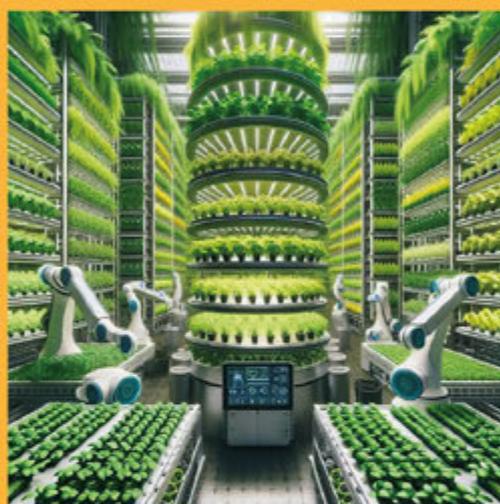


Ciencias e Ingeniería

PARA CIUDADANOS

Revista de investigación científica



Lima - Perú

Ciencias e Ingeniería



Volumen I-N°1 Abril 2025

Consejo Editorial

Director

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

Editor, diseño y traducción

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

Diagramador de texto y asistencia de diseño

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

Comité Científico

Dra. Elena Rafaela Benavides Rivera
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Dra. Ysabel Zevallos Parave
Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.
Lima-Peru

Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Mejora en la calidad de harina de pescado implementando la inteligencia artificial

Sr. Luis Jhonjairo Añanca Sosa
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: luis.ananca@unmsm.edu.pe

Srta. Anggi Thalia Occ Campos
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: anggi.occ@unmsm.edu.pe

Resumen: La inteligencia artificial (IA) está revolucionando la acuicultura y la producción de harina de pescado mediante el monitoreo y control de parámetros críticos, que afectan la calidad del agua y del producto final. Este artículo explora el desarrollo y aplicación de sistemas basados en IA para el monitoreo constante y la optimización de procesos en la acuicultura, asegurando un entorno adecuado para el cultivo de peces y mejorando la calidad de la harina de pescado. Los modelos predictivos y algoritmos avanzados de aprendizaje automático permiten detectar anomalías tempranas en la calidad del producto, optimizando así la intervención y reduciendo el riesgo de defectos. Además, se analizan las ventajas competitivas que ofrece la IA en esta industria, destacando su impacto en la eficiencia, sostenibilidad y precisión de los procesos de producción. La IA no solo proporciona un control más eficiente de los parámetros ambientales y de calidad del agua, sino que también permite una adaptación proactiva a cambios del mercado, facilitando la competitividad en una industria cada vez más exigente.

Palabras Claves: Inteligencia Artificial/ Acuicultura/ Calidad del Agua/ Harina de Pescado/ Control de Calidad.

Abstract: Artificial intelligence (AI) is revolutionizing aquaculture and fishmeal production by monitoring and controlling critical parameters that affect water and final product quality. This article explores the development and application of AI-based systems for constant monitoring and process optimization in aquaculture, ensuring a suitable environment for fish farming and improving fishmeal quality. Predictive models and advanced machine learning algorithms allow early detection of anomalies in product quality, thus optimizing intervention and reducing the risk of defects. In addition, the competitive advantages offered by AI in this industry are analyzed, highlighting its impact on the efficiency, sustainability and precision of production processes. AI not only provides more efficient control of environmental and water quality parameters, but also allows proactive adaptation to market changes, facilitating competitiveness in an increasingly demanding industry.

Keywords: Artificial Intelligence/ Aquaculture/ Water Quality/ Fishmeal/ Quality Control.

Résumé: L'intelligence artificielle (IA) révolutionne l'aquaculture et la production de farine de poisson en surveillant et en contrôlant les paramètres critiques qui affectent la qualité de l'eau et du produit final. Cet article explore le développement et l'application de systèmes basés sur l'IA pour la surveillance continue et l'optimisation des processus en aquaculture, garantissant un environnement adapté à la pisciculture et améliorant la qualité de la farine de poisson. Les modèles prédictifs et les algorithmes avancés d'apprentissage automatique permettent une détection précoce des anomalies de qualité des produits, optimisant les interventions et réduisant le risque de défauts. De plus, les avantages concurrentiels qu'offre l'IA dans cette industrie sont analysés, soulignant son impact sur l'efficacité, la durabilité et la précision des processus de production. L'IA permet non seulement un contrôle plus efficace des paramètres environnementaux et de qualité de l'eau, mais permet également une adaptation proactive aux changements du marché, facilitant ainsi la compétitivité dans un secteur de plus en plus exigeant.

Mots clés: Intelligence artificielle/Aquaculture/Qualité de l'eau/Farine de poisson/Contrôle qualité.

1. Introducción

La harina de pescado es un componente crucial en la producción de alimentos balanceados, especialmente en acuicultura y ganadería, debido a su alto contenido proteico. Sin embargo, la calidad de la harina de pescado puede verse afectada por factores como el control inadecuado del agua y la falta de tecnologías avanzadas, lo que limita su competitividad. Con el aumento de la demanda de productos más sostenibles, la inteligencia artificial (IA) ha emergido como una herramienta clave para mejorar tanto la calidad como la eficiencia de la producción de harina de pescado.

La adopción de IA en acuicultura, a través de tecnologías como IoT y modelos de aprendizaje automático, permite monitorear y optimizar las condiciones de producción en tiempo real. Por ejemplo, estudios como los de Steele et al. (2024), han mostrado cómo el uso de simuladores computacionales para entrenar modelos de IA mejora la detección y el control de las condiciones acuáticas. Otros autores como Hemal et al. (2024) han desarrollado sistemas inteligentes para el monitoreo de la calidad del agua, lo que optimiza las condiciones de cultivo y mejora la calidad del producto final. Además, Wang et al. (2024) demostraron cómo la implementación de modelos de IA puede mejorar la precisión del monitoreo piscícola.

La implementación de IA también está cambiando la forma en que se gestionan las explotaciones acuícolas. Según Chiu et al. (2022), los sistemas de alimentación inteligente basados en IA no solo mejoran la eficiencia alimentaria, sino que también ayudan a reducir el desperdicio de recursos, contribuyendo a la sostenibilidad del sector. Además, Lu et al. (2022) mostraron que el uso de boyas inteligentes de bajo costo para monitorear la calidad del agua puede beneficiar a pequeñas y medianas explotaciones acuícolas, mejorando tanto la rentabilidad como la calidad del producto.

Estas innovaciones no solo optimizan la producción, sino que también contribuyen a la sostenibilidad de la industria. La integración de la IA en la industria pesquera no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también promueve la producción sostenible y garantiza una mayor calidad del producto. Este trabajo busca explorar cómo la IA está transformando la industria de la harina de pescado, permitiendo una producción más eficiente y de alta calidad.

Este trabajo tiene como objetivo analizar cómo la inteligencia artificial puede contribuir a la mejora de la calidad de la harina de pescado, abordando las deficiencias en los procesos de producción y su capacidad para generar ventajas competitivas respecto a los métodos tradicionales. Mediante la optimización de los procesos clave, la IA tiene el potencial de transformar la industria pesquera, garantizando una mayor consistencia en la calidad del producto y reduciendo costos operativos a largo plazo.

En tal sentido, el presente documento está dividido de la siguiente forma. La sección 1 presenta Introducción, así como la pregunta y objetivo general además de las preguntas y objetivos específicos. La sección 2 considera la Metodología, donde se presenta el procedimiento efectuado para el proceso de búsqueda y selección de artículos pertinentes al tema contando también con un cuadro de aportes. La sección 3 presenta los Resultados de la selección de artículos de revisión, incluyendo revisiones sistemáticas de la literatura, del mismo modo se presentan los Aportes y Discusión.

Finalmente, en la sección 4 que corresponde a las Conclusiones y Recomendaciones, se concentran los resultados obtenidos a lo largo de la revisión sistemática de la literatura y se presentan propuestas para investigaciones futuras en concordancia al tema.

Pregunta general

P.G. ¿Cómo puede la inteligencia artificial mejorar la calidad de la harina de pescado mediante la optimización de los factores críticos que influyen en su producción?

Preguntas específicas

P.E.1. ¿De qué manera puede la inteligencia artificial mejorar el control y monitoreo de la calidad del agua utilizada en la acuicultura para reducir su impacto en la harina de pescado?

P.E.2. ¿Cómo puede la inteligencia artificial optimizar los parámetros de los procesos de producción para mejorar la calidad de la harina de pescado?

P.E.3. ¿Qué modelos de inteligencia artificial pueden aplicarse para identificar y predecir la calidad de la harina de pescado de manera temprana y precisa?

P.E.4. ¿Qué ventajas competitivas puede ofrecer la implementación de IA en la industria de producción de harina de pescado respecto a los métodos tradicionales?

Objetivo general

La presente revisión tiene como principal contribución:

O.G. Aplicar soluciones de inteligencia artificial para optimizar los factores clave que determinan la calidad de la harina de pescado, como el monitoreo de la calidad del agua, el control preciso de las variables del proceso y la incorporación de tecnologías innovadoras para mejorar el producto final.

