

**OPORTUNIDADES DE APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA
LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE ALIMENTACIÓN Y CRECIMIENTO
DE LOS PECES EN LAS UNIDADES PISCÍCOLAS DEL DEPARTAMENTO DE
CASANARE**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Administrador de Empresas

Autor
John Alejandro Alfonso Arias

Asesor
Luri Suárez Pineda

Universidad Santo Tomás

2026

**OPORTUNIDADES DE APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA
LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE ALIMENTACIÓN Y CRECIMIENTO
DE LOS PECES EN LAS UNIDADES PISCÍCOLAS DEL DEPARTAMENTO DE
CASANARE**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Administrador de Empresas

Autor
John Alejandro Alfonso Arias

Asesor
Luri Suarez Pineda

Universidad Santo Tomás
Seccional Tunja
2026

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido mi roca y mi apoyo incondicional en este camino. A las personas que más amo, me motivaron y me han inspirado a seguir adelante.

Que todo el tiempo y esfuerzo invertido en este logro sea prospero, me emociona seguir creciendo como persona y como profesional aprendiendo cada día más y rodeado de personas llenas de amor.

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios, por darme la vida y la salud, y por ser mi guía en este camino y

Mi familia, por su apoyo incondicional y motivación constante. A mi padre y mi madre, les agradezco por ser mi ejemplo y por haberme formado como la persona que soy hoy.

A los docentes de la Universidad de Santo Tomás, por su dedicación y compromiso con mi formación profesional. En especial, a mi docente Luri Suárez, por su paciencia, tiempo y apoyo en este proyecto de investigación.

A mis compañeros, por su compañía y apoyo durante todo este proceso. Su amistad y solidaridad han sido fundamentales para mí.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	9
Abstract	10
Introducción.....	11
1 Planteamiento del problema	12
1.1 Formulación del problema.....	16
1.2 Sistematización del problema	16
1.3 Objetivos de la investigación.....	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
2 Antecedentes.....	17
2.1 Antecedentes Internacionales	17
2.2 Antecedentes nacionales	19
3 Justificación	22
4 Marco teórico.....	24
4.1 Teoría de la producción.....	24
4.2 Teoría de la economía	24
4.3 Teoría de la ecología	25
4.4 Espacial	25



4.5 Temporal	26
4.6 Marco Conceptual.....	26
5 Metodología	28
5.1 Tipo de estudio	28
5.2 Método de investigación	28
5.3 Fuentes y técnicas de recolección de la información.....	29
6 Diseño Metodológico	31
6.1 Instrumento 1: Encuesta a piscicultores.....	32
6.2 Preguntas y contextualización	33
6.3 Tratamiento de la información	33
7 Desarrollo	35
7.1 Diagnóstico de los procesos de alimentación y crecimiento de peces en Casanare	36
7.2 Descripción de las estrategias de IA aplicadas en procesos de alimentación xxxxxxxx	38
7.3 Propuesta de estrategias basadas en IA para optimizar procesos de alimentación.....	45
8 Conclusiones y Recomendaciones	53
Referencias	56
Anexos.....	61
8.1 Anexo A. Instrumentos de recolección de la información	61
Anexo B. Instrumento de entrevista semiestructurada a expertos/técnicos	65

Anexo C. Fotografías.....	66
---------------------------	----

Lista de Tablas

Tabla 1. Instrumentos de recolección de información	31
Tabla 2. ¿Cuáles son las principales limitaciones técnicas o productivas en su finca?	37
Tabla 3. Tecnologías que consideran viables, aunque aún no las usen	41
Tabla 4. <i>Tabla comparativa de los procesos globales y nacionales vs Casanare</i>	48
Tabla 5. Datos que los productores consideran clave para IA.....	46
Tabla 6. Necesidades identificadas para las estrategias	48
Tabla 7. <i>Componentes del modelo de acuicultura de precisión basada en CPS</i>	50
Tabla 8. Análisis estadístico del incremento del pesos en tres pesajes con uso de IA.....	51

Lista de Figuras

Figura 1. Producción nacional de la acuicultura 2012-2021	13
Figura 2. Edades de los encuestados / entrevistados (Edad del productor).....	35
Figura 3. Nivel educativo alcanzado de los encuestados / entrevistados.....	36
Figura 4. Estanques y asesoramiento	66
Figura 5. Estanques y zonas de crecimiento.....	67
Figura 6. Procesos de alimentación.....	68
Figura 7. Procesos de alimentación y supervisión.....	69

Resumen

La piscicultura en el departamento de Casanare constituye una actividad productiva con alto potencial económico y social, pero enfrenta limitaciones técnicas que afectan la eficiencia en los procesos de alimentación y crecimiento de los peces. Esta investigación tuvo como objetivo identificar las oportunidades de aplicación de la inteligencia artificial (IA) para optimizar dichos procesos en unidades piscícolas de la región. Desde lo metodológico, el proyecto utilizó enfoque mixto, de tipo aplicado, con alcance exploratorio y descriptivo. Las técnicas de recolección de la información obedecen a la aplicación de encuestas a productores y entrevistas semiestructuradas a técnicos y expertos del sector, con aportación de exploración documental. Los resultados evidenciaron que la mayoría de los productores basa la alimentación en la experiencia empírica y uso de registros productivos de manera manual, lo que limita la toma de decisiones fundamentadas en datos; identificando problemáticas recurrentes relacionadas con la calidad del agua, el desperdicio de alimento, los altos costos de insumos y la falta de precisión en el control del crecimiento. Aunque el conocimiento sobre IA es aún incipiente, los piscicultores manifestaron una percepción positiva sobre su potencial para mejorar la rentabilidad, reducir pérdidas y optimizar la conversión alimenticia. Concluyendo que la IA puede constituirse en una herramienta estratégica para el fortalecimiento de la piscicultura del Casanare, siempre que su implementación esté acompañada de procesos de capacitación, asistencia técnica y articulación institucional, respecto a las estrategias propuestas se orientan al uso de sensores inteligentes, sistemas de alimentación automatizados y modelos predictivos basados en datos productivos, promoviendo una transición hacia procesos de piscicultura con vinculación de IA.

