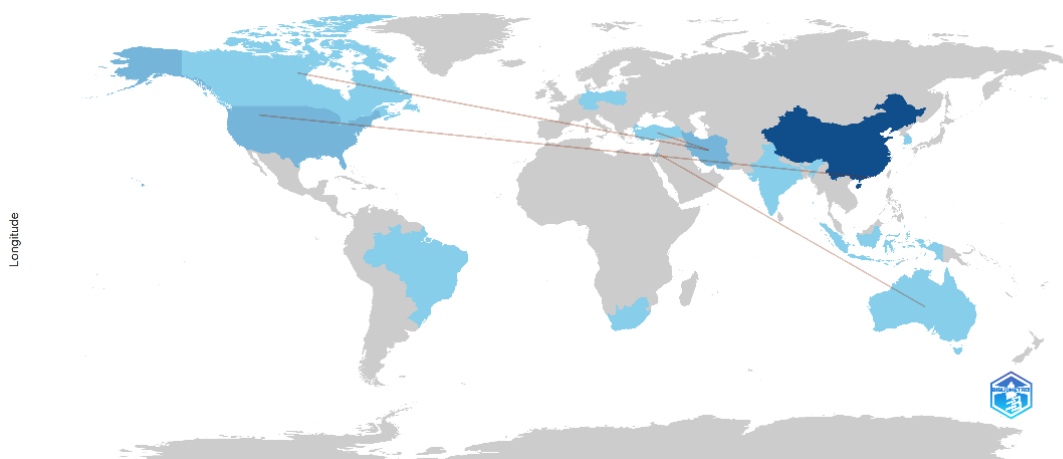
Base de datos	Resultados de búsqueda	% de resultados
Scopus	283	9.56 %
ScienceDirect	2677	90.44 %
TOTAL	2960	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Como se muestra en la Tabla 49, se consideraron un total de 2960 artículos encontrados de la base de datos, tales como, Scopus y ScienceDirect, lo que permite la aplicación de los filtros correspondientes para la selección y extracción de datos. Los artículos de estas bases de datos fueron sometidos a una revisión sistemática por medio de los softwares VOSviewer y Bibliometrix, para el análisis de los registros bibliográficos y seleccionar la información adecuada para la propuesta de investigación.

Figura 18.

Mapa bibliométrico de países con mayor aporte investigativo.



Nota. Elaborado por el autor mediante Bibliometrix.

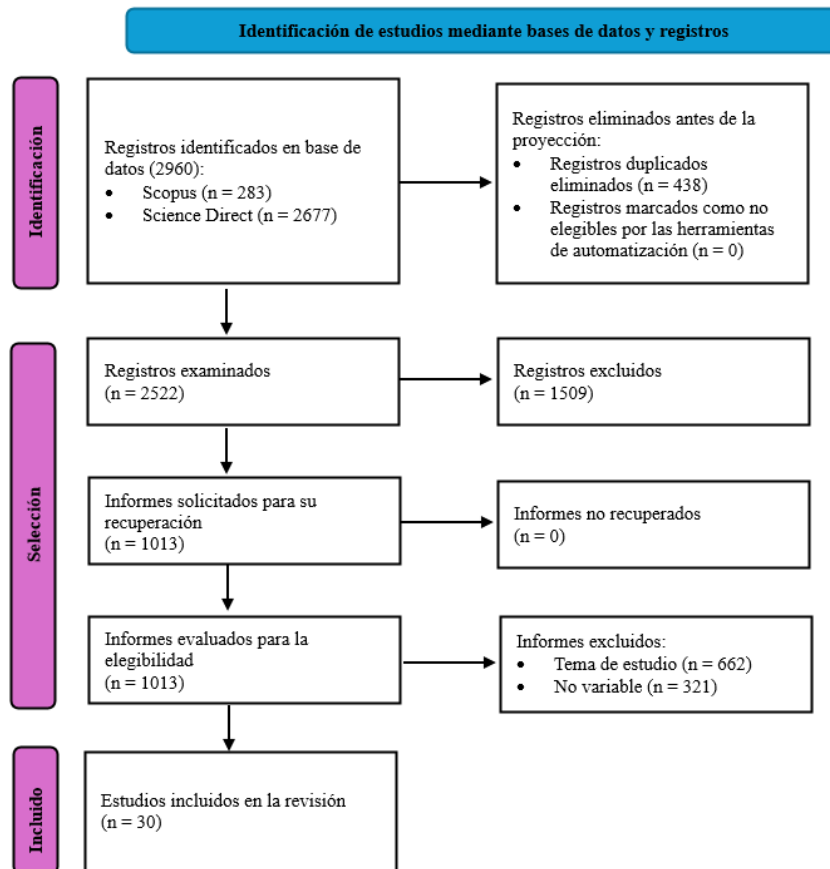
A través del mapa se exhiben las redes internacionales de coautoría. Esta funcionalidad permite identificar los países con mayor producción científica, las naciones que más colaboran entre sí, y la manera en que se distribuyen las citas, palabras clave y documentos por país. Esto facilita el análisis del tejido social de la investigación y pone de manifiesto los patrones de cooperación y globalización académica.

Fase 5: Análisis de artículos seleccionados

Los resultados de la revisión literaria demuestran un total de 2960 artículos, de los cuales 283 fueron seleccionados de la base de datos Scopus y 2677 de ScienceDirect. De este modo, inicia el proceso de exclusión donde 438 artículos fueron descartados al estar duplicados, 1509 fueron excluidos por ser publicados antes del 2020, 662 artículos fueron suprimidos al no ser relacionados con el tema de estudio. Posteriormente, 351 artículos subsisten para determinar su elegibilidad. Luego, 321 artículos son eliminados debido al no incluir las variables de estudio. Finalmente, se seleccionaron 30 artículos que serán utilizados en el análisis literario. En la Figura 5 se establece la secuencia lógica del proceso de inclusión y exclusión.

Figura 19.

Diagrama de flujo PRISMA.