Objetivos específicas

O.E.1. Desarrollar un sistema basado en IA que permita el monitoreo constante y el control de la calidad del agua en la acuicultura, minimizando los factores que puedan afectar la calidad del pescado y de la harina de pescado.

O.E.2. Identificar los parámetros críticos del proceso de producción, que pueden ser optimizados mediante inteligencia artificial para mejorar la calidad del producto final.

O.E.3. Diseñar algoritmos de IA que permitan identificar y predecir anomalías en la calidad de la harina de pescado antes de que se generen defectos en el producto, permitiendo la intervención temprana.

O.E.4. Identificar y analizar las ventajas competitivas que la implementación de inteligencia artificial puede proporcionar en la industria de harina de pescado; para mejorar la eficiencia, la calidad del producto.

2. Material y métodos

La metodología empleada para la revisión literaria inicia con el planteamiento de la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo puede la inteligencia artificial mejorar la calidad de la harina de pescado mediante la optimización de los factores críticos que influyen en su producción? Para dar respuesta a esta interrogante se iniciará con la aplicación de la metodología PICOC, donde cada uno de sus componentes nos permitirá encontrar palabras claves que posteriormente servirán para construir la ecuación.

Tabla N° 1: Identificación del acrónimo PICOC para la selección de palabras claves

Acrónimo	Descripción	Palabras clave en español	Palabras clave en inglés
P	Población	Harina de pescado, producción de harina de pescado, calidad en harina de pescado	Fish meal, fishmeal, fish meal production, fishmeal quality
I	Intervención	Inteligencia artificial, IA, machine learning, aprendizaje automático, tecnologías avanzadas	Artificial intelligence, AI, machine learning, automatic learning, advanced technologies
C	Comparación	Proceso tradicional, métodos convencionales, sin inteligencia artificial	Traditional process, conventional methods, no artificial intelligence
O	Resultados	Calidad, mejora de calidad, optimización, control, control de calidad, eficiencia	Quality, quality improvement, optimization, control, quality control, efficiency
C	Contexto	Industria pesquera, industria de harina de pescado, procesamiento de pescado, acuicultura	Fishing industry, fishmeal industry, fish processing, aquaculture

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se escogen los criterios de elegibilidad con el fin de consolidar el contenido de la información recopilada. Dentro de los criterios de inclusión que se consideró tipos de documentos como artículos y review, para el rango de periodo de publicación se contempló desde el 2019 hasta la actualidad, ya que al ser un tema relativamente nuevo la literatura es reciente; asimismo, la búsqueda se realizó en inglés y español, limitando el área académica de Ingeniería.

Tabla N° 2: Criterios de elegibilidad para la filtración de ecuación de búsqueda

Criterios	Inclusión	Exclusión
Temática	-	-
Tipos de documentos	Artículos, Review	Otros documentos
Periodo de publicación	2019 al 2024	Años anteriores
Idiomas	Inglés, español	Otros idiomas
Áreas académicas	Ingeniería	Otras áreas
Disponibilidad	-	-

Fuente: Elaboración propia.

La información de la Tabla N° 2 sirvió para filtrar la ecuación de búsqueda, en la cual se incluyeron 19 palabras claves, cada una de ellas acompañada de comillas para una búsqueda literal de los términos deseados. Se utilizó el operador AND para realizar una intersección y OR para realizar una exclusión, por lo cual se obtuvieron 621 publicaciones sin aplicar los filtros presentados en la tabla N° 2. Asimismo, más adelante serán reducidos al pasar el proceso de filtración correspondiente. A continuación, en la Tabla 3 se aprecia la ecuación que fue utilizada en la base de datos, además de los resultados conseguidos aplicando los criterios de filtración presentado en la Tabla N°2.

Tabla N° 3: Búsqueda de la ecuación elaborada a partir de palabras claves y criterios de elegibilidad

Base de datos	Fecha	Ecuación	Respuesta
Scopus	17 – 10-2024	("fish meal" OR "fishmeal" Or "fish meal production" OR "aquaculture" OR "fish meal quality" OR "fishmeal industry" or "fishing industry" OR "fish processing") AND ("artificial intelligence" OR "AI" OR "machine learning" OR "advanced technologies" OR "automatic learning") AND ("quality" OR "optimization" OR "control" OR "efficiency" OR "quality control" OR "quality improvement")	621

Fuente: Elaboración propia.

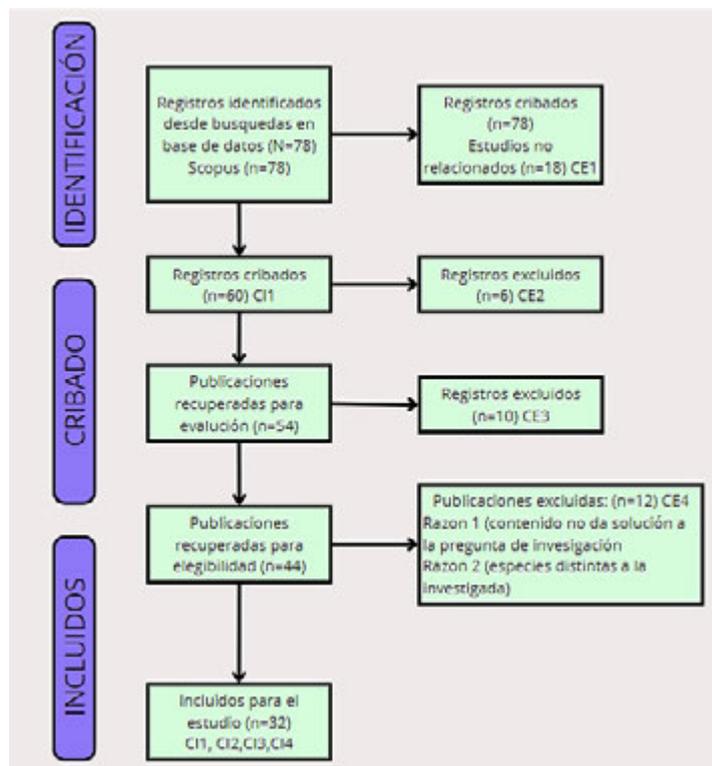
Para el proceso de filtración siguiendo la metodología PRISMA que se realizó en Scopus y Scielo se utilizó la ecuación que se construyó con las palabras claves. Se empezó por filtrar los títulos de las publicaciones donde quedaron 78 documentos, por criterios de elegibilidad de la tabla N° 2. Continuando con el proceso se escogió 4 criterios de exclusión y 4 criterios de inclusión para una correcta filtración de la información. En la Tabla 4, se muestran todos los criterios que fueron usados.

Tabla N° 4: Criterios de exclusión e inclusión utilizados en la metodología PRISMA

Criterios de Exclusión	
CE1	Estudios sin acceso libre
CE2	Falta de aplicación de IA
CE3	Procesos fuera de la acuicultura
CE4	Estudios enfocados en especies distintas
Criterios de Inclusión	
CI1	Calidad del agua en acuicultura
CI2	Predicción de calidad utilizando nuevas tecnologías
CI3	Aplicaciones de IA en el procesamiento de pescado
CI4	Técnicas innovadoras en la industria pesquera

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 1 se explica el diagrama de filtración y selección de artículos siguiendo la metodología Prisma, donde se registró inicialmente 78 documentos entre revistas y artículos científicos, 34 eliminados por criterios de exclusión e inclusión definidos anteriormente (CE1=18 , CE2=6 , CE3=10). Posteriormente, se eliminan 12 por especies distintas a la investigada (CE4=12), quedando finalmente 32 artículos para el estudio.

Figura N° 1: Diagrama de filtrado de publicaciones siguiendo metodología PRISMA

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla N° 5 ofrece una visión completa y detallada de la información recopilada, donde los datos han sido organizados cuidadosamente por autor, título de la obra, año de publicación y la contribución específica de cada uno. En total, se han incluido 32 artículos clave, los cuales constituyen la base fundamental para la construcción y desarrollo del trabajo de investigación, aportando enfoques relevantes y conocimientos sustanciales en cada uno de los temas tratados.