Palabras clave: inteligencia artificial, piscicultura, alimentación de peces, acuicultura de precisión, optimización de procesos piscícolas.

Abstract

Fish farming in the department of Casanare represents a productive activity with high economic and social potential; however, it faces technical limitations that affect the efficiency of fish feeding and growth processes. This research aimed to identify opportunities for the application of artificial intelligence (AI) to optimize these processes in fish farming units in the region. Methodologically, a mixed, descriptive, and propositional approach was developed through the application of surveys to producers and semi-structured interviews with technicians and sector experts. The results showed that most producers rely on empirical experience for feeding management and keep production records manually, which limits data-based decision-making. Recurrent problems were identified related to water quality, feed waste, high input costs, and lack of precision in growth control. Although knowledge about AI is still incipient, fish farmers expressed a positive perception of its potential to improve profitability, reduce losses, and optimize feed conversion. The study concludes that AI can become a strategic tool for strengthening fish farming in Casanare, provided its implementation is accompanied by training processes, technical assistance, and institutional coordination. The proposed strategies focus on the use of intelligent sensors, automated feeding systems, and predictive models based on production data, promoting a transition to fish farming with AI integration.

Keywords: artificial intelligence, fish farming, fish feeding, growth, precision aquaculture, Casanare.

Introducción

La piscicultura se ha consolidado como una de las actividades agropecuarias con mayor proyección de crecimiento en Colombia, especialmente en regiones como el departamento de Casanare, donde las condiciones hídricas y climáticas favorecen la producción de especies de interés comercial. Además de su aporte a la seguridad alimentaria, esta actividad representa una fuente importante de ingresos y empleo rural. Sin embargo, a pesar de su potencial, gran parte de las unidades productivas aún operan bajo esquemas tradicionales que limitan la eficiencia en el manejo de variables clave como la alimentación, la calidad del agua y el control del crecimiento.

Uno de los principales desafíos del sector piscícola radica en la toma de decisiones basada en la experiencia empírica más que en datos técnicos y productivos sistematizados, situación que genera problemas recurrentes como el desperdicio de alimento, el incremento de costos operativos, la variabilidad en las tasas de crecimiento y una menor rentabilidad. La incorporación de nuevas tecnologías emerge como una necesidad estratégica para modernizar los sistemas de producción. La inteligencia artificial (IA) destaca por su capacidad para analizar grandes volúmenes de información, generar modelos predictivos y optimizar procesos en tiempo real, lo que abre nuevas posibilidades para una acuicultura más eficiente y sostenible.

La presente investigación se orienta a analizar las oportunidades de aplicación de la inteligencia artificial en los procesos de alimentación y crecimiento de peces en unidades piscícolas del departamento de Casanare, para comprender la realidad productiva local, identificar brechas tecnológicas y proponer estrategias viables de implementación de herramientas inteligentes. De esta manera, el estudio pretende contribuir al fortalecimiento técnico del sector, promoviendo una transición hacia escenarios de piscicultura como vía para mejorar la productividad, reducir pérdidas y aumentar la competitividad regional.

1 Planteamiento del problema

La selección del tema de investigación se centró en la identificación de técnicas modernas e inteligencia artificial para la optimización en la alimentación para el crecimiento de peces en la piscicultura del Casanare colombiano; elección que responde a la necesidad de mejorar la sostenibilidad en los sistemas de acuicultura de la región, al considerarse factores como la alimentación adecuada, monitoreo del crecimiento y la prevención de pérdidas por manejo ineficiente de las especies. Así mismo, la creciente incorporación de tecnologías avanzadas en el sector agrícola y acuícola, que está enfocado en la automatización de procesos, reducción de costos y brindar las garantías para una producción más controlada y rentable.

Vásquez et al (2022) identifican que la aplicabilidad de este tipo de tecnología en el marco de la piscicultura, donde la inteligencia artificial actúa como herramienta para el análisis de datos de alimentación, comportamiento de los peces y condiciones del entorno acuático, entre otros, escenarios que incluyen algoritmos basados en programas tecnológicos que permiten optimizar la cantidad y frecuencia de alimentación, así como para predecir patrones de crecimiento y detectar posibles desviaciones en la salud de los peces.

Este tipo de tecnologías basadas en la inteligencia artificial, al igual que en otras industrias, se han enfocado en la transformación de modelos productivos en términos de crecimiento y optimización en un marco en el cual se espera que en la acuicultura tenga igual o mejores resultados en términos de alimentación, cuidado y crecimiento de los peces (Mis Peces, 2024). Por tanto, la aplicabilidad de herramientas de IA es coherente con el análisis de grandes volúmenes de información y sobre ellos tomar las decisiones informadas y precisas, siendo vital para un entorno donde los factores de calidad del agua, alimentación, horario de alimentación deben ser monitoreados para asegurar una producción sostenible y rentable.

El aparato productivo nacional se ha volcado a la industria agropecuaria, el cual es uno de los ejes del plan de desarrollo nacional centrado en garantizar el derecho humano a la alimentación, con una meta de gestión denominada producción para la vida, la cual pretende aumentar en 10,38 % la producción en cadenas agrícolas priorizadas para este derecho (Resolución 1452 de 2024). Tal como el plan de desarrollo Nacional, el sector agropecuario es uno de los más importantes capítulos del plan de desarrollo del Departamento de Casanare contenido en la Ordenanza 008-2024 Plan de Desarrollo 2024-2027.pdf, capítulo 3 Plan Extensión Agropecuaria, el cual plantea acciones puntuales para garantizar la industrialización y competitividad del sector en la economía Nacional.

Aunque el departamento del Casanare cuenta con las condiciones necesarias para la producción y comercialización en el marco de la piscicultura, se identifica que este representa tan solo el 3% de la Unidad de Producción Agropecuaria (UPA), situación que dista de otras regiones del País, tal como se expone en la figura 1.