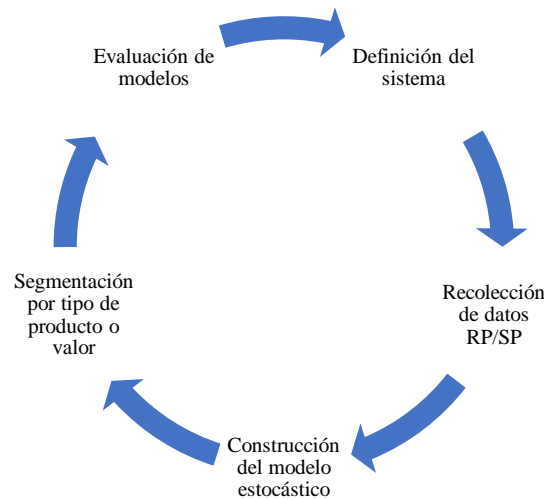
Nota. Aplicación de criterios en cada etapa de selección.

Fijándonos en la figura se constatan 2960 registros en las bases de datos Scopus y ScienceDirect 38 de los cuales se descartan por ser duplicados. A continuación, en la fase de lectura de los títulos y resúmenes de los 2.522 registros, se eliminan 1.509 registros por no tener relación directa con el objeto de estudio. Así, se solicitan los 1.013 informes para su revisión, informes que fueron recuperados todos ellos. No obstante, en la fase de lectura para determinar los informes elegibles, se excluyen 662 por no estar relacionados con la temática considerada y 321 por no tener variables relacionadas con la cuestión que guía el análisis, reduciendo de una manera drástica la muestra inicial. Al final, en este proceso se dan todos aquellos informes elegibles y pertinentes, que suman un total de 30 estudios que se incluyen en la revisión y que aseguran que la información obtenida es relevante, accesible y está directamente relacionada con los objetivos que se han fijado.

Entre ellos Gómez et al., (2021) define que los modelos estocásticos permiten representar el comportamiento de forma real considerando distintos factores, como: costos, tiempo improductivos y fiabilidad como atributos claves. Este enfoque puede replicarse en entornos industriales como el de la harina de pescado, donde existen condiciones cambiantes y decisiones sensibles al valor del producto. A continuación, en la Figura 18 se llevará a cabo las etapas a seguir para elaborar el modelado.

Figura 20.

Etapas del modelo estocástico.



Nota. Elaborado por el autor basado en (Cuervo Cruz et al., 2022).

Para la elaboración del protocolo de investigación se procedió a determinar los modelos, métodos e instrumentos de la base de datos de 30 artículos seleccionados por el método PRISMA, permitiendo determinar la ruta de investigación.

Tabla 50.

Determinación de modelos.

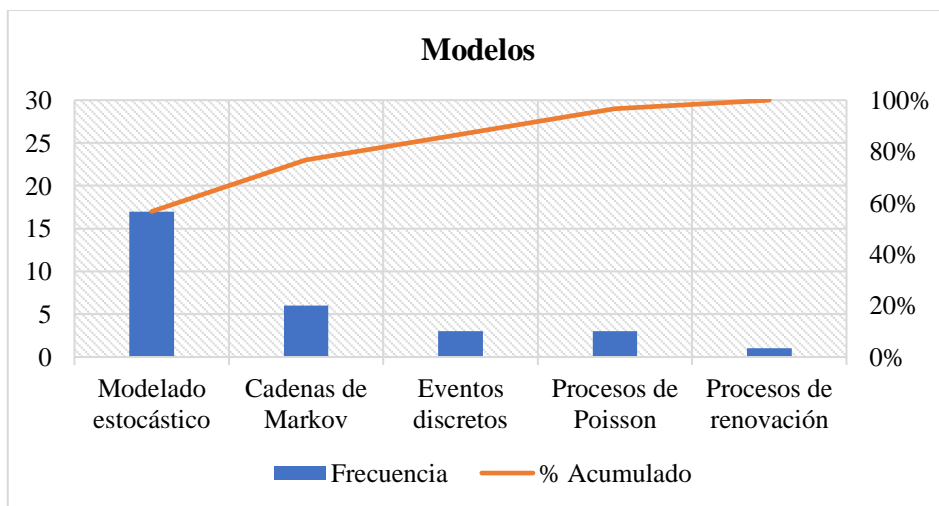
MODELOS	Frecuencia	%	% Acumulado
Modelado estocástico	17	57 %	57 %
Cadenas de Markov	6	20 %	77 %
Eventos discretos	3	10 %	87 %
Procesos de Poisson	3	10 %	97 %
Procesos de renovación	1	3 %	100 %
TOTAL	30	1	

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 50 indica que el modelado estocástico es el predominante con un 57 %, lo que pone de manifiesto que la mayoría de los trabajos de investigación abordan fenómenos en los que existe una incertidumbre y una variabilidad aleatoria. El modelado estocástico se convierte de esta manera en el principal eje metodológico; en segundo lugar, las cadenas de Markov aglutinan la segunda proporción con un 20 %, lo que indica su grado de importancia al modelar procesos donde el futuro depende exclusivamente del estado presente y es especialmente certero en las aplicaciones de la confiabilidad y los pronósticos; por otro lado, los eventos discretos y los procesos de Poisson, ambos se distribuyen en un 10 %.

Figura 21.

Diagrama Pareto modelos.



Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 51.

Determinación de las herramientas.

HERRAMIENTAS	Frecuencia	%	% Acumulado
Software SPSS	12	40 %	40 %
Análisis de regresión	8	27 %	67 %
Optimización estocástica	5	17 %	83 %
Análisis de series temporales	3	10 %	93 %
Bootstrapping	2	7 %	100 %
TOTAL	30	1	