Tabla N° 5: Descripción de Artículos por año, título y aporte

Artículo	Año	Título	Aporte
Art 1	2024	IoT-Based Smart Biofloc Monitoring System for Fish Farming Using Machine Learning	Desarrollo de un sistema de monitoreo inteligente de Biofloc, utilizando una solución de bajo costo junto con algoritmos de aprendizaje automático. El sistema permite predecir la mortalidad de los peces, específicamente Tilapia en el sur de Punjab, Pakistán.
Art 2	2024	Ensemble Modelling for Predicting Fish Mortality	Presenta un modelo conjunto que combina Redes Neuronales Artificiales (ANN), Regresión Simbólica (SR) y Árboles de Decisión (DT) para predecir la mortalidad de peces debido a enfermedades infecciosas en la acuicultura.
Art 3	2023	Implementation of information and communication technologies to increase sustainable productivity in freshwater finfish aquaculture – A review	Se realiza una revisión sistemática de la literatura para identificar las principales variables que contribuyen al aumento de la productividad sostenible en la acuicultura de agua dulce y las herramientas de tecnologías de la información y comunicación (ICT).
Art 4	2019	Vision system for quality assessment of robotic cleaning of fish processing plants using CNN	Sistema de visión para la evaluación automática de la calidad de la limpieza robótica de las líneas de procesamiento de pescado. La evaluación de la calidad se realiza mediante la detección de sangre residual de pescado en las superficies limpias.
Art 5	2023	Fish Feeding Behavior Recognition Using Adaptive DMCA-UMT Algorithm	Propuesta de un algoritmo llamado "DMCA-UMT", que mejora la identificación del comportamiento alimentario de los peces mediante la fusión de datos multimodales, como video, audio y parámetros de calidad del agua.
Art 6	2024	Artificial Intelligence-Based Aquaculture System for Optimizing the Quality of Water: A Systematic Analysis	Análisis sistemático de las tecnologías aplicadas en la acuicultura, como sensores, inteligencia artificial (IA) y procesamiento de imágenes, con el objetivo de optimizar la calidad del agua en los sistemas acuícolas.
Art 7	2021	Applying Artificial Intelligence (AI) Techniques to Implement a Practical Smart Cage Aquaculture Management System	La investigación permite a los operadores o propietarios de acuicultura reducir de manera eficiente los residuos de alimento, monitorear el crecimiento de los peces y aumentar la tasa de supervivencia de los peces, aumentando así la tasa de conversión alimenticia.
Art 8	2023	Aquasafe: A Remote Sensing, Web-Based Platform for the Support of Precision Fish Farming	Este estudio tiene como objetivo crear un sistema integrado de monitoreo y apoyo a la toma de decisiones utilizando datos satelitales e in situ para monitorear las instalaciones acuícolas en varias escalas, proporcionando información sobre la calidad del agua, el crecimiento de los peces y las señales de advertencia para alertar a los gerentes y productores de peligros potenciales.

Art 9	2020	Intelligent monitoring method of water quality based on image processing and RVFL-GMDH model	Este estudio propone un enfoque de monitoreo inteligente de la calidad del agua. Se extraen las características críticas de las imágenes en color de agua
Art 10	2024	Integration of Federated Learning and Edge-Cloud Platform for Precision Aquaculture	Propone un sistema de acuicultura de precisión basado en aprendizaje federado. Este sistema utiliza IoT y computación en la nube para monitorear en tiempo real la calidad del agua y el crecimiento de camarones
Art 11	2022	AIoT Precision Feeding Management System	Alimentación inteligente de los peces ajustando la cantidad de pellets de pescado para reducir el costo de la acuicultura.
Art 12	2023	Developing and Field Testing Path Planning for Robotic Aquaculture Water Quality Monitoring	El monitoreo continuo de la calidad del agua para cultivar y cosechar peces con éxito requiere mucha mano de obra. El Sistema Robótico Submarino Aéreo Híbrido (HAUCS) es un marco de Internet de las Cosas (IoT) para las granjas acuícolas para aliviar a los operadores de las granjas de una de las operaciones agrícolas más laboriosas y que requieren más tiempo: el monitoreo de la calidad del agua.
Art 13	2019	High pressure processing on microbial inactivation, quality parameters and nutritional quality indices of mackerel fillets	Procesado a alta presión sobre inactivación microbiana, parámetros de calidad e índices de calidad nutricional de filetes de caballa
Art 14	2023	Bangus (Chanos Chanos) Farming: Preparing for SMART Farming and Predictive Analysis using Artificial Intelligence Tools	Se explora cómo los métodos tradicionales de cultivo de Bangus (leche de pez) en Pangasinan, Filipinas, pueden adaptarse para incorporar tecnologías modernas y análisis predictivo con el objetivo de mejorar la producción, eficiencia y sostenibilidad de la acuicultura local.
Art 15	2023	Autonomous Visual Fish Pen Inspections for Estimating the State of Biofouling Buildup Using ROV	Sistema autónomo para la inspección visual de jaulas de peces en acuicultura mediante un Vehículo Submarino Operado Remotamente (ROV), que permite estimar el nivel de bioincrustación en las redes de las jaulas.
Art 16	2019	Toward a European coastal observing network to provide better answers to science and to societal challenges; the JERICO research infrastructure	Mediante el uso de la inteligencia artificial (IA), el Internet de las Cosas pronto proporcionará plataformas operativas y sensores inteligentes autónomos y operados a distancia.
Art 17	2021	Sustainable Marine Ecosystems: Deep Learning for Water Quality Assessment and Forecasting	En este trabajo se revisan las metodologías y tecnologías para la evaluación de la calidad del agua que contribuyen a una gestión sostenible de los ambientes marinos. Se estudian varias aplicaciones, como la gestión costera y la acuicultura.
Art 18	2024	An Integrated Smart Pond Water Quality Monitoring and Fish Farming Recommendation Aquabot System	Monitorizar la calidad del agua en estanques de peces y proporcionar recomendaciones automatizadas sobre las especies de peces más adecuadas para cultivar.

Art 19	2023	Digital Twin Architecture Evaluation for Intelligent Fish Farm Management Using Modified Analytic Hierarchy Process	El sistema incorpora gemelos digitales basados en la nube que utilizan el aprendizaje automático y la visión por computadora, junto con sensores y tecnologías de Internet de las cosas (AIoT) basadas en inteligencia artificial, para monitorear el comportamiento de alimentación, las enfermedades y el crecimiento de los peces
Art 20	2024	LSTM model to predict missing data of dissolved oxygen in land-based aquaculture farm	Propone un modelo de memoria a largo plazo (LSTM) para predecir datos faltantes de oxígeno disuelto en sistemas de acuicultura terrestre. Utilizando redes neuronales recurrentes.
Art 21	2023	Inspection Operations and Hole Detection in Fish Net Cages through a Hybrid Underwater Intervention System Using Deep Learning Techniques	Desarrollo de una plataforma robótica híbrida que integra un vehículo submarino autónomo y un vehículo de superficie para la inspección de redes en piscifactorías.
Art 22	2022	A Low-Cost AI Buoy System for Monitoring Water Quality at Offshore Aquaculture Cages	Propone un sistema de boyas de inteligencia artificial (IA) de bajo costo y fácil de construir que mide de forma autónoma los datos relacionados con la calidad del agua
Art 23	2023	AI-Based Principal Component Analysis (PCA) Approach for the Determination of Key Water Quality Parameters	Se basa en inteligencia artificial utilizando el Análisis de Componentes Principales para identificar los parámetros clave de la calidad del agua que afectan la salud de los peces. El estudio concluye que parámetros como el oxígeno disuelto y el pH tienen una influencia significativa en las condiciones de vida de los peces.
Art 24	2024	Intelligent Recirculating Aquaculture System of Oreochromis Niloticus: A Feed-Conversion-Ratio-Based Machine Learning Approach	Implementación de un Sistema Inteligente de Acuicultura en Recirculación (IRAS) basado en un marco de aprendizaje automático (ML) para optimizar la alimentación de la tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>).
Art 25	2024	Optimizing Predictive Modeling for Water Quality in Farms with Blended Artificial Neural Network	Enfoque innovador para la clasificación de la calidad del agua en entornos costeros mediante la combinación de Redes Neuronales de Perceptrón Multicapa con Máquinas de Vectores de Soporte Multi-clase .
Art 26	2023	A Spatial-Spectral Classification Method Based on Deep Learning for Controlling Pelagic Fish Landings in Chile	Método de clasificación automático basado en aprendizaje profundo que combina la información espacial y espectral para identificar cinco especies pelágicas de interés en la industria pesquera chilena.
Art 27	2024	DOXY: a dissolved oxygen monitoring system	Doxy, un sistema automatizado de monitoreo de oxígeno disuelto en agua basado en el Internet de las Cosas (IoT).
Art 28	2024	Computer-Simulated Virtual Image Datasets to Train Machine Learning Models for Non-Invasive Fish Detection in Recirculating Aquaculture	Demostrar la viabilidad de usar datasets simulados para entrenar modelos de detección de peces, lo que puede acelerar la implementación de tecnología de inteligencia artificial en la acuicultura
Art 29	2022	A Review of Unmanned System Technologies with Its Application to Aquaculture Farm Monitoring and Management	Visión general de las capacidades de los sistemas no tripulados para monitorear y administrar granjas acuícolas que apoyan la acuicultura de precisión

Art 30	2024	Improved YOLOv5 Algorithm for Real-Time Prediction of Fish Yield in All Cage Schools	Propuesta de una red mejorada llamada CC-YOLOv5 para monitorear poblaciones de peces en jaulas de acuicultura. Esta red utiliza módulos CoordConv para mejorar la generalización del modelo y aumentar la precisión de detección en un 14.9%.
Art 31	2023	The Application and Research of New Digital Technology in Marine Aquaculture	Se destacan los resultados de la aplicación de cada nueva tecnología digital en la acuicultura marina, y se señalan las ventajas o problemáticas de cada nueva tecnología digital en la acuicultura marina.
Art 32	2023	Systems approaches for sustainable fisheries: A comprehensive review and future perspectives	Los sistemas de acuicultura en recirculación, que tienen el potencial de mejorar la productividad acuícola con menores impactos ambientales. Sin embargo, los altos costos operativos y el consumo energético asociado representan desafíos significativos.