Figura 1.

Producción nacional de la acuicultura 2012-2021



Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021)

Estos resultados expresados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021) revela un crecimiento sostenido de la piscicultura entre 2012 y 2020, periodo en el cual la producción pasó de aproximadamente 80,609 a 174,067 toneladas, evidenciando una tendencia al alza casi ininterrumpida. En cuanto a la composición del mercado en 2020, la Tilapia se consolida como el producto dominante con un 58% de la participación, seguida por la Cachama (19%) y la Trucha (16%), lo que demuestra una especialización productiva clara hacia especies de agua dulce de alto consumo masivo.

Al acentuarlo en el departamento del Casanare se identifica que enfrenta múltiples problemas, y una de ellas es que no se cuenta con la tecnología suficiente ni con la información necesaria de nuevos métodos ya aplicados en otras regiones de Colombia como la de otros países, esto hace que el sector enfrente desafíos significativos en la gestión de la salud de los peces, la calidad del producto final, la oportunidad de generar valor agregado al producto y la posibilidad de generación de aprendizaje y modelos asociativos eficaces, que permitan que la industria reduzca los riesgos inherentes en su gestión, lo que puede llevar a grandes pérdidas económicas y ambientales.

El sector piscícola en Casanare ha mostrado un crecimiento sostenido en los últimos años, sin embargo, su participación en el mercado nacional aún enfrenta retos significativos relacionados con la eficiencia en los procesos de producción, especialmente en la alimentación y el crecimiento de los peces (Vásquez et al., 2022). Es decir, que la competitividad del sector no depende únicamente de la capacidad de producción, sino también de la optimización de recursos, la calidad del producto y la adaptación a las demandas del mercado.

A nivel global la incorporación de las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial, ha permitido transformar los sistemas acuícolas al ofrecer soluciones basadas en la

recopilación y análisis que optimizan la alimentación, predicen patrones de crecimiento y mejoran la productividad. En Colombia, y particularmente en Casanare, la adopción de estas tecnologías puede decirse que es limitada, debido a la falta del conocimiento técnico, deficiencia en infraestructura tecnológica y a la ausencia de transferencia de innovación hacia los pequeños y medianos productores (Rueda et al., 2019). Esta brecha tecnológica impide alcanzar mayores niveles de competitividad y sostenibilidad en el sector piscícola regional.

La aplicación de técnicas modernas e inteligencia artificial representa una oportunidad estratégica para mejorar la eficiencia de los procesos productivos; puesto que, estas herramientas permiten analizar grandes volúmenes de datos sobre alimentación, crecimiento y condiciones ambientales, facilitando la toma de decisiones basada en evidencia y la implementación de prácticas más precisas y sostenibles lo cual contribuye con la competitividad del sector a corto, mediano y largo plazo. No obstante, aún se desconoce en qué medida estas innovaciones pueden impactar las condiciones del sector y cuáles son las áreas prioritarias donde su aplicación generaría mayores beneficios.

Conforme a lo expuesto anteriormente surge la necesidad de investigar las condiciones y fuentes de mejoramiento en la alimentación que fortalece el crecimiento de los peces en Casanare, determinando cómo la implementación de técnicas modernas e inteligencia artificial puede optimizar la alimentación y el crecimiento de los peces, incrementando la eficiencia productiva y la capacidad de participación en el mercado nacional, análisis que permitirá la identificación de las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, ofreciendo información clave para diseñar propuestas basadas en innovación tecnológica que potencien las capacidades del sector y promuevan su desarrollo sostenible.

1.1 Formulación del problema

¿Cuáles son las oportunidades para la aplicación de la inteligencia artificial en la optimización de los procesos de alimentación y crecimiento de los peces en las unidades piscícolas del departamento de Casanare?

1.2 Sistematización del problema

- ¿Cuál es el estado actual de los procesos de alimentación y crecimiento de los peces en el sector piscícola del departamento de Casanare?
- ¿Qué estrategias y aplicaciones de inteligencia artificial se han implementado a nivel nacional e internacional para mejorar los procesos de alimentación en la piscicultura?
- ¿Qué estrategias basadas en inteligencia artificial pueden proponerse para optimizar la alimentación y el crecimiento de los peces en la piscicultura del Casanare?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Identificar las oportunidades de aplicación de la inteligencia artificial, para optimizar los procesos de alimentación y crecimiento de los peces en las unidades piscícolas del departamento del Casanare.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual de los procesos de alimentación y crecimiento de los peces en las unidades piscícolas del departamento de Casanare.
- Describir las estrategias de inteligencia artificial aplicadas en los procesos de alimentación dentro del sector piscícola, tanto a nivel nacional como internacional.
- Proponer estrategias basadas en inteligencia artificial, orientadas a la optimización de los procesos de alimentación y crecimiento de los peces, en el departamento de Casanare.

2 Antecedentes

2.1 Antecedentes Internacionales

Vélez (2024) realizó una tesis doctoral relacionada con la optimización del crecimiento de peces carnívoros alimentados con piensos con alta sustitución de harina de pescado se centra en los desafíos nutricionales derivados del uso de fuentes alternativas de proteína en la alimentación de especies acuícolas carnívoras, con el objetivo de evaluar el efecto de piensos formulados con altos niveles de sustitución de harina de pescado sobre el crecimiento y eficiencia productiva de los peces. La investigación propone medir la relación entre diferentes formulaciones de alimento y parámetros de crecimiento como tasa de crecimiento específico, conversión alimenticia, condición corporal y supervivencia, con un enfoque experimental basado en ensayos alimenticios controlados.