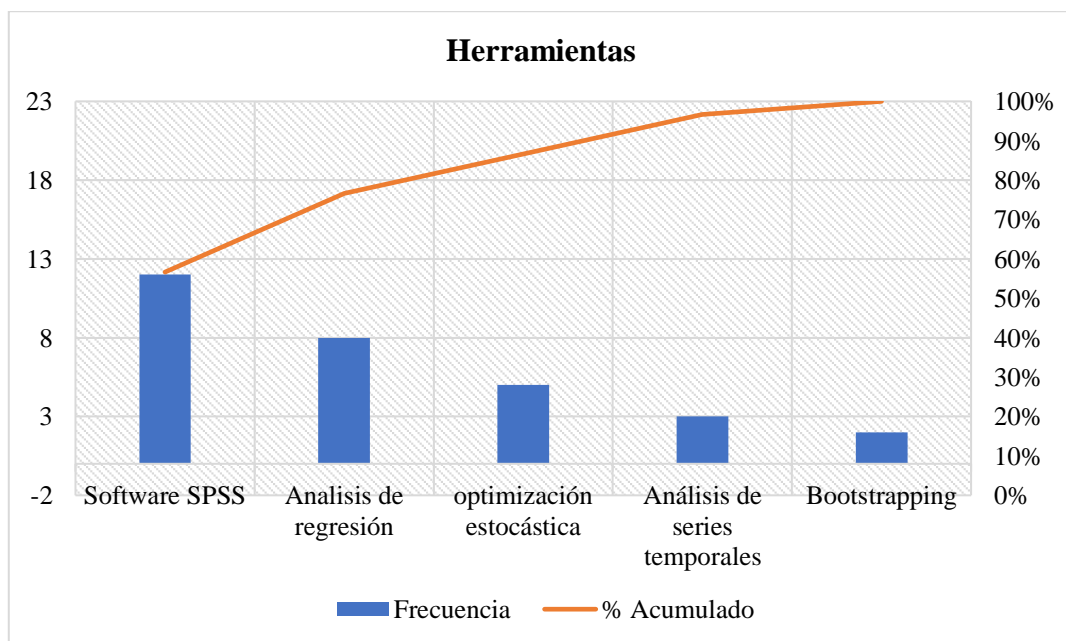
Nota. Elaborado por el autor.

La revisión de las diferentes investigaciones revela que el software SPSS se presenta como la herramienta con un 40 % de uso que corroboraba su importancia en el procesamiento

estadístico y en el análisis de los datos en los anteriores trabajos analizados; que el análisis de regresión se presente con un 27 % de uso corresponde a cómo este es utilizado en la modelación de relaciones y se asienta en la posibilidad de hacer predicciones; que la optimización estocástica, que proviene con el 17 % de uso, otorga relevancia a su utilización en aquellos contextos que tienen que ver con la estrategia en la toma de decisiones bajo incertidumbre; en que el análisis de series temporales aparezca con un 10 % de uso en trabajos que hacen proyecciones de datos en el tiempo; y que el bootstrapping aparezca con un 7 % en trabajos cuya implementación la desarrolla de manera más concreta como técnica de validación y de estimación estadística.

Figura 22.

Diagrama de Pareto herramientas.



Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 52.

Determinación de los métodos.

	Frecuencia	%	% Acumulado
Análisis factorial	12	33 %	33 %
Encuesta	10	30 %	63 %
Método de causalidad y predicción	6	20 %	83 %
Entrevista	2	17 %	100 %

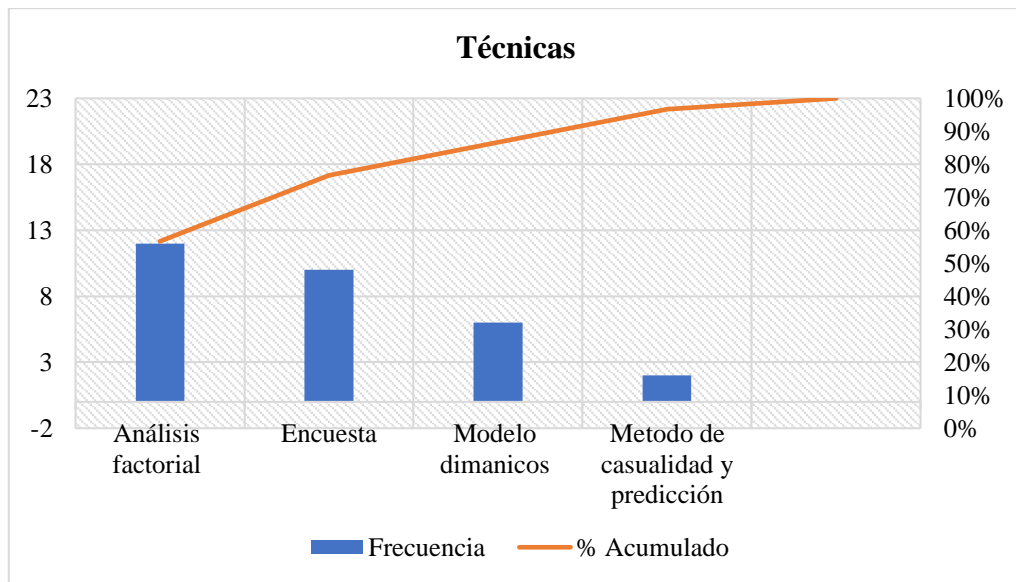
TOTAL	30	1,00
--------------	----	------

Nota. Elaborado por el autor.

De acuerdo con la revisión de estudios preexistentes, el análisis factorial sale líder con total de un 33 %, lo que indica que es la técnica más utilizada si se busca explorar estructuras latentes en información reducida y gran parte de estudios similares; la encuesta aparece en un 30 %, consolidándose como técnica clave de obtención de información en estudios de campo que se reportaron en la literatura; el método de casualidad/predicción con alrededor del 20 % de resultados restase de trabajos orientados a proyectar un escenario en un futuro que también se centraba en la exploración de información; y la entrevista con un 17 % da la impresión de tener un rol complementario con un enfoque más cualitativo de las investigaciones revisadas.

Figura 23.