Fuente: Elaboración propia

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis descriptivo de los artículos seleccionados

Del total de los artículos elegidos para la investigación resalta que, a lo largo de los años, parece haber una tendencia creciente en la publicación de artículos, especialmente notable en 2023 y 2024 siendo en estos años donde hubo más publicaciones (22) a diferencia de años anteriores donde la publicación era menor (10), esto nos da una clara muestra que el número de publicaciones se está incrementando significativamente con el pasar de los años. A continuación, en la Figura N° 2 se muestra la cantidad de artículos por cada año de publicación que fueron seleccionados en el proceso de aplicación de la metodología PRISMA

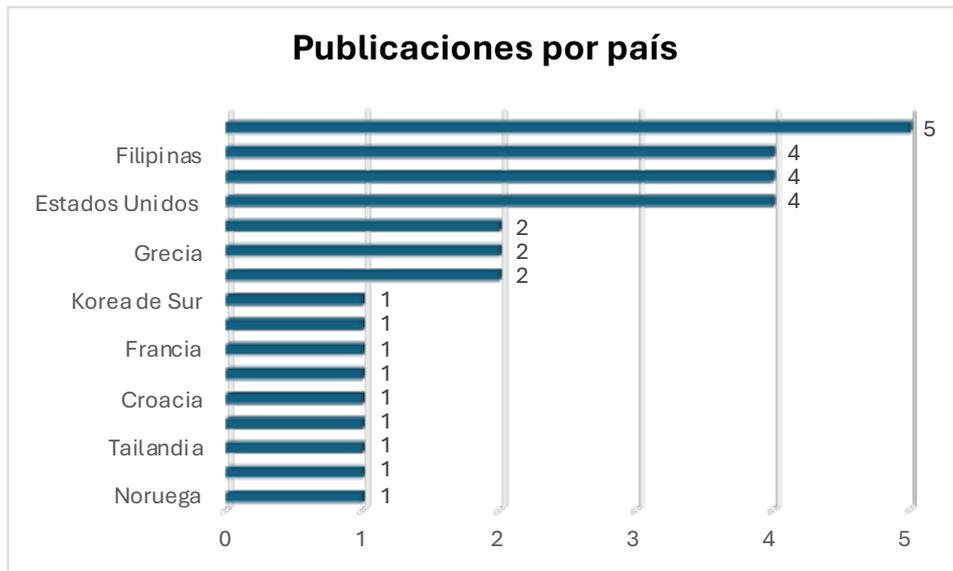
Figura N° 2: Cantidad de artículos por año de publicación



Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 3 se aprecia la cantidad de publicaciones que hubo por país, contando con el aporte de 16 países para esta revisión sistemática de la literatura, así mismo se presenta la lista de los países respectivos, así también como el total de los 32 artículos de los cuales se hizo mención.

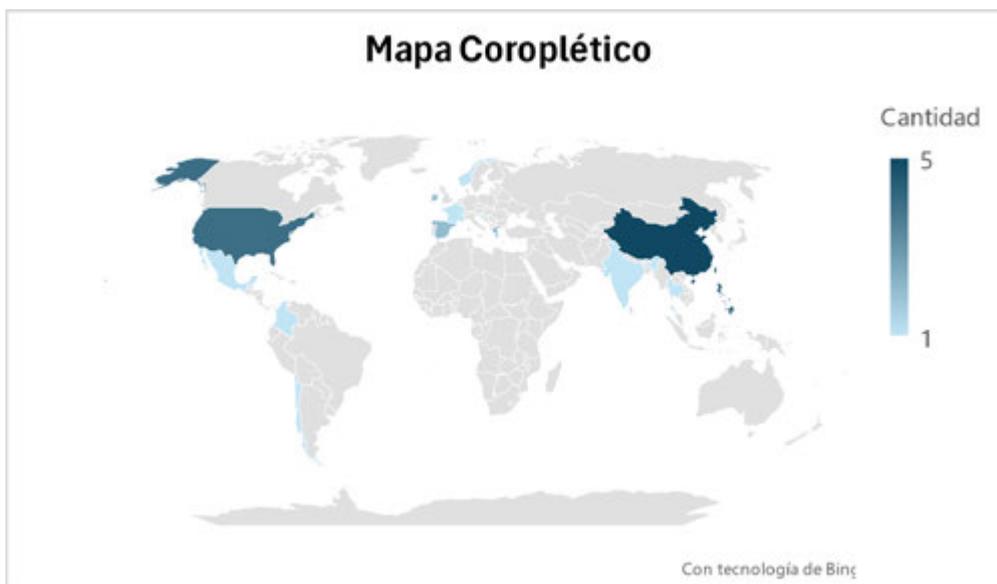
Figura N° 3: Cantidad de publicaciones por país



Fuente: Elaboración propia

Así como también, en la Figura N° 4 se presenta el mapa coroplético para tener como referencia a los países que contribuyeron en la búsqueda de publicaciones realizadas en Scopus. Dándonos como resultados que China tendría más artículos de investigación , siguiéndole Filipinas , EE.UU y Grecia , tal y como se muestra en la Figura N° 3.

Figura N° 4: Mapa coroplético



Fuente : Elaboración propia

3.2. Análisis de correlación de los artículos seleccionados por eje temático

En este punto se realizó un análisis de correlación entre las preguntas específicas planteadas inicialmente y los artículos seleccionados en la tabla N° 5. A continuación se presenta la tabla N° 6 donde se plasman las preguntas específicas y los autores que responden a estas.

Tabla N° 6: Artículos que corresponden a las preguntas planteadas

P.E.	Pregunta Específica	Autores
P.E. 1	¿De qué manera puede la inteligencia artificial mejorar el control y monitoreo de la calidad del agua utilizada en la acuicultura para reducir su impacto en la harina de pescado?	(Hemal et al., 2024) , (Shaghghi et al., 2024) , (Lee et al., 2024) , (Capetillo-Contreras et al., 2024) , (López-Barajas et al., 2023) , (Wang et al., 2023) , (Davis et al., 2023) , (Lu et al., 2022) , (Gambin et al., 2021)
P.E. 2	¿Cómo puede la inteligencia artificial optimizar los parámetros de los procesos de producción para mejorar la calidad de la harina de pescado?	(Mayormente, 2024) , (Zhu et al., 2008) , (Lan et al., 2022) , (Chiu et al., 2022) , (Chen et al., 2020)
P.E. 3	¿Qué modelos de inteligencia artificial pueden aplicarse para identificar y predecir la calidad de la harina de pescado de manera temprana y precisa?	(Steele et al., 2024) , (Aravanis et al., 2024) , (Wang et al., 2024) , (Abid et al., 2024) , (Pezoa et al., 2023) , (Ly et al., 2023) , (Ubina & Cheng, 2022) , (De Alba et al., 2019)
P.E. 4	¿Qué ventajas competitivas puede ofrecer la implementación de IA en la industria de producción de harina de pescado respecto a los métodos tradicionales?	(Cheng et al., 2024) , (López-Barajas et al., 2023) , (Fabijanić et al., 2023) , (Delloso, 2023) , (Caiwei et al, 2023) , (Chatziantoniou et al., 2023) , (Zhang & Gui, 2023) , (Chang et al., 2021) , (Faricy et al., 2019) , (Bjorlykhaug & Egeland, 2019)

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. Aplicación de la IA en acuicultura para el control y monitoreo de la calidad del agua

En los últimos años, la inteligencia artificial (IA) ha transformado la acuicultura al mejorar el monitoreo y control de la calidad del agua, factores clave para una producción sostenible y de alta calidad en productos derivados, como la harina de pescado. La investigación reciente detalla diversos sistemas y modelos basados en IA que han mostrado eficacia en la supervisión de parámetros críticos en tiempo real y la optimización de las condiciones de cultivo.

Sistemas Inteligentes de Monitoreo de Agua en Acuicultura

Los sistemas de monitoreo basados en IA, como el desarrollado por Hemal et al. (2024), utilizan sensores avanzados para recopilar datos del agua y proporcionan recomendaciones en tiempo real para los productores acuícolas. Este tipo de sistemas se basa en el análisis de datos de parámetros clave, como el oxígeno disuelto y la temperatura, que influyen directamente en el bienestar de los peces y, por ende, en la calidad de

la harina de pescado producida. Estos sistemas inteligentes ofrecen una supervisión continua y ajustes automáticos de las condiciones del agua, promoviendo un entorno óptimo para los peces.

Monitoreo Específico del Oxígeno Disuelto

La supervisión del oxígeno disuelto es fundamental en la acuicultura, y sistemas específicos como el DOxy descrito por Shaghaghi et al. (2024) proporcionan un control preciso de este parámetro. El oxígeno disuelto es esencial para la salud de los peces, y su monitoreo constante permite evitar fluctuaciones que podrían comprometer tanto la salud de los peces como la calidad del producto final. Un nivel adecuado de oxígeno evita el uso excesivo de recursos, reduce costos y mejora la calidad de la harina de pescado.