La metodología usada corresponde con diseño experimental en el que se distribuyen grupos de peces carnívoros en diferentes dietas con niveles crecientes de sustitución de harina de pescado por ingredientes alternativos manteniendo las condiciones homogéneas de los cultivos; y a través de mediciones periódicas de peso, talla y consumo de alimento, se calcula y compara el crecimiento relativo y los índices de conversión entre tratamientos. Dentro de los resultados se evidencian que ciertas formulaciones con sustitución moderada pueden mantener un crecimiento satisfactorio y una conversión alimenticia competitiva, mientras que sustituciones más altas sin balance de nutrientes afectan negativamente el rendimiento. Concluyendo que la formulación óptima de piensos con sustitución de harina de pescado puede mejorar la viabilidad económica del cultivo de peces carnívoros, y se sugiere que el uso de tecnología y análisis de datos incluyendo potencialmente inteligencia artificial (Vélez, 2024).

El artículo desarrollado por Vasquez et al (2022) titulado Inteligencia artificial en

acuicultura: fundamentos, aplicaciones y perspectivas futuras, corresponde con una revisión científica que sintetiza dos décadas de avances en la integración de tecnologías de inteligencia artificial (IA), aprendizaje automático y aprendizaje profundo al sector acuícola. Este estudio parte del reconocimiento de que la acuicultura enfrenta desafíos persistentes en el manejo de variables productivas, calidad del agua, diagnóstico de enfermedades y gestión ambiental, los cuales han sido tradicionalmente difíciles de resolver con métodos convencionales, al exponer aquellos fundamentos teóricos de la IA, así como las características de los modelos, algoritmos y sistemas utilizados para abordar estos retos tecnológicos y productivos.

La metodología corresponde a una revisión sistemática de literatura desarrollada durante los últimos 20 años, analizando técnicas, herramientas y dispositivos que emplean IA para facilitar la toma de decisiones en acuicultura de manera más rápida y precisa. Los resultados destacados se identifica una documentación en el uso de IA para la optimización de variables de crecimiento y biomasa, la predicción de parámetros de calidad del agua, el diagnóstico de enfermedades y otros aspectos críticos para la producción, resaltando también áreas de investigación futura como la optimización de la alimentación para reducir costos de producción. El estudio concluye que es recomendable ampliar los estudios en aplicaciones de IA que incrementen la eficiencia operativa, así como explorar nuevos enfoques orientados a incrementar la sostenibilidad y competitividad del sector (Vásquez et al., 2022).

Por su parte Rico (2022) desarrolló una investigación en el marco del uso y visión de la IA para el uso de tecnologías avanzadas para la identificación, localización y seguimiento de peces en ambientes acuáticos, un desafío central para la automatización del monitoreo piscícola; cuya aplicabilidad parte de una necesidad para superar las limitaciones de los métodos tradicionales de observación que son manuales, costosos y sujetan la toma de decisiones,

sugiriendo la implementación de sensores láser, cámaras de visión artificial y algoritmos de aprendizaje automático capaces de procesar y analizar datos visuales en tiempo real.

La metodología propuesta combina sistemas de adquisición de datos mediante láser y cámaras de alta resolución con algoritmos de visión artificial y redes neuronales entrenadas para reconocer y seguir peces en diferentes condiciones de iluminación y movimiento. Su desarrollo incluye fases de recolección de datos, preprocesamiento de imágenes, entrenamiento de modelos de inteligencia artificial y validación experimental en un entorno controlado. Concluyendo que la combinación de visión artificial y aprendizaje automático ofrece una oportunidad tecnológica significativa para optimizar procesos de monitoreo en acuicultura, generando información que puede retroalimentar sistemas inteligentes de alimentación y manejo del crecimiento (Rico, 2022).

2.2 Antecedentes nacionales

Sáenz (2025) desarrolló un estudio titulado Prototipo de automatismo para la dosificación de pellets en cultivo de Tilapia Roja (*Oreochromis sp.*) se enfoca en el diseño e implementación de un sistema automatizado para mejorar la precisión en la entrega de alimento en sistemas piscícolas; cuya problemática parte de una alimentación manual, la cual suele generar sobrealimentación, desperdicio de concentrado y variaciones en el crecimiento de los peces. La metodología incluyó el diseño mecánico y electrónico del dosificador, pruebas de calibración del sistema, y ensayos en un entorno productivo para analizar su funcionamiento en condiciones reales de cultivo de tilapia roja.

Los resultados evidenciaron que la automatización permitió mayor uniformidad en la distribución del alimento, reducción del desperdicio y mejor control del consumo, lo que se traduce en un manejo más eficiente del proceso productivo, resaltando que los sistemas

automáticos de alimentación constituyen una base tecnológica clave para la modernización de la piscicultura, especialmente cuando se integran con sensores y sistemas de monitoreo, lo cual induce a que se fomenten niveles de tecnificación en la alimentación piscícola, sobre el cual puede incorporarse inteligencia artificial para avanzar hacia sistemas predictivos capaces de ajustar las raciones según el comportamiento, crecimiento y condiciones ambientales de los peces (Sáenz, 2025).

El estudio desarrollado por Guevara et al (2022) aborda el crecimiento acelerado de la acuicultura a nivel mundial y la necesidad de incorporar tecnologías innovadoras que optimicen los procesos productivos y reduzcan costos operativos, especialmente en sistemas de cultivo intensivo y extensivo. El objetivo principal está asociado con describir y analizar diversas tecnologías emergentes que incluyen inteligencia artificial, sensores, algoritmos de modelado de datos, vehículos no tripulados; así como sistemas de monitoreo automatizado que han sido implementadas para mejorar la precisión en la medición de variables ambientales, el bienestar animal y la eficiencia operativa en el sector acuícola.

La metodología del estudio estuvo enfocada en una revisión de literatura científica y técnica sobre tecnologías aplicadas a la acuicultura, enfocándose en herramientas como sensores, inteligencia artificial para monitoreo en tiempo real, tecnologías de comunicación entre nodos de sensores y dispositivos remotos para recopilación de datos ambientales y productivos. Dentro de los resultados más destacados se reconoce que estas tecnologías permiten una mayor visibilidad de lo que ocurre en ambientes subacuáticos, mejoran el control de parámetros críticos que incluye parámetros como temperatura, oxígeno y comportamiento alimentario. Concluyendo que la integración de inteligencia artificial y sensores inteligentes es clave para lograr una acuicultura más eficiente y sostenible; puesto que, la automatización y el análisis inteligente de datos son

oportunidades clave para optimizar los procesos de alimentación y crecimiento de peces (Guevara et al., 2022).