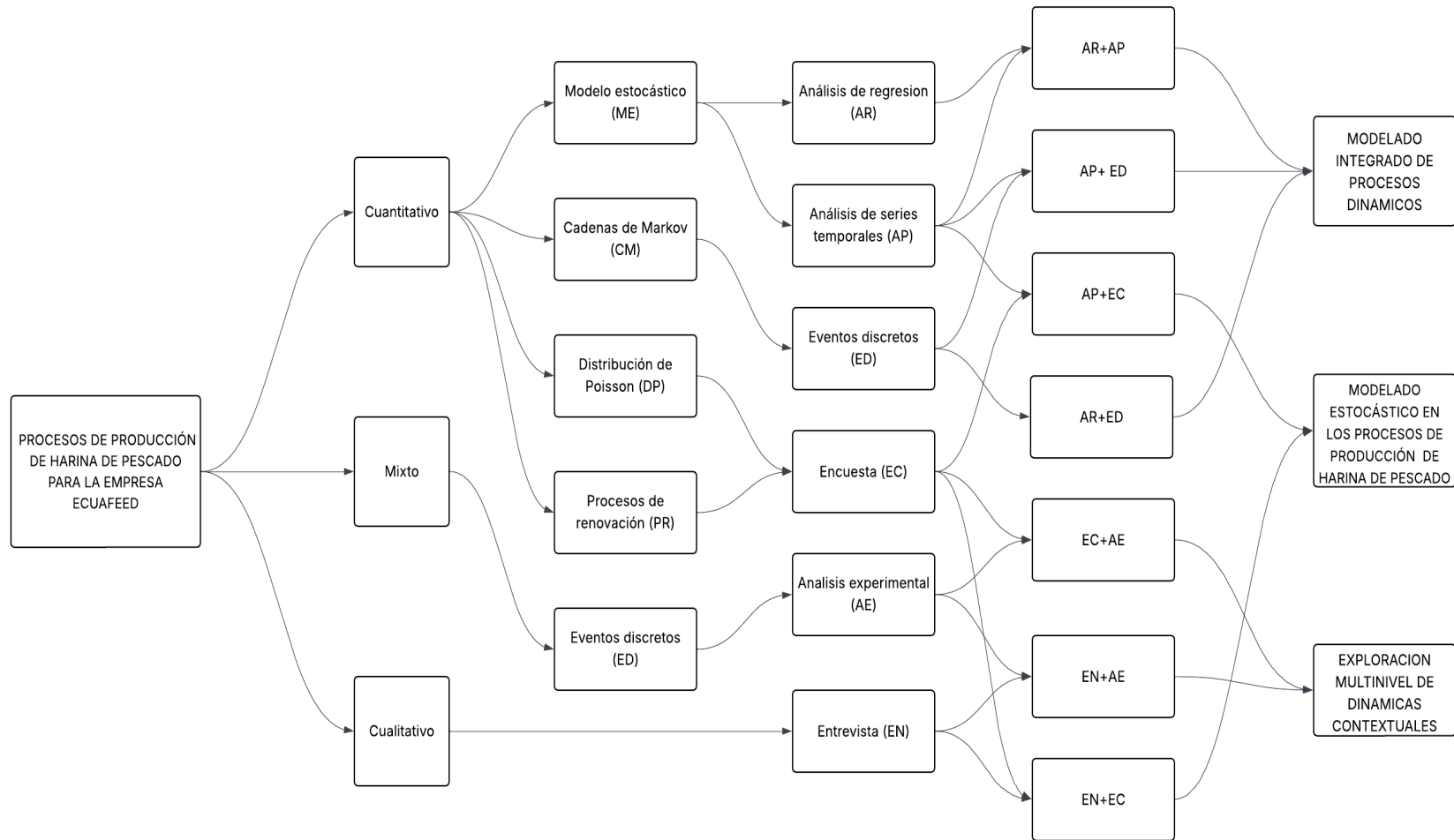
Diagrama de Pareto y sus técnicas.



Nota. Elaborado por el autor.

Figura 24.

Protocolo de investigación.



Nota. Elaborado por el autor.

Resultados del análisis bibliométrico

Tabla 53.

Artículos extraídos.

N°	Autor	Año	Tipo de investigación	Título
A1	Liu, T.; Liu, D.; Zhang, X.; Xiong, M.; Ji, X.	2025	Cuantitativa	Stochastic Planning Optimizations Design of Power-to-ammonia Synthesis Reactor with Inlet Flow Rate Fluctuations.
A2	Yang, C.; Li, P.; Ai, M.; Wu, J.	2025	Cuantitativa	Temperature Prediction in Discrete-Continuous Hybrid Tin Chemical Process Using Trapezoidal Rule and Improved Stochastic Configuration Networks.
A3	Wang, X.; Zhao, Q.; Liu, S.; Wang, J.; Qi, L.	2025	Cuantitativa	Robust optimization algorithm for integrated crane assignment and scheduling in slab yard with uncertain arrival time.
A4	Yan, A.; Hu, K.	2025	Cuantitativa	Multi-Target Stochastic Configuration Network Model Based on Collaborative Optimization and Its Applications.
A5	Yan, A.; Hu, K.; Wang, D.	2025	Cuantitativa	Monitoring Model Based on Data-Driven Optimization Stochastic Configuration Network and Its Applications.
A6	Li, Y.; Hu, H.; Xu, Y.; Zhang, L.; Yuan, Z.	2025	Cuantitativa	Optimal Design of Hybrid Energy-Driven Multiproduct Chemical Processes under Uncertainty.
A7	Snopkowski, R.; Sukiennik, M.; Napieraj, A.	2025	Cuantitativa	Reducing the Stochastic Coal Output Model Using the Convolution of Probability Density Functions.
A8	Stanisavljev, S.; Ćoćkalo, D.; Kavalić, M.; Glišić, M.	2025	Cuantitativa	Development and Application of a Stochastic Model for Optimizing Production Cycles Aimed at Sustainable Production.
A9	Pihnastyi, O.; Burduk, A.; Łapczyńska, D.	2025	Cuantitativa	Risk-Based Analysis of Manufacturing Lead Time in Production Lines.
A10	Rashidi, E.; Bhuiyan, T.H.; Mason, S.J.	2024	Cuantitativa	Production planning for semiconductor manufacturing under demand and yield uncertainty.