Modelos Predictivos para la Calidad del Agua

El uso de modelos predictivos en la acuicultura ha mostrado gran efectividad en la gestión de datos y predicción de condiciones de calidad del agua. Un ejemplo es el modelo LSTM propuesto por Lee et al. (2024), que predice datos faltantes de oxígeno disuelto en tiempo real. Este tipo de modelos son particularmente útiles en instalaciones de acuicultura en tierra, donde la precisión en la predicción y ajuste de datos garantiza una calidad constante del agua, evitando así impactos negativos en la calidad del producto final.

Optimización de Condiciones de Cultivo con Redes Neuronales

La IA también permite optimizar las condiciones de cultivo mediante la aplicación de redes neuronales y aprendizaje automático. Capetillo-Contreras et al. (2024) examinan cómo las redes neuronales mixtas pueden mejorar la calidad del agua mediante modelos predictivos avanzados, proporcionando una gestión más precisa y sostenible de los recursos. De manera similar, López-Barajas et al. (2023) exploran el uso de redes neuronales para optimizar la calidad del agua, contribuyendo así a una acuicultura más eficiente.

Tecnología de Monitoreo a Bajo Costo y Sostenibilidad

Otra línea de desarrollo es la creación de sistemas accesibles de monitoreo, como las boyas de bajo costo con tecnología IA, descritas por Lu et al. (2022), que ofrecen una alternativa viable para productores con limitaciones de presupuesto. Esta tecnología permite monitorear la calidad del agua en jaulas marinas a bajo costo, ofreciendo un monitoreo constante y reduciendo el impacto ambiental de la producción acuícola. Gambin et al. (2021) complementan esta línea de investigación con el uso de aprendizaje profundo para evaluar y predecir la calidad del agua, fomentando prácticas más sostenibles en los ecosistemas marinos.

Aplicaciones Robóticas y Mapeo de Zonas de Cultivo

Además de los modelos predictivos, se ha avanzado en la implementación de robots acuáticos que mejoran la supervisión de la calidad del agua en zonas específicas de cultivo. La investigación de Wang et al. (2023) y Davis et al. (2023) sobre el uso de robótica para la planificación de rutas en monitoreo de agua permiten el acceso a zonas específicas de los estanques o jaulas marinas. Estos robots recopilan datos de manera exhaustiva y se adaptan a condiciones cambiantes, lo cual permite un control más preciso de la calidad del agua.

3.2.2. Parámetros en el proceso de producción

La inteligencia artificial (IA) está revolucionando los parámetros de producción en acuicultura, mejorando la eficiencia, la calidad del producto y la sostenibilidad del proceso de producción de harina de pescado. A continuación, se presentan los principales parámetros que la IA optimiza en el proceso de producción, destacando las técnicas y modelos aplicados en estudios recientes.

Índice de Conversión Alimenticia (FCR)

El índice de conversión alimenticia es un parámetro clave que mide la eficiencia de la alimentación en la producción de biomasa. Mayormente (2024) propone un sistema inteligente de recirculación acuícola para *Oreochromis niloticus*, basado en el FCR y utilizando aprendizaje automático. Este sistema ajusta automáticamente los parámetros de alimentación y las condiciones del entorno en función de la tasa de crecimiento de los peces, optimizando el consumo de recursos y reduciendo desperdicios. La eficiencia en el FCR se traduce en una biomasa de alta calidad, lo cual impacta positivamente la calidad de la harina de pescado obtenida.

Control de Parámetros Críticos de Calidad del Agua

El análisis de componentes principales (PCA) basado en IA permite optimizar parámetros esenciales de calidad del agua, como el pH, la temperatura y el oxígeno disuelto. Zhu et al. (2008) aplican esta técnica para identificar los factores más influyentes en la salud y desarrollo de los peces. El monitoreo y ajuste constante de estos parámetros garantizan un ambiente de cultivo saludable, maximizando la calidad de la biomasa que, posteriormente, es utilizada en la producción de harina de pescado.

Simulación de Procesos con Gemelos Digitales

La tecnología de gemelos digitales permite simular en tiempo real los procesos de producción y las condiciones de cultivo. Lan et al. (2022) emplearon una arquitectura de gemelos digitales basada en un proceso jerárquico modificado para la gestión de granjas acuícolas. Esta tecnología permite ajustar parámetros de producción según las condiciones y comportamiento de los peces, ayudando a predecir y solucionar proble-

mas antes de que afecten la calidad del producto. Los gemelos digitales proporcionan un marco para una producción optimizada y consistente de harina de pescado.

Alimentación de Precisión

La alimentación es otro parámetro crucial en el proceso de producción. Chiu et al. (2022) desarrollaron un sistema AIoT (combinación de IA e Internet de las cosas) para la gestión de alimentación de precisión. Este sistema ajusta la cantidad y frecuencia de la alimentación en tiempo real, optimizando el consumo y reduciendo el desperdicio. La alimentación de precisión mejora la salud y crecimiento de los peces, proporcionando una biomasa uniforme y de calidad superior para la harina de pescado, lo cual impacta directamente en su valor nutricional y en la sostenibilidad del proceso.

Monitoreo Inteligente de la Calidad del Agua mediante Procesamiento de Imágenes

El monitoreo de la calidad del agua en acuicultura es fundamental para mantener condiciones óptimas de producción. Chen et al. (2020) presentan un sistema de monitoreo inteligente que emplea procesamiento de imágenes junto con el modelo RVFL-GMDH para evaluar visualmente la calidad del agua. Este sistema permite ajustar parámetros de claridad y pureza del agua en tiempo real, previniendo problemas de salud en los peces y mejorando la biomasa resultante. Una calidad de agua constante y controlada es esencial para producir harina de pescado de alta calidad.

3.2.3. Modelos de IA para predecir la calidad de la harina de pescado

La implementación de inteligencia artificial (IA) en la producción de harina de pescado permite identificar y predecir la calidad del producto de forma temprana y precisa. Esto optimiza el control de calidad y reduce la variabilidad del producto final. A continuación, se presentan los modelos de IA clave utilizados para predecir la calidad en esta industria:

Modelos Conjuntos o Ensemble para Predicción de Calidad

Los modelos conjuntos o ensemble, que combinan técnicas de aprendizaje como Redes Neuronales Artificiales (ANN), Regresión Simbólica (SR) y Árboles de Decisión (DT), son efectivos en la predicción de variables complejas al integrar datos diversos. Estos modelos han sido usados en acuicultura para predecir la mortalidad de peces; y su capacidad de integración de información diversa permite aplicarlos en la predicción de la calidad de la harina de pescado, mejorando la precisión en los pronósticos y optimizando el control de calidad (Aravanis et al., 2024).

Algoritmo Mejorado YOLOv5 para Detección en Tiempo Real

El algoritmo mejorado YOLOv5, específicamente en su versión CC-YOLOv5, incorpora módulos CoordConv que aumentan la precisión de detección y generalización. Originalmente diseñado para el monitoreo de poblaciones de peces, este modelo se adapta bien al análisis de calidad en la harina de pescado, ya que permite monitoreo en tiempo real con resultados rápidos y precisos. Esto lo convierte en una herramienta ideal para un análisis eficiente de calidad y control en las etapas de producción (Wang et al., 2024).

Métodos de Clasificación Espacial y Espectral con Aprendizaje Profundo

Los métodos de clasificación espacial y espectral, sustentados en aprendizaje profundo, han mostrado éxito en la industria pesquera al identificar y diferenciar especies. Estos modelos, al combinar información espacial y espectral, pueden aplicarse en el análisis de calidad de la harina de pescado, facilitando la clasificación de componentes específicos del producto. Esto es crucial para el monitoreo en tiempo real y permite identificar patrones relevantes que aseguran una calidad constante del producto (Pezoa et al., 2023).

Sistemas de Monitoreo Basados en IoT y Aprendizaje Automático

El uso de sistemas de monitoreo basados en Internet de las Cosas (IoT) y algoritmos de aprendizaje automático facilitan la obtención continua de datos del entorno de producción. Este monitoreo constante es clave para la predicción temprana de la calidad. Un ejemplo es el sistema de monitoreo inteligente de Biofloc, diseñado para la acuicultura, que monitorea factores clave y permite predecir la calidad de productos derivados del pescado, como la harina de pescado, de forma precisa y adaptable a diferentes condiciones de producción (Abid et al., 2024).

Tecnologías No Tripuladas para Monitoreo Autónomo

Las tecnologías no tripuladas han demostrado ser útiles para el monitoreo continuo y remoto de parámetros ambientales y de calidad en acuicultura. Estas herramientas funcionan sin intervención humana, lo que mejora la consistencia en el monitoreo y permite un análisis detallado de la calidad en tiempo real. Esta consistencia es esencial para un control de calidad continuo y preciso en la producción de harina de pescado (Ubina & Cheng, 2022).