Arcila (2021) desarrolló un estudio en el marco del diseño y construcción de un sistema de alimentación automático que se suscribe en un contexto de la acuicultura rural, donde la alimentación de los peces aún se realiza de forma manual, con frecuencia de 6 a 8 raciones diarias y variabilidad en los tiempos de suministro, lo cual afecta negativamente el crecimiento y el rendimiento productivo de los cultivos. El objetivo central corresponde con diseñar y construir un sistema automatizado de dosificación y suministro de alimento para peces que funcione con energía solar fotovoltaica, con la finalidad de mejorar la consistencia en los tiempos de alimentación, reducir la carga laboral y optimizar el proceso productivo en la granja piscícola de la Asociación Propaz en Mesetas en el departamento del Meta.

Para el logro de los objetivos emplea una metodología de diseño e ingeniería aplicada, incluyendo un escenario de desarrollo de un prototipo que implicó superar las limitaciones del sistema manual al garantizar tiempos regulares de suministro y liberar mano de obra, facilitando un proceso productivo más homogéneo; concluyendo que los escenarios de automatización basada en energías alternativas constituye una alternativa viable para mejorar la eficiencia de la alimentación en cultivos acuícolas rurales y reducir variaciones en el crecimiento de los peces, evidenciando una importancia de elementos tecnológicos basados en IA que pueden ser potenciados para una optimización aún mayor de la alimentación y crecimiento de peces (Arcila, 2021).

3 Justificación

Los procesos de piscicultura representan una de las principales actividades económicas emergentes tanto en Colombia como en el departamento del Casanare, contribuyendo al desarrollo rural, la seguridad alimentaria y la generación de empleo, viéndose reflejado en que para 2025 las exportaciones pesqueras aumentaron en un 52% durante el primer semestre de 2025, pasando de 19 millones de kilos a primer semestre de 2024 a casi 30 millones en el mismo periodo de 2025, gracias al impulso de nuevas especies y a la vinculación de nuevos procesos productivos y de innovaciones que están alineadas con la inteligencia artificial (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, 2025).

Sin embargo, el sector enfrenta limitaciones en la gestión de los procesos de alimentación y crecimiento de los peces, debido a la falta de tecnologías avanzadas que permitan optimizar los recursos, mejorar los índices de conversión alimenticia y reducir los costos de producción; en este contexto, surge la necesidad de incorporar herramientas tecnológicas que faciliten la toma de decisiones basadas en datos y promuevan una producción más eficiente y sostenible. Estrella et al (2023) argumentan que la IA se consolida como una de las tecnologías más prometedoras para transformar los sistemas de producción acuícola, debido a que su aplicabilidad permite analizar grandes volúmenes de datos que provienen del monitoreo y comportamiento de los peces, las condiciones del agua y de patrones de alimentación, cuyo propósito es la de ajustar las raciones y tiempos de suministro.

Por tanto, el desarrollo del presente estudio se justifica en la necesidad de analizar la aplicabilidad de la IA como estrategia innovadora para la optimización de procesos de alimentación y crecimiento en la piscicultura en el departamento del Casanare; partiendo de la relevancia tecnológica, de lo social y lo económico, al promover escenarios de modernización en

el sector, mejora del control en la alimentación y seguimiento en el crecimiento de los peces que de manera directa impacta la competitividad regional y contribuye con el desarrollo sostenible de la acuicultura, gestando escenarios de innovación tecnológica con las prácticas tradicionales de la piscicultura local.

4 Marco teórico

4.1 Teoría de la producción

La teoría de la producción constituye un fundamento clave para comprender los procesos piscícolas en el departamento de Casanare, dado que permite analizar cómo los diferentes factores productivos inciden en el rendimiento de los cultivos de peces. Desde esta perspectiva, variables como la alimentación balanceada, la calidad del agua y la genética de las especies determinan directamente la productividad y, por ende, la rentabilidad de la actividad acuícola (Restrepo, 2021). En el caso del Casanare, la aplicación de esta teoría resulta indispensable, ya que en la región aún predominan prácticas tradicionales que limitan la eficiencia del sector. De acuerdo con CORPOICA (2015), la incorporación de tecnologías modernas en nutrición, el monitoreo constante de parámetros fisicoquímicos del agua y la selección genética de especies más resistentes representan elementos estratégicos para maximizar la producción; así, bajo el marco de la teoría de la producción, la piscicultura casanareña puede orientarse hacia una gestión más eficiente de los recursos, logrando mayores volúmenes de cosecha y mejorando los márgenes de rentabilidad.

4.2 Teoría de la economía

La piscicultura en el Casanare también puede analizarse desde la teoría de la economía, particularmente en lo relacionado con la dinámica de la oferta y la demanda. El cultivo de peces constituye una actividad con potencial de crecimiento, en la medida en que la demanda de proteína animal en el país aumenta y los consumidores buscan alternativas más sostenibles frente a la ganadería y otros sectores tradicionales (Mora, 2006). Según cifras del DANE citadas por la Autoridad Nacional de Agricultura y Pesca (2024) la acuicultura en Colombia ha mostrado una tendencia creciente, especialmente en regiones con ventajas naturales como el Casanare; en este

sentido, la teoría económica permite examinar la rentabilidad del negocio piscícola, considerando factores como los costos de producción, el acceso a mercados, la fijación de precios y el comportamiento de los consumidores.