A11	Cao, H.; Xiao, W.; Sun, J.; Gan, M.-G.; Wang, G.	2024	Cuantitativa	A hybrid data- and model-driven learning framework for remaining useful life prognostics.
A12	Jang, J.; Lee, H.	2024	Cuantitativa	Effective hydrogen supply chain management framework considering nonlinear multi-stage process uncertainties.
A13	Fu, Y.; Zhou, M.; Guo, X.; Qi, L.; Gao, K.; Alsaadi, F. Amirteimoori, A.;	2024	Cuantitativa	Multiobjective Scheduling of Energy-Efficient Stochastic Hybrid Open Shop With Brain Storm Optimization and Simulation Evaluation.
A14	Allahviranloo, T.; Khoshandam, N.	2024	Cuantitativa	Marginal rates of technical changes and impact in stochastic data envelopment analysis: An application in power industry.
A15	Yang, C.; Duan, R.; Lin, Y.; Chen, L.	2024	Cuantitativa	A maintenance strategy for hydraulic systems based on generalized stochastic Petri nets under epistemic uncertainty.
A16	Chen, J.; Shen, Z.-J.M.	2024	Cuantitativa	Fast algorithm for predicting the production process performance in flexible production lines with delayed differentiation.
A17	Coetzer, R.; Bisset, C.	2023	Cuantitativa	A sustainable inventory model for stochastic demand using innovative multi-item production system with reduced failure rate.
A18	Wu, J.; Shi, H.; Jiang, X.; Su, C.; Li, P.	2023	Cuantitativa	Stochastic modelling of process scheduling for reduced rework cost and scrap.
A19	Priyanka, N.; Pareek, S.	2023	Cuantitativa	Stochastic fuzzy predictive fault-tolerant control for time-delay nonlinear system with actuator fault under a certain probability.
A20	Efatmaneshnik, M.; Shoval, S.	2023	Cuantitativa	A STOCHASTIC PROGRAMMING APPROACH FOR SOLAR SALT PRODUCTION PROCESS OPTIMISATION.
A21	Rasay, H.; Taghipour, S.; Sharifi, M.	2022	Cuantitativa	An integrated Maintenance and Statistical Process Control Model for a Deteriorating Production Process.
A22	Windmann, S.	2022	Cuantitativa	Data-Driven Fault Detection in Industrial Batch Processes Based on a Stochastic Hybrid Process Model.

A23	Paulina de Souza Ferreira, M.; da Silva Arantes, E.C.	2022	Cuantitativa	Stochastic model for setpoint of a rolling mill: an application in the soybean oil production.
A24	Krenek, R.	2022	Cuantitativa	Developing a two-stage stochastic programming model in tolerance optimization using a guard band approach.
A25	Zhang, X.	2022	Cuantitativa	A Nonlinear Stochastic Matrix Model for the Analysis of the Association between International Trade Growth and Environmental Change.
A26	Kafali, M.; Aydin, N.; Genç, Y.; Çelebi, U.B.	2022	Cuantitativa	A two-stage stochastic model for workforce capacity requirement in shipbuilding.
A27	Hadian, S.M.; Farughi, H.; Rasay, H.	2021	Cuantitativa	Resource optimization model using novel extreme learning machine with t-distributed stochastic neighbor embedding: Application to complex industrial processes.
A28	Han, Y.; Liu, S.; Cong, D.; Geng, Z.; Fan, J.	2021	Cuantitativa	Economic and flexible design under uncertainty for steam power systems based on interval two-stage stochastic programming.
A29	Zhang, R.; Li, G.; Jiang, T.; Chen, H.; Li, X.	2021	Cuantitativa	Incorporating Production Task Scheduling in Energy Management of an Industrial Microgrid: A Regret-Based Stochastic Programming Approach.
A30	Niu, T.; Yin, H.; Feng, E.	2021	Cuantitativa	Joint planning of maintenance, buffer stock and quality control for unreliable, imperfect manufacturing systems.

Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 2.



Operacionalización de las variables.

Variable	Definición conceptual	Categoría	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumento
Variable independiente: Modelo estocástico	Representa una metodología de optimización basada en la programación matemática y la simulación de escenarios probabilísticos, que permite gestionar la incertidumbre en los procesos productivos, mejorando la toma de decisiones sobre recursos, capacidad y rendimiento esperado (Gómez-Rocha et al., 2020).	Modelo de optimización	1. Planificación probabilística. 2. Simulación multi-etapa. 3. Restricciones de capacidad. 4. Parámetros estocásticos. 5. Escenarios de incertidumbre.	Existencia de un modelo formal de planificación bajo incertidumbre. Número de escenarios simulados. Ajuste del modelo a las condiciones reales del proceso. Tiempo promedio de resolución del modelo. Nivel de ajuste entre resultados simulados y observados.	Ordinal	Simulación computacional (Python - Pyomo)
Variable dependiente: Producción de harina de pescado	Es la cantidad promedio de harina obtenida a partir del procesamiento de materia prima (pescado), considerando factores de variabilidad operativa, ambiental y técnica. Su incremento refleja la eficiencia global del proceso productivo de Ecuafeed S.A.	Indicador de desempeño productivo	1. Eficiencia de conversión materia prima-harina. 2. Control de humedad. 3. Consumo energético. 4. Pérdidas operativas. 5. Cumplimiento del plan de producción.	- Kilogramos de harina obtenidos por lote. Porcentaje de rendimiento promedio. Energía consumida por tonelada procesada.- Porcentaje de pérdidas por fallas.- Nivel de cumplimiento del plan productivo.	Escala de razón	Registros de planta y resultados de simulación

Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 3.

Instrumento de recolección de datos cuestionario.

 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL 					
CUESTIONARIO DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Area:					
<i>Instrucciones:</i> El presente cuestionario tiene como objetivo recopilar información sobre la aplicación de modelos estocásticos y los procesos de producción de harina de pescado en la empresa ECUAFEED S.A., Comuna Jambelí. Sus respuestas serán confidenciales y utilizadas únicamente con fines académicos. Marque la opción que mejor represente su opinión según la escala proporcionada.					
Marque solo una puntuación de la escala que cree que cumple por cada ítem					
Ítems	Escala Likert				
	1. Totalmente en desacuerdo	2. En desacuerdo	3. Neutral	4. De acuerdo	5. Totalmente de acuerdo
1 ¿Se registran de forma habitual los datos de producción (cantidad de materia prima, volúmenes procesados, producto final)?					
2 ¿Se anotan regularmente los tiempos de cada etapa productiva (molienda, cocción, secado, empaque)?					
3 ¿Considera que los registros usados en la planta son confiables y están completos?					
4 ¿Se utiliza la información registrada para organizar turnos, insumos o actividades operativas?					
5 ¿Recibe el personal instrucciones o cambios en la operación basados en los registros o reportes de producción?					
6 ¿Los paros no programados o las fallas de equipo afectan con frecuencia la producción?					
7 ¿La falta de materia prima o insumos impide con frecuencia cumplir lo planificado?					
8 ¿Los problemas operativos (paros, desperdicios, fallas) se corrigen con rapidez cuando ocurren?					
9 ¿El personal operativo dispone de herramientas sencillas para registrar la producción (registros en papel, planillas o sistemas básicos)?					
10 ¿Cree que disponer y usar mejor la información de producción ayudaría a reducir errores, pérdidas o demoras?					
11 ¿Considera que en la planta existen desviaciones entre lo planificado y producido?					
12 ¿Los retrasos en la producción por esperas, falta de insumos o fallas operativas ocurren con frecuencia?					
13 ¿Las pérdidas o rechazos de producto durante el proceso (merma, producto inadecuado, rechazos por calidad) son frecuentes?					
14 ¿Los tiempos de las etapas productivas (recepción, molienda, cocción, secado, empaque) son estables?					
15 ¿Los procedimientos de producción están claramente definidos y se cumplen de forma constante?					
16 ¿Los controles de calidad durante la producción son realizados con frecuencia?					
17 ¿La planta se adapta con facilidad a cambios repentinos en la disponibilidad de materia prima?					
18 ¿La planificación de la producción considera las variaciones e incertidumbre en insumos, demanda o equipos?					
19 ¿Los indicadores de producción (rendimiento, desperdicio, eficiencia) para la toma de decisiones se evalúan constantemente?					
20 ¿Los procesos de producción en la planta son eficientes y cumplen con los objetivos establecidos?					