3.2.4. Ventajas competitivas de la IA en la industria de harina de pescado

La implementación de inteligencia artificial (IA) en la producción de harina de pescado, ofrece una serie de ventajas competitivas significativas en comparación con los métodos tradicionales. Estas ventajas incluyen mejoras en precisión, eficiencia y sostenibilidad, aspectos críticos para mantenerse competitivo en el mercado.

Precisión en la Monitorización y Toma de Decisiones

La IA, junto con plataformas de aprendizaje federado e Internet de las Cosas (IoT), permite monitorear en tiempo real factores críticos del entorno de producción, como la calidad del agua y el crecimiento de los organismos. Esta monitorización constante mejora la precisión en la toma de decisiones, optimizando el proceso productivo y reduciendo el desperdicio. Este enfoque basado en datos permite mantener estándares de calidad uniformes en la producción de harina de pescado, lo que es esencial para cumplir con los altos requisitos de calidad del sector (Cheng et al., 2024).

Detección y Control de Contaminantes

La IA también facilita la mejora en la detección y el control de contaminantes en las instalaciones. Con sistemas de visión y algoritmos de aprendizaje profundo, se logra la detección temprana de residuos y la evaluación automática de limpieza en áreas de procesamiento. Esto minimiza el riesgo de contaminación cruzada y asegura un control de calidad riguroso en todas las etapas de producción. La implementación de plataformas autónomas para inspecciones visuales en piscifactorías (López-Barajas et al., 2023; Dellosa, 2023) reduce significativamente los costos operativos y los tiempos de intervención, incrementando la eficiencia general del proceso (Bjorlykhaug & Egeland, 2019; Zhang & Gui, 2023).

Sostenibilidad y Optimización de Recursos

La IA permite la implementación de prácticas de acuicultura de precisión que optimizan el uso de recursos y minimizan el impacto ambiental. Por ejemplo, los algoritmos de reconocimiento de comportamiento alimentario de los peces ajustan la alimentación de manera precisa, reduciendo el desperdicio y promoviendo un uso eficiente de los recursos alimenticios (Fabijanić et al., 2023). Además, el uso de plataformas basadas en sensores IoT y monitoreo remoto permite supervisar las instalaciones a diferentes escalas, detectando y respondiendo a factores ambientales y señales de advertencia de manera oportuna, lo que ayuda a prevenir riesgos ambientales (Chatziantoniou et al., 2023; Caiwei et al., 2023).

Análisis Predictivo para la Planificación y Adaptación al Mercado

La capacidad de análisis predictivo de la IA facilita la planificación a largo plazo y la adaptación a cambios en el mercado y el entorno de producción. Este enfoque integrado permite maximizar la producción y asegurar que los productos cumplan consistentemente con los estándares de calidad. La IA no solo mejora la precisión y sostenibilidad, sino que también permite a la industria de harina de pescado adaptarse a las variaciones del mercado de manera proactiva, una ventaja difícilmente alcanzable con métodos tradicionales (Chang et al., 2021; Farcy et al., 2019).

4. Aportes y discusión

La inteligencia artificial (IA) representa un recurso clave para mejorar el control y monitoreo de la calidad del agua en la acuicultura, logrando una gestión más precisa y sostenible de los parámetros que afectan tanto a los peces como a los productos derivados, como la harina de pescado. Los avances tecnológicos, como sistemas inteligentes y modelos predictivos, permiten un monitoreo constante de variables críticas como el oxígeno disuelto y la temperatura. Estos desarrollos no solo optimizan las condiciones de cultivo, sino que también reducen la incidencia de fluctuaciones que impactan negativamente en la calidad del pescado y su procesamiento. Al integrar redes neuronales, sensores avanzados y herramientas robóticas, se garantiza un entorno acuático estable, minimizando el uso excesivo de recursos y promoviendo una producción más eficiente y respetuosa con el medio ambiente. Estos aportes son esenciales para alcanzar el objetivo de desarrollar sistemas basados en IA que aseguren condiciones óptimas, contribuyendo a una acuicultura sostenible y una mejora tangible en la calidad de la harina de pescado. La inteligencia artificial (IA) emerge como una herramienta clave para optimizar parámetros críticos en el proceso de producción de harina de pescado, mejorando tanto su calidad como la sostenibilidad del proceso. La aplicación de IA permite un control preciso y dinámico de factores esenciales como el índice de conversión alimenticia (FCR), la calidad del agua y los sistemas de alimentación. Estas tecnologías no solo maximizan la eficiencia en el uso de recursos, sino que también garantizan una biomasa uniforme y de alta calidad, esencial para el producto final. Por ejemplo, el aprendizaje automático y los gemelos digitales permiten ajustes en tiempo real, previniendo problemas y asegurando consistencia en la producción. Así, la IA no solo identifica parámetros críticos, sino que también ofrece soluciones prácticas para su mejora, posicionándose como una innovación indispensable en la acuicultura moderna.

La implementación de modelos de inteligencia artificial (IA) en la industria de la harina de pescado representa un avance significativo para predecir y controlar la calidad del producto de forma temprana y precisa. Modelos como los conjuntos *ensemble*, que integran técnicas diversas como redes neuronales y árboles de decisión, permiten analizar múltiples variables y optimizar el control de calidad al identificar anomalías antes de que estas afecten el producto final. Algoritmos específicos como CC-YOLOv5 destacan por su capacidad de detección en tiempo real, crucial para intervenciones rápidas en las etapas de producción. Asimismo, métodos de clasificación espacial y espectral con aprendizaje profundo ofrecen análisis detallados que aseguran la consistencia en la composición de la harina. El uso de sistemas basados en IoT y tecnologías no tripuladas complementan este enfoque al garantizar un monitoreo constante y autónomo, reduciendo la variabilidad del producto. Estos desarrollos alinean el diseño de algoritmos con el objetivo de intervenir de manera temprana, fortaleciendo la eficiencia y sostenibilidad en esta industria.

La implementación de inteligencia artificial (IA) en la producción de harina de pescado presenta ventajas competitivas clave frente a los métodos tradicionales, alineadas con la mejora de la eficiencia y la calidad del producto. En primer lugar, la IA permite una monitorización precisa y en tiempo real de variables críticas del proceso productivo,

optimizando la toma de decisiones y garantizando estándares uniformes de calidad. Además, la capacidad de detectar y controlar contaminantes mediante sistemas autónomos reduce riesgos y costos operativos, incrementando la seguridad en las etapas de producción. Por otro lado, la optimización de recursos a través de prácticas de acuicultura de precisión y el análisis predictivo para responder a las demandas del mercado, posicionan a la IA como una herramienta estratégica. En conjunto, estas ventajas no solo mejoran la productividad y sostenibilidad del sector, sino que permiten a las empresas adaptarse de manera proactiva a las exigencias del mercado, destacándose en un entorno competitivo y dinámico.

5. Conclusiones

De acuerdo con el desarrollo de este trabajo de investigación, se ha evidenciado que los avances y aplicaciones de la inteligencia artificial (IA) en la industria de la harina de pescado; han generado un impacto significativo en la optimización de los factores críticos de calidad, tanto en la acuicultura como en los procesos productivos. En primer lugar, se resalta que la IA se posiciona como una herramienta transformadora al permitir un monitoreo constante y preciso de la calidad del agua. Esto no solo optimiza las condiciones para el cultivo de peces, sino que, además, asegura una mejora notable en la calidad de productos derivados, como la harina de pescado. Asimismo, al abordar de manera eficiente los factores que afectan al ecosistema acuático, la IA contribuye a mitigar los impactos negativos de la producción, fomentando prácticas sostenibles y aumentando la competitividad del sector.

Así mismo, cabe destacar que la inteligencia artificial desempeña un rol fundamental en la optimización de parámetros críticos en la producción de harina de pescado, tales como la conversión alimenticia (FCR), la calidad del agua y la alimentación. A través de la integración de tecnologías avanzadas, como el aprendizaje automático, los gemelos digitales y el monitoreo inteligente, se logra ajustar y controlar de manera precisa y dinámica estos factores. Como consecuencia, se maximiza la eficiencia y se minimizan los desperdicios, lo que no solo asegura una mayor sostenibilidad del proceso, sino que también garantiza una biomasa de alta calidad. De esta forma, la IA contribuye a la producción de harina de pescado con un valor nutricional superior y mayor calidad.

Además, resulta pertinente subrayar que la implementación de modelos de inteligencia artificial, como los algoritmos de detección en tiempo real, los métodos de clasificación espectral y los sistemas basados en el Internet de las Cosas (IoT), ha demostrado ser una solución eficaz para identificar y predecir anomalías en la calidad de la harina de pescado. Estos avances permiten, por un lado, intervenir de manera temprana y precisa en el proceso de producción y, por otro, mejorar la consistencia del producto final, optimizando así el control de calidad. Por consiguiente, estas innovaciones no solo plantean nuevas oportunidades para la sostenibilidad, sino que también fortalecen la competitividad en la industria pesquera.