4.3 Teoría de la ecología

El desarrollo de la piscicultura en el Casanare no puede desligarse de los principios de la teoría de la ecología, dado que la producción de peces está estrechamente vinculada con los ecosistemas acuáticos y terrestres de la región. Según lo expone Garcilazo (2011) la ecología estudia las interacciones entre los organismos y su entorno, lo que implica comprender cómo las prácticas piscícolas inciden sobre la calidad del agua, la biodiversidad y la sostenibilidad ambiental. En contextos donde no se aplican buenas prácticas, la acuicultura puede generar externalidades negativas, tales como la contaminación de fuentes hídricas, la eutrofización o la afectación de especies nativas.

Por ello, bajo la perspectiva ecológica, es fundamental que la piscicultura en Casanare se desarrolle mediante sistemas de producción sostenibles que integren tecnologías limpias, programas de monitoreo ambiental y estrategias de mitigación de impactos. Solo así será posible equilibrar el crecimiento productivo con la conservación de los recursos naturales que sustentan la actividad (Garcilazo, 2011).

4.4 Espacial

Ubicación geográfica: Casanare es un departamento ubicado en la región de los llanos orientales de Colombia (IGAC;2020). Características del entorno se determina que en Casanare es diverso, con diferentes climas, suelos y ecosistemas lo que permite la producción de las cachamas y diferentes especies ya que se adaptan a un clima tan tropical y bueno como lo es Casanare contando con un clima y ph del agua óptimo. (IDEAM,2020)

Infraestructura: en Casanare contamos con diferentes infraestructuras para la producción de peces, como los estanques, piscinas, lagos. (Gobernación de Casanare, 2020).

4.5 Temporal

Cronología de la piscicultura en Casanare: la piscicultura en Casanare tiene una larga historia, que se remonta a la época precolombina, y ha evolucionado a lo largo del tiempo con la introducción de nuevas tecnologías y especies de peces esto nos ayuda a aumentar la capacidad y efectividad de los avances económicos de la piscicultura en Casanare aumentando nuestro conocimiento y así teniendo una rentabilidad mayor durante los años. (Gobernación de Casanare, 2020).

4.6 Marco Conceptual

Inteligencia artificial:

La inteligencia artificial es una rama informática que se encarga de crear sistemas capaces de realizar tareas que normalmente se les complica a los humanos dado a que requiere de la inteligencia humana, como aprendizaje y razonamiento en toma de decisiones. Según IBM (s.f.), la IA combina algoritmos, datos y capacidad de cómputo para imitar procesos cognitivos humanos y mejorar con la experiencia. Además, de acuerdo con Stanford University (s.f.), la IA incluye áreas como el aprendizaje automático y el procesamiento del lenguaje natural.

Piscicultura:

Renglón de la economía agro industrial dedicada a la cría y cultivo de peces en ambientes controlados, orientada a garantizar cultivo de carnes blancas y su comercialización. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, s.f.), la

piscicultura forma parte de la acuicultura y contribuye significativamente a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico en muchas regiones del mundo.

Alimentación de peces:

la alimentación de peces es un proceso el cual los peces obtienen y consumen nutrientes que son esenciales para su crecimiento, mantenimiento y reproducción. Según la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), una dieta balanceada en proteínas, lípidos, vitaminas y minerales es fundamental para garantizar la salud y el rendimiento productivo de los peces.

Acuicultura de precisión:

Enfoque agro tecnológico que permite el uso de datos dispuestos por herramientas digitales, para el monitoreo y control de las variables de los cultivos en tiempo real, reduciendo los riesgos de producción. Según la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), la integración de herramientas digitales permite mejorar la eficiencia productiva y reducir el impacto ambiental.

Optimización de procesos piscícolas:

Es el estudio y mejoramiento continuo de los procesos que permiten garantizar y mantener productos de calidad, resultantes del cultivo de peces, gestionando inteligentemente los recursos bióticos, tecnológicos y financieros, reduciendo la variabilidad, las pérdidas y fortaleciendo la rentabilidad del proceso al tiempo que el bienestar de los peces. Según la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), la mejora en alimentación, manejo sanitario y control de calidad del agua permite incrementar el rendimiento y reducir pérdidas.

5 Metodología

La presente investigación adoptó un enfoque metodológico orientado a la caracterización y análisis de las condiciones del sector piscícola en el departamento de Casanare, considerando la influencia de los factores productivos, tecnológicos y de mercado. El estudio contempló la recopilación y análisis de información sobre las técnicas modernas aplicadas en los procesos de alimentación y crecimiento de peces, así como la evaluación del potencial de la inteligencia artificial como herramienta complementaria para optimizar dichos procesos, con base en los resultados, se propondrán estrategias orientadas a fortalecer la eficiencia del sector piscícola casanareño en el mercado nacional.

5.1 Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo aplicado con enfoque descriptivo y analítico. Es aplicado porque busca generar propuestas prácticas que contribuyan a mejorar la gestión en la alimentación de los peces que impactan el crecimiento de estos mediante la incorporación de innovaciones tecnológicas y técnicas modernas basadas en IA. Es descriptivo porque pretende caracterizar las condiciones actuales de la piscicultura en Casanare, identificando factores productivos, económicos y tecnológicos; y es analítico porque busca interpretar la relación entre dichas condiciones y la posible adopción de herramientas de inteligencia artificial como apoyo a la toma de decisiones y a la optimización de los procesos de alimentación y crecimiento de los peces (Guevara et al., 2020).

5.2 Método de investigación

El método de investigación adoptado en este estudio es de carácter mixto, ya que combina enfoques cualitativos y cuantitativos para lograr una comprensión más amplia y profunda del objeto de análisis. El uso del enfoque mixto se justifica en la necesidad de contar,

por un lado, con información estadística que permita dimensionar el estado actual de la piscicultura en Casanare y, por otro, con la visión cualitativa de expertos y actores locales que aporten interpretaciones, experiencias y perspectivas sobre la aplicabilidad de técnicas modernas e inteligencia artificial en este sector.