Anexo 4.

Instrumento de recolección de datos entrevista.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD CIENCIAS DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



ENTREVISTA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS






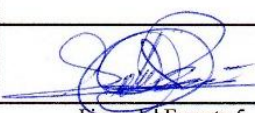
OBJETIVO: La entrevista busca conocer de manera detallada la percepción y experiencias del personal administrativo sobre la aplicación de modelos estocásticos y el desarrollo de los procesos de producción de harina de pescado. Las respuestas serán confidenciales y utilizadas únicamente con fines académicos.

Preguntas:

- 1.- ¿Qué tan importante considera el uso de datos y registros históricos en la planificación de la producción?
- 2.- ¿Qué beneficios cree que traería a la empresa contar con herramientas que permitan anticipar variaciones en la producción?
- 3.- ¿Cuáles considera que son las principales dificultades administrativas para implementar nuevas herramientas de gestión en la planta?
- 4.- ¿Qué tipo de información o recursos cree que la empresa debería fortalecer para mejorar la planificación de la producción?
- 5.- ¿De qué manera la gerencia y el personal administrativo podrían aprovechar mejor la información proveniente de sistemas de análisis o simulación?
- 6.- ¿Cuáles son, a su criterio, los principales problemas que afectan la eficiencia en la producción de harina de pescado?
- 7.- ¿Qué etapas del proceso de producción considera más críticas o con mayor variabilidad?
- 8.- ¿Qué estrategias actuales utiliza la planta para enfrentar imprevistos (fallas, retrasos, falta de materia prima)?
- 9.- ¿Qué mejoras recomendaría para optimizar los procesos productivos en la empresa?
- 10.- ¿Qué tan abierta cree que está la empresa a implementar nuevas metodologías o herramientas de gestión para mejorar la producción?


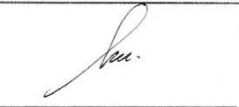
Anexo 5.

Ficha de validación por juicio de expertos del cuestionario.

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO		
<p>Título: MODELADO ESTOCÁSTICO EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO PARA LA EMPRESA ECUAFEED S.A., COMUNA JAMBELÍ, SANTA ELENA</p>		
<p>La libertad, 26 de septiembre del 2025</p>	<p>Datos del Experto</p>	<p>Observaciones:</p>
<p>Experto:</p>	<p>Franklin Enrique Reyes Soriano</p>	 <p>Firma del Experto 1</p>
<p>Grado académico:</p>	<p>Magister</p>	
<p>Experiencia profesional:</p>	<p>20 años</p>	
<p>Tiempo de experiencia:</p>	<p>20 años</p>	
<p>La libertad, 26 de septiembre del 2025</p>	<p>Datos del Experto</p>	<p>Observaciones:</p>
<p>Experto:</p>	<p>VICTOR MANUEL MARTIN PILLASAGUA</p>	 <p>Firma del Experto 2</p>
<p>Grado académico:</p>	<p>INGENIERO INDUSTRIAL</p>	
<p>Experiencia profesional:</p>	<p>22 años</p>	
<p>Tiempo de experiencia:</p>	<p>22 años</p>	
<p>La libertad, 26 de septiembre del 2025</p>	<p>Datos del Experto</p>	<p>Observaciones:</p>
<p>Experto:</p>	<p>Alexandro Bustamante Veliz Aguayo</p>	 <p>Firma del Experto 3</p>
<p>Grado académico:</p>	<p>DND</p>	
<p>Experiencia profesional:</p>	<p>30+</p>	
<p>Tiempo de experiencia:</p>	<p>Prof. Mecanica, Docencia, Petroleo, Civil</p>	
<p>La libertad, 26 de septiembre del 2025</p>	<p>Datos del Experto</p>	<p>Observaciones:</p>
<p>Experto:</p>	<p>GENERAL ANTONIO HEREDIA BRUNETT</p>	 <p>Firma del Experto 4</p>
<p>Grado académico:</p>	<p>DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES</p>	
<p>Experiencia profesional:</p>	<p>35 años</p>	
<p>Tiempo de experiencia:</p>	<p>35 años - Ing. Industrial - Militar</p>	
<p>La libertad, 26 de septiembre del 2025</p>	<p>Datos del Experto</p>	<p>Observaciones:</p>
<p>Experto:</p>	<p>Edison Noel Buenavista</p>	 <p>Firma del Experto 5</p>
<p>Grado académico:</p>	<p>Magister</p>	
<p>Experiencia profesional:</p>	<p>7 años</p>	
<p>Tiempo de experiencia:</p>	<p>8 años</p>	



Anexo 8.

Validación experto 3.

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO																													
Título: MODELADO ESTOCÁSTICO EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO PARA LA EMPRESA ECUAFEED S.A., COMUNA JAMBELÍ, SANTA ELENA																													
Indicadores	Criterios	Casi nunca				No usualmente				Ocasionalmente				Usualmente				Casi siempre											
		0-20				21-40				41-60				61-80				81-100											
Aspectos de Validación		0	5	10	15	16	20	25	30	31	35	40	45	50	51	55	60	65	70	71	75	80	85	86	90	91	95	96	100
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																											X	
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables																											X	
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías y enfoques.																											X	
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																											X	
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos necesarios a fortalecer.																											X	
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																											X	
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																											X	
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																											X	
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																											X	
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																											X	
INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del cuestionario que se está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados																													
La Libertad, 26 de septiembre de 2025		Promedio: puntos ()																											
		Experto: <i>Alejandro Cristóbal Orellana Aguayo</i>																											
		Profesión: <i>Ing. Mecánico</i>																											
		CI: <i>0908182280</i>																											
		Correo: <i>a.orellana@upse.edu.ec</i>																											
																													
		Firma del experto																											

Anexo 9.