Por último, se concluye que la incorporación de inteligencia artificial en la producción de harina de pescado representa una transformación profunda que potencia la eficien-

cia operativa, asegura una calidad uniforme del producto y fomenta prácticas sostenibles. A través de la adopción de tecnologías como el aprendizaje automático, IoT y el análisis predictivo, la IA no solo optimiza recursos y minimiza riesgos, sino que también permite responder de manera proactiva a las dinámicas cambiantes del mercado. Por ende, estas ventajas competitivas posicionan a la IA como una herramienta estratégica esencial para enfrentar los desafíos actuales y garantizar la sostenibilidad del sector en un entorno global cada vez más exigente.

6. Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se proponen diversas recomendaciones orientadas a potenciar la competitividad y sostenibilidad de la industria de la harina de pescado, mediante la implementación de inteligencia artificial (IA). Para empezar, se recomienda la integración de soluciones basadas en IA, tales como el aprendizaje automático, los gemelos digitales y el monitoreo inteligente, en los procesos de producción de harina de pescado. Estas tecnologías permitirán optimizar parámetros críticos como la conversión alimenticia (FCR), la calidad del agua y la alimentación. En consecuencia, se mejorará la eficiencia del proceso, se reducirán los desperdicios y se garantizará un producto final de alto valor nutricional y calidad uniforme, lo que fortalecerá la posición competitiva del sector.

Por otro lado, se sugiere implementar sistemas de IA en las operaciones de acuicultura, con el objetivo de monitorear de manera constante y precisa la calidad del agua. Esta estrategia permitirá identificar y corregir oportunamente factores críticos que puedan comprometer el ecosistema y la producción. Como resultado, no solo se optimizarán las condiciones de cultivo, sino que también se mejorará la calidad de productos derivados, como la harina de pescado, al tiempo que se fomentan prácticas sostenibles que aseguren la competitividad del sector a largo plazo. En este contexto, se considera fundamental capacitar al personal en el uso de estas tecnologías, asegurando así un manejo eficiente de los recursos disponibles y un impacto máximo de las soluciones implementadas.

Asimismo, se sugiere incorporar tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial y los sistemas IoT en el proceso de producción, con el propósito de detectar y corregir de manera temprana posibles anomalías. Esto no solo asegurará la producción de harina de pescado de mayor calidad, sino que también contribuirá a mejorar la sostenibilidad de la industria, permitiéndole adaptarse a las demandas crecientes de consumidores y mercados.

Por último, se recomienda integrar herramientas como la inteligencia artificial, el análisis predictivo y los sistemas IoT con un enfoque holístico en los procesos productivos. Esto permitirá optimizar los procesos operativos, reducir riesgos asociados a la producción y aumentar la capacidad de respuesta del sector frente a las exigencias del mercado global. En conjunto, estas medidas no solo facilitarán una gestión más eficiente, sino que también posicionarán a la industria como un referente de innovación y sostenibilidad en un entorno altamente competitivo.

7. Literatura citada

- ABID, M. A., AMJAD, M., MUNIR, K., SIDDIQUE, H. U. R., & JURCUT, A. D. (2024). IoT-BASED SMART BIOFLOC MONITORING SYSTEM FOR FISH FARMING USING MACHINE LEARNING. *IEEE ACCESS*, 12, 86333-86345. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/ACCESS.2024.3384263](https://doi.org/10.1109/access.2024.3384263)
- ARAVANIS, T., HATZILYGEROUDIS, I., & SPILIOPOULOS, G. (2024). ENSEMBLE MODELLING FOR PREDICTING FISH MORTALITY. *APPLIED SCIENCES*, 14(15), 6540. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/APP14156540](https://doi.org/10.3390/app14156540)
- BERNAL-HIGUITA, F., ACOSTA-COLL, M., BALLESTER-MERELO, F., & DE-LA-HOZ-FRANCO, E. (2023). IMPLEMENTATION OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES TO INCREASE SUSTAINABLE PRODUCTIVITY IN FRESHWATER FINFISH AQUACULTURE – A REVIEW. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 408, 137124. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JCLEPRO.2023.137124](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137124)
- BJORLYKHAUG, E., & EGELAND, O. (2019). VISION SYSTEM FOR QUALITY ASSESSMENT OF ROBOTIC CLEANING OF FISH PROCESSING PLANTS USING CNN. *IEEE ACCESS*, 7, 71675-71685. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/ACCESS.2019.2919656](https://doi.org/10.1109/access.2019.2919656)
- CAIWEI YANG, XINTING YANG, KAIJIE ZHU, CHAO ZHOU. FISH FEEDING BEHAVIOR RECOGNITION USING ADAPTIVE DMCA-UMT ALGORITHM. *JOURNAL OF BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY*, (2023), 32(3): 285-297 [HTTPS://DOI.ORG/10.15918/J.JBIT1004-0579.2023.008](https://doi.org/10.15918/j.jbit1004-0579.2023.008)
- CAPETILLO-CONTRERAS, O., PÉREZ-REYNOSO, F. D., ZAMORA-ANTUÑANO, M. A., ÁLVAREZ-ALVARADO, J. M., & RODRÍGUEZ-RESÉNDIZ, J. (2024). ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED AQUACULTURE SYSTEM FOR OPTIMIZING THE QUALITY OF WATER: A SYSTEMATIC ANALYSIS. *JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND ENGINEERING*, 12(1), 161. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/JMSE12010161](https://doi.org/10.3390/jmse12010161)
- CHANG, C., WANG, J., WU, J., HSIEH, Y., WU, T., CHENG, S., CHANG, C., JUANG, J., LIOU, C., HSU, T., HUANG, Y., HUANG, C., LIN, C., PENG, Y., HUANG, R., JHANG, J., LIAO, Y., & LIN, C. (2021). APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) TECHNIQUES TO IMPLEMENT A PRACTICAL SMART CAGE AQUACULTURE MANAGEMENT SYSTEM. *JOURNAL OF MEDICAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING*. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S40846-021-00621-3](https://doi.org/10.1007/s40846-021-00621-3)
- CHATZIANTONIOU, A., PAPANDROULAKIS, N., STAVRAKIDIS-ZACHOU, O., SPONDYLIDIS, S., TASKARIS, S., & TOPOUZELIS, K. (2023). AQUASAFE: A REMOTE SENSING, WEB-BASED PLATFORM FOR THE SUPPORT OF PRECISION FISH FARMING. *APPLIED SCIENCES*, 13(10), 6122. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/APP13106122](https://doi.org/10.3390/app13106122)
- CHEN, J., ZHANG, D., YANG, S., & NANEHKARAN, Y. A. (2020). INTELLIGENT MONITORING METHOD OF WATER QUALITY BASED ON IMAGE PROCESSING AND RVFL-GMDH MODEL. *IET IMAGE PROCESSING*, 14(17), 4646-4656. [HTTPS://DOI.ORG/10.1049/IET-IPR.2020.0254](https://doi.org/10.1049/iet-IPR.2020.0254)

- CHENG, W. K., KHOR, J. C., LIEW, W. Z., BEA, K. T., & CHEN, Y. L. (2024). INTEGRATION OF FEDERATED LEARNING AND EDGE-CLOUD PLATFORM FOR PRECISION AQUACULTURE. *IEEE ACCESS*, 12, 124974-124989. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/ACCESS.2024.3454057](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3454057) 96107. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/ACCESS.2023.3310738](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3310738)
- CHIU, C., LIAO, T., CHEN, C., & KAO, S. (2022). AIOT PRECISION FEEDING MANAGEMENT SYSTEM. *ELECTRONICS*, 11(20), 3358. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/ELECTRONICS11203358](https://doi.org/10.3390/electronics11203358)
- DAVIS, A., WILLS, P. S., GARVEY, J. E., FAIRMAN, W., KARIM, M. A., & OUYANG, B. (2023). DEVELOPING AND FIELD TESTING PATH PLANNING FOR ROBOTIC AQUACULTURE WATER QUALITY MONITORING. *APPLIED SCIENCES*, 13(5), 2805. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/APP13052805](https://doi.org/10.3390/app13052805)
- DE ALBA, M., PÉREZ-ANDRÉS, J. M., HARRISON, S. M., BRUNTON, N. P., BURGESS, C. M., & TIWARI, B. K. (2019). HIGH PRESSURE PROCESSING ON MICROBIAL INACTIVATION, QUALITY PARAMETERS AND NUTRITIONAL QUALITY INDICES OF MACKEREL FILLETS. *INNOVATIVE FOOD SCIENCE & EMERGING TECHNOLOGIES*, 55, 80-87. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.IFSET.2019.05.010](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.05.010)
- DELLOSA, R. M. (2023). BANGUS (CHANOS CHANOS) FARMING: PREPARING FOR SMART FARMING AND PREDICTIVE ANALYSIS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INTELLIGENT SYSTEMS AND APPLICATIONS IN ENGINEERING*, 11(3), 665–672. RETRIEVED FROM [HTTPS://IJISAE.ORG/INDEX.PHP/IJISAE/ARTICLE/VIEW/3272](https://ijisae.org/index.php/ijisae/article/view/3272)
- FABIJANIĆ, M., KAPETANOVIĆ, N., & MIŠKOVIĆ, N. (2023). AUTONOMOUS VISUAL FISH PEN INSPECTIONS FOR ESTIMATING THE STATE OF BIOFOULING BUILDUP USING ROV. *JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND ENGINEERING*, 11(10), 1873. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/JMSE11101873](https://doi.org/10.3390/jmse11101873)
- FARCY, P., DURAND, D., CHARRIA, G., PAINTING, S. J., TAMMINEN, T., COLLINGRIDGE, K., GRÉMARE, A. J., DELAUNEY, L., & PULLAT, I. (2019). TOWARD A EUROPEAN COASTAL OBSERVING NETWORK TO PROVIDE BETTER ANSWERS TO SCIENCE AND TO SOCIETAL CHALLENGES; THE JERICO RESEARCH INFRASTRUCTURE. *FRONTIERS IN MARINE SCIENCE*, 6. [HTTPS://DOI.ORG/10.3389/FMARS.2019.00529](https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00529)
- GAMBIN, A. F., ANGELATS, E., GONZALEZ, J. S., MIOZZO, M., & DINI, P. (2021). SUSTAINABLE MARINE ECOSYSTEMS: DEEP LEARNING FOR WATER QUALITY ASSESSMENT AND FORECASTING. *IEEE ACCESS*, 9, 121344-121365. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/ACCESS.2021.3109216](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3109216)
- HEMAL, M. M., RAHMAN, A., NURJAHAN, N., ISLAM, F., AHMED, S., KAISER, M. S., & AHMED, M. R. (2024). AN INTEGRATED SMART POND WATER QUALITY MONITORING AND FISH FARMING RECOMMENDATION AQUABOT SYSTEM. *SENSORS*, 24(11), 3682. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/S24113682](https://doi.org/10.3390/s24113682)
- LAN, H., UBINA, N. A., CHENG, S., LIN, S., & HUANG, C. (2022). DIGITAL TWIN ARCHITECTURE EVALUATION FOR INTELLIGENT FISH FARM MANAGEMENT USING MODIFIED ANALYTIC HIERARCHY PROCESS. *APPLIED SCIENCES*, 13(1), 141. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/APP13010141](https://doi.org/10.3390/app13010141)