En el componente cuantitativo, el estudio busca recolectar datos estructurados y medibles a través de encuestas aplicadas a piscicultores de la región. Dichos instrumentos estarán diseñados para identificar las condiciones técnicas, productivas y ambientales de los sistemas de cultivo, así como el nivel de conocimiento y aceptación hacia nuevas tecnologías; en lo que respecta al tratamiento de esta información se realizará mediante estadísticas descriptivas, lo que permitirá establecer patrones y tendencias relevantes para el análisis.

El componente cualitativo, por su parte, se desarrollará a través de entrevistas semiestructuradas aplicadas a expertos en acuicultura, ingenieros, técnicos del sector y representantes de asociaciones piscícolas. Este enfoque busca comprender las percepciones, las barreras y las oportunidades que los actores identifican respecto a la implementación de técnicas modernas y soluciones basadas en inteligencia artificial, procedimiento que permite obtener información detallada y contextualizada, aportando profundidad al estudio.

5.3 Fuentes y técnicas de recolección de la información

Las fuentes de información empleadas en la investigación se clasifican en primarias y secundarias. Las fuentes primarias estarán representadas por los piscicultores del departamento del Casanare, quienes mediante la aplicación de encuestas proporcionarán datos relacionados con sus prácticas productivas, el uso de tecnologías, la gestión ambiental y la disposición hacia la implementación de herramientas modernas e inteligencia artificial.

Así mismo, se considerarán como fuentes primarias a los expertos, técnicos en

acuicultura y representantes de asociaciones piscícolas, a quienes se les aplicarán entrevistas semiestructuradas con el fin de recoger información más detallada y contextualizada sobre las posibilidades y limitaciones de la adopción tecnológica en el sector.

En lo referente a las fuentes secundarias, se tendrán en cuenta informes institucionales, bases de datos estadísticas oficiales, artículos científicos, documentos técnicos y experiencias nacionales e internacionales en piscicultura y tecnologías emergentes, los cuales permitirán complementar y contrastar la información obtenida en campo.

Respecto a las técnicas de recolección de la información, se utilizarán principalmente las encuestas estructuradas como herramienta cuantitativa para obtener datos verificables y comparables entre los piscicultores de la región, mientras que las entrevistas semiestructuradas servirán como técnica cualitativa para profundizar en percepciones, conocimientos y experiencias de actores clave del sector. Finalmente, la revisión documental será un apoyo fundamental para establecer el marco teórico y contextualizar los hallazgos, asegurando así un proceso de recolección de información integral, riguroso y coherente con los objetivos del estudio.

6 Diseño Metodológico

En la tabla 1 se exponen los instrumentos para la recolección y gestión de la información

Tabla 1.

Instrumentos de recolección de información

Objetivo	Tipo de información requerida	Instrumento de recolección de información	Justificación del instrumento
Diagnosticar el estado actual de los procesos de alimentación y crecimiento de los peces en las unidades piscícolas del departamento de Casanare.	Información primaria de tipo cualitativa y cuantitativa sobre prácticas actuales, recursos tecnológicos, costos, productividad y percepción de los productores.	Encuesta estructurada y entrevista semiestructurada	La encuesta permite recopilar datos numéricos sobre frecuencia de alimentación, tipos de alimento, rendimiento y uso de tecnologías; además, profundiza en las experiencias, limitaciones y conocimientos de los piscicultores locales.
Describir las estrategias de inteligencia artificial aplicadas en los procesos de alimentación dentro del sector piscícola, tanto a nivel nacional como internacional.	Información secundaria de tipo documental sobre experiencias, proyectos, artículos científicos y casos de éxito en el uso de IA en piscicultura.	Revisión documental y análisis bibliográfico sistemático.	La revisión documental permite identificar modelos tecnológicos, algoritmos y estrategias de IA implementadas en diferentes contextos, proporcionando un marco comparativo y referencial para el estudio.

Proponer estrategias

basadas en

inteligencia artificial

orientadas a la

optimización de los

procesos de

alimentación y

crecimiento de los

peces en el

departamento de

Casanare.

Información analítica e

interpretativa

resultante del

diagnóstico y revisión

documental,

complementada con

validación experta.

Taller de validación

o grupo focal con

expertos del sector

piscícola y

tecnológico.

El grupo focal o taller

participativo facilita

contrastar los hallazgos

con actores clave

(productores, ingenieros

en sistemas, zootecnistas /

veterinarios),

fortaleciendo la

pertinencia y viabilidad de

las estrategias propuestas.

Nota: para cada objetivo se presentan los instrumentos de recolección de información

6.1 Instrumento 1: Encuesta a piscicultores

Tipo de instrumento: Cuestionario estructurado

Población objetivo: Productores piscícolas, administradores o técnicos de unidades de cultivo de peces en el departamento de Casanare, particularmente, en Monserrate y Sabanalarga.

Objetivo: Identificar las oportunidades, el nivel de conocimiento, la disposición y las barreras para la aplicación de la inteligencia artificial en la optimización de los procesos de alimentación y crecimiento de los peces en las unidades piscícolas del departamento de Casanare.

Tipo de preguntas: El cuestionario está compuesto por preguntas cerradas, de opción múltiple y preguntas con escala tipo Likert, utilizadas de acuerdo con el objetivo de cada sección, de la siguiente manera:

- Preguntas cerradas y de opción múltiple: orientadas a caracterizar al productor y diagnosticar los procesos actuales de alimentación, crecimiento y uso de tecnologías en las unidades piscícolas.

- Preguntas con escala tipo Likert (1 a 5): orientadas a medir percepciones, nivel de acuerdo y disposición frente a la aplicación de la inteligencia artificial en la piscicultura.

Escala de valoración tipo Likert:

1 = Muy en desacuerdo

2 = En desacuerdo

3 = Indiferente

4 = De acuerdo

5 = Muy de acuerdo

Escala de conocimiento y aplicabilidad (cuando aplique):

- 1 = Total desconocimiento y no aplicabilidad (no conoce la técnica y no la aplica).
- 2 = Conocimiento y aplicabilidad (conoce la técnica y aplica alguna de estas en su unidad productiva).