Validación experto 4.

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO																													
Título: MODELADO ESTOCÁSTICO EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO PARA LA EMPRESA ECUAFEED S.A., COMUNA JAMBELÍ, SANTA ELENA																													
Indicadores	Criterios	Casi nunca				No usualmente				Ocasionalmente				Usualmente				Casi siempre											
		0-20				21-40				41-60				61-80				81-100											
Aspectos de Validación		0	5	10	15	16	20	25	30	31	35	40	45	50	51	55	60	65	70	71	75	80	85	86	90	91	95	96	100
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																											X	
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables																											X	
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías y enfoques.																											X	
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																											X	
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos necesarios a fortalecer.																											X	
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																											X	
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																											X	
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																											X	
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																											X	
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																											X	
INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del cuestionario que se está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados																													
La Libertad, 26 de septiembre de 2025		Promedio: puntos ()																											
		Experto: <i>ING. GERARDO ANTONIO HERRERA BRUNETT Ph.D</i>																											
		Profesión: <i>INGENIERO INDUSTRIAL.</i>																											
		CI: <i>0909254260.</i>																											
		Correo: <i>gherrera@upse.edu.ec</i>																											
																													
		Firma del experto																											

Anexo 10.

Validación experto 5.

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO																					
Título: MODELADO ESTOCÁSTICO EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO PARA LA EMPRESA ECUAFEED S.A., COMUNA JAMBELÍ, SANTA ELENA																					
Indicadores	Criterios	Casi nunca			No usualmente			Ocasionalmente			Usualmente			Casi siempre							
		0-20			21-40			41-60			61-80			81-100							
Aspectos de Validación		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																				×
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables																				×
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías y enfoques.																				×
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																				×
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos necesarios a fortalecer.																				×
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																				×
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																				×
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																				×
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																				×
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																				×
INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del cuestionario que se está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados																					
La Libertad, 26 de septiembre de 2025		Promedio: puntos ()																			
		Experto: Edison Buñano																			
		Profesión: Ing Industrial																			
		CI: 180451063-6																			
		Correo: ebunano@upse.edu.ec																			
		 Firma del experto																			

Anexo 11.

Tabulación de datos en IBM SPSS Statistics 25.

Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Pérdidas	Columnas	Alineación	Medida	Rol
P1	Númérico	8	0	1 ¿Se registran de forma habitual los datos de producción (cantidad de materia prim...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P2	Númérico	8	0	2 ¿Se anotan regularmente los tiempos de cada etapa productiva (molienda, cocción...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P3	Númérico	8	0	3 ¿Considera que los registros usados en la planta son confiables y están completos?	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P4	Númérico	8	0	4 ¿Se utiliza la información registrada para organizar turnos, insumos o actividades ...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P5	Númérico	8	0	5 ¿Recibe el personal instrucciones o cambios en la operación basados en los regis...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P6	Númérico	8	0	6 ¿Los paros no programados o las fallas de equipo afectan con frecuencia la produ...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P7	Númérico	8	0	7 ¿La falta de materia prima o insumos impide con frecuencia cumplir lo planificado?	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P8	Númérico	8	0	8 ¿Los problemas operativos (paros, desperdicios, fallas) se comiencen con rapidez cu...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P9	Númérico	8	0	9 ¿El personal operativo dispone de herramientas sencillas para registrar la producci...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P10	Númérico	8	0	10 ¿Cree que disponer y usar mejor la información de producción ayudaría a reducir ...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P11	Númérico	8	0	11 ¿Considera que en la planta existen desviaciones entre lo planificado y producido?	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P12	Númérico	8	0	12 ¿Los retrasos en la producción por esperas, falta de insumos o fallas operativas ...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P13	Númérico	8	0	13 ¿Las pérdidas o rechazos de producto durante el proceso (merma, producto inad...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P14	Númérico	8	0	14 ¿Los tiempos de las etapas productivas (recepción, molienda, cocción, secado, ...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P15	Númérico	8	0	15 ¿Los procedimientos de producción están claramente definidos y se cumplen de ...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P16	Númérico	8	0	16 ¿Los controles de calidad durante la producción son realizados con frecuencia?	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P17	Númérico	8	0	17 ¿La planta se adapta con facilidad a cambios repentinos en la disponibilidad de ...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P18	Númérico	8	0	18 ¿La planificación de la producción considera las variaciones e incertidumbre en i...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P19	Númérico	8	0	19 ¿Los indicadores de producción (rendimiento, desperdicio, eficiencia) para la tom...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
P20	Númérico	8	0	20 ¿Los procesos de producción en la planta son eficientes y cumplen con los objet...	{1, Totalme...	Ninguno	8	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
VI	Númérico	8	0		Ninguno	Ninguno	10	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada
VD	Númérico	8	0		Ninguno	Ninguno	10	☑ Derecha	☑ Escala	☑ Entrada

Anexo 12.

Coeficiente Omega de McDonald.

Run MATRIX procedure:

***** Written by Andrew F. Hayes *****
***** afhayes.com *****

This estimate of omega is based on the approximate and closed-form solution to the computation of loadings described in Hancock, G. R., and An, J. (2020). A closed-form alternative for ω^2 is available under unidimensionality. Measurement: Interdisciplinary

Reliability:
Omega
 ,950

Item means, standard deviations, and estimated loadings:

	Mean	SD	Loading
P1	2,250	1,118	,929
P2	2,150	,813	,419
P3	3,300	,801	,481
P4	2,500	,761	,441

Anexo 13.

Prueba KMO y Barlett.