- LEE, S., JEONG, D., CHOI, J., JO, S., PARK, D., & KIM, J. (2024). LSTM MODEL TO PREDICT MISSING DATA OF DISSOLVED OXYGEN IN LAND-BASED AQUACULTURE FARM. *ETRI JOURNAL*. [HTTPS://DOI.ORG/10.4218/ETRIJ.2023-0337](https://doi.org/10.4218/ETRIJ.2023-0337)
- LÓPEZ-BARAJAS, S., SANZ, P. J., MARÍN-PRADES, R., GÓMEZ-ESPINOSA, A., GONZÁLEZ-GARCÍA, J., & ECHAGÜE, J. (2023). INSPECTION OPERATIONS AND HOLE DETECTION IN FISH NET CAGES THROUGH A HYBRID UNDERWATER INTERVENTION SYSTEM USING DEEP LEARNING TECHNIQUES. *JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND ENGINEERING*, 12(1), 80. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/JMSE12010080](https://doi.org/10.3390/JMSE12010080)
- LU, H., CHENG, C., CHENG, S., CHENG, Y., LO, W., JIANG, W., NAN, F., CHANG, S., & UBINA, N. A. (2022). A LOW-COST AI BUOY SYSTEM FOR MONITORING WATER QUALITY AT OFFSHORE AQUACULTURE CAGES. *SENSORS*, 22(11), 4078. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/S22114078](https://doi.org/10.3390/s22114078)
- M., D. ., S., P. ., & JADAGERIMATH , A. N. . (2023). AI-BASED PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA) APPROACH FOR THE DETERMINATION OF KEY WATER QUALITY PARAMETERS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INTELLIGENT SYSTEMS AND APPLICATIONS IN ENGINEERING*, 11(3), 209–218. RETRIEVED FROM [HTTPS://IJISAE.ORG/INDEX.PHP/IJISAE/ARTICLE/VIEW/3161](https://ijisae.org/index.php/ijisae/article/view/3161)
- MAYORMENTE, M. D. (2024). INTELLIGENT RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEM OF *OREOCHROMIS NILOTICUS*: A FEED-CONVERSION-RATIO-BASED MACHINE LEARNING APPROACH. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INTELLIGENT SYSTEMS AND APPLICATIONS IN ENGINEERING*, 12(13s), 122–128. RETRIEVED FROM [HTTPS://IJISAE.ORG/INDEX.PHP/IJISAE/ARTICLE/VIEW/4573](https://ijisae.org/index.php/ijisae/article/view/4573)
- NUANMEESRI, S., POOMHIRAN, L., KADMATEEKARUN, P., & TARASAWATPIPAT, C. (2023). OPTIMIZING PREDICTIVE MODELING FOR WATER QUALITY IN FARMS WITH BLENDED ARTIFICIAL NEURAL NETWORK. *JOURNAL OF SYSTEM AND MANAGEMENT SCIENCES*, 14(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.33168/JSMS.2024.0118](https://doi.org/10.33168/JSMS.2024.0118)
- PEZOA, J. E., RAMÍREZ, D. A., GODOY, C. A., SAAVEDRA, M. F., RESTREPO, S. E., COELHO-CARO, P. A., FLORES, C. A., PÉREZ, F. G., TORRES, S. N., & URBINA, M. A. (2023). A SPATIAL-SPECTRAL CLASSIFICATION METHOD BASED ON DEEP LEARNING FOR CONTROLLING PELAGIC FISH LANDINGS IN CHILE. *SENSORS*, 23(21), 8909. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/S23218909](https://doi.org/10.3390/s23218909)
- SHAGHAGHI, N., FAZLOLLAHI, F., SHRIVASTAV, T., GRAHAM, A., MAYER, J., LIU, B., JIANG, G., GOVINDARAJU, N., GARG, S., DUNIGAN, K., & FERGUSON, P. (2024). DOXY: A DISSOLVED OXYGEN MONITORING SYSTEM. *SENSORS*, 24(10), 3253. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/S24103253](https://doi.org/10.3390/s24103253)
- STEELE, S. R., RANJAN, R., SHARRER, K., TSUKUDA, S., & GOOD, C. (2024). COMPUTER-SIMULATED VIRTUAL IMAGE DATASETS TO TRAIN MACHINE LEARNING MODELS FOR NON-INVASIVE FISH DETECTION IN RECIRCULATING AQUACULTURE. *SENSORS*, 24(17), 5816. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/S24175816](https://doi.org/10.3390/s24175816)
- UBINA, N. A., & CHENG, S. (2022). A REVIEW OF UNMANNED SYSTEM TECHNOLOGIES WITH ITS APPLICATION TO AQUACULTURE FARM MONITORING AND MANAGEMENT. *DRONES*, 6(1), 12. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/DRONES6010012](https://doi.org/10.3390/DRONES6010012)

- WANG, L., CHEN, L., PENG, B., & LIN, Y. (2024). IMPROVED YOLOv5 ALGORITHM FOR REAL-TIME PREDICTION OF FISH YIELD IN ALL CAGE SCHOOLS. *JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND ENGINEERING*, 12(2), 195. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/JMSE12020195](https://doi.org/10.3390/JMSE12020195)
- ZHANG, H., & GUI, F. (2023). THE APPLICATION AND RESEARCH OF NEW DIGITAL TECHNOLOGY IN MARINE AQUACULTURE. *JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND ENGINEERING*, 11(2), 401. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/JMSE11020401](https://doi.org/10.3390/JMSE11020401)
- ZHANG, R., CHEN, T., WANG, Y., & SHORT, M. (2023). SYSTEMS APPROACHES FOR SUSTAINABLE FISHERIES: A COMPREHENSIVE REVIEW AND FUTURE PERSPECTIVES. *SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION*, 41, 242-252. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.SPC.2023.08.013](https://doi.org/10.1016/J.SPC.2023.08.013)

ÍNDICE DE IMÁGENES



De izquierda a derecha

1. <https://www.kevinbriggsphotography.net/https://lavozdeperu.com/peru-en-top-ten-mundial-de-productores-de-cafe-arabica/>
2. <https://www.instagram.com/p/C8yykpGoSVo/?epik=djoyJnU9ZmM-2MHExQ1NVb3RjMFhWbUg3U1RCZIBDeFUyVTRCSTImcDowJm49eX-ZaTUd3YllmaoVGYmUzcGM3RGg1QSZoPUFBQUFBR2dQbEIJ>
3. <https://agraria.pe/noticias/la-naranja-es-el-cultivo-sensacion-en-tacna-32207>
4. <https://larepublica.pe/tag/anchoveta>
5. <https://residuosexpo.com/2025/conferencias/>
6. <https://andina.pe/agencia/noticia-en-region-junin-existe-una-poblacion-mas-88000-alpacas-517221.aspx>

Ciencias e Ingeniería



<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>
Volumen I- N° 1 Abril 2025

Contáctenos en nuestro correo electrónico
cienciaseingenierias@ctscafe.pe

Página Web:
<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>