Análisis factorial

Prueba de KMO y Bartlett

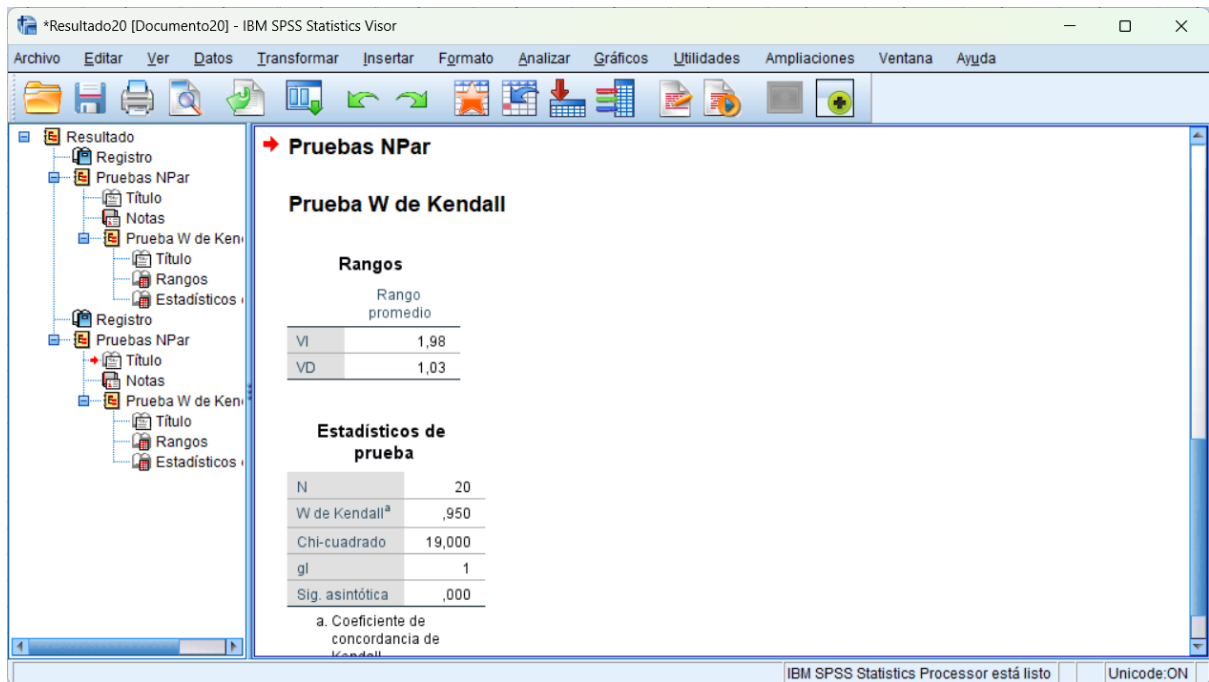
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		,806
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	50,816
	gl	15
	Sig.	,000

Comunalidades

	Inicial	Extracción
1 ¿Se registran de forma habitual los datos de producción (cantidad de materia prima, volúmenes procesados, producto final)?	1,000	1,000
2 ¿Se anotan regularmente los tiempos de cada etapa productiva (molienda,	1,000	1,000

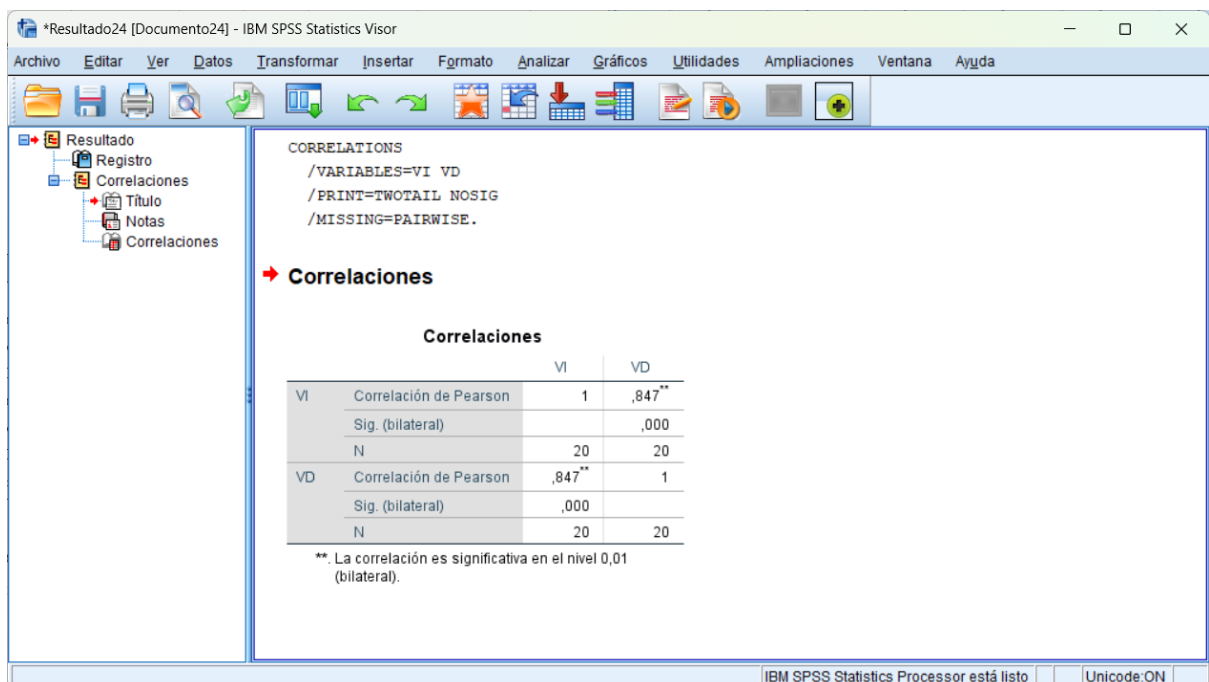
Anexo 14.

Estadísticos de prueba Kendall.



Anexo 15.

Correlación de Pearson.



Anexo 16.

Frecuencia de operaciones con tiempos de inactividad.

Proceso	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Purificado	9	9	24 %	24 %
Calibración de quipos	7	16	19 %	43 %
Recepción de materia prima	7	23	19 %	62 %
Sellado	5	28	14 %	76 %
Cocción	4	32	11 %	86 %
Etiquetado	3	35	8 %	95 %
Transporte	2	37	5 %	100 %
Total	37		100 %	

Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 17.

Aplicación del instrumento de recolección de datos.



Anexo 18.

Prensa de doble tornillo.



Anexo 19.

Área recepción de pesca.



Anexo 20.

Área de purificación.



Anexo 21.

Planta evaporadora.