6.2 Preguntas y contextualización

A partir de las visitas y el intercambio directo con los piscicultores, decidimos integrar preguntas específicas en la encuesta que capturan la realidad del día a día en el sector. No se trata de métricas aisladas, sino de indagar en lo que realmente les quita el sueño: desde las tasas de crecimiento y las alertas sanitarias, hasta las pérdidas económicas y los procesos donde la inteligencia artificial podría marcar una diferencia real. Al final, estas preguntas nacen de sus propias preocupaciones, asegurando que la información que recolectemos no sea solo teórica, sino que esté conectada con los desafíos actuales de la mojarra roja.

6.3 Tratamiento de la información

El tratamiento de la información se llevará a cabo en dos fases, correspondientes al componente cuantitativo y cualitativo, con el fin de garantizar un análisis integral de los

resultados.

En el componente cuantitativo, derivado de las encuestas aplicadas a piscicultores, se realizará en primera instancia un proceso de depuración y codificación de los datos, asegurando la consistencia y validez de la información recolectada. Posteriormente, los datos se ingresarán en matrices de Excel para llevar a cabo análisis descriptivos como lo son las frecuencias, porcentajes, entre otros; así como la construcción de gráficos que permitan visualizar tendencias. Estos resultados facilitarán la caracterización del estado actual de la piscicultura y el nivel de conocimiento y disposición hacia la implementación de técnicas modernas e inteligencia artificial.

Para el componente cualitativo, proveniente de las entrevistas semiestructuradas con expertos y técnicos, se realizará un proceso de transcripción resumida de las respuestas y su posterior codificación temática, identificando categorías y subcategorías de análisis relacionadas con el estado de la piscicultura, las barreras de adopción tecnológica y las oportunidades para la aplicación de inteligencia artificial. Para este análisis se empleará el método de análisis de contenido, siguiendo criterios de categorización, recurrencia y saturación de la información.

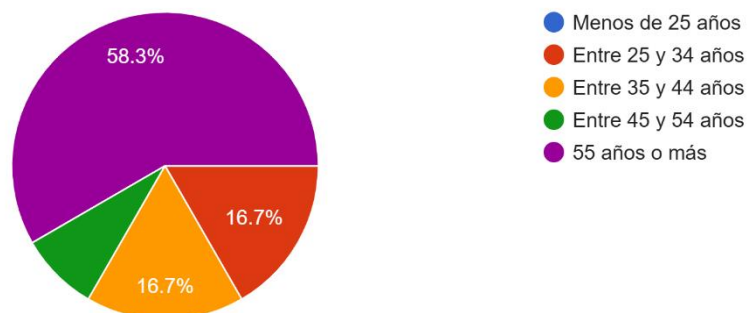
7 Desarrollo

En un primer acercamiento se identifica que los resultados nacen de la aplicación de encuestas y entrevistas a personas que tienen relacionamiento directo con la acuicultura en el marco de las oportunidades de aplicación de la inteligencia artificial para la optimización de los procesos de alimentación y crecimiento de los peces. Instrumentos que se aplicaron a un total de 20 personas que al momento de identificarlos 12 personas encuestadas y 8 personas entrevistadas.

En un primer acercamiento en el marco del perfil demográfico de los productores encuestados revela una clara predominancia de población adulta mayor, donde el 58.3% tiene 55 años o más. Esta cifra sugiere una consolidación de la experiencia en el sector, pero también plantea un desafío generacional, dado que solo el 16.7% se encuentra en el rango de 25 a 34 años y un porcentaje idéntico entre 35 y 44 años, mientras que no se registra participación de menores de 25 años. Resultados que se exponen en la figura 2.

Figura 2.

Edades de los encuestados / entrevistados (Edad del productor)



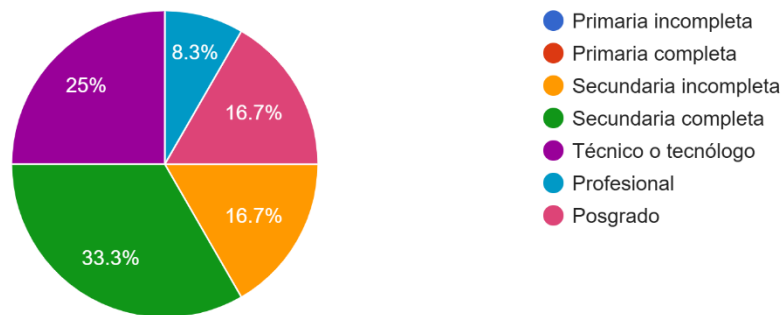
Fuente: Elaboración Propia (2026)

Otro dato recolectado corresponde con la formación educativa de los encuestados / entrevistados, identificando una diversidad técnica significativa, donde el 33.3% cuenta con

secundaria completa y un 25% posee formación de nivel técnico o tecnólogo. Asimismo, destaca que un 25% del grupo tiene estudios de nivel profesional (8.3%) o posgrado (16.7%), lo que indica la existencia de una base con alta capacidad analítica para la adopción de innovaciones complejas. Sin embargo, el 16.7% con secundaria incompleta representa un segmento que requerirá estrategias de transferencia tecnológica más visuales y prácticas (ver figura 3).

Figura 3.

Nivel educativo alcanzado de los encuestados / entrevistados



Fuente: Elaboración Propia (2026)

7.1 Diagnóstico de los procesos de alimentación y crecimiento de peces en Casanare

Este capítulo responde al cumplimiento del objetivo específico 1 en el marco de diagnosticar el estado actual de los procesos de alimentación y crecimiento de los peces en las unidades piscícolas del departamento de Casanare. Por tanto, las respuestas obtenidas de los productores piscícolas evidencian que los procesos de alimentación y crecimiento en el departamento de Casanare se desarrollan, en su mayoría, bajo esquemas tradicionales con un bajo nivel de tecnificación.

Una de las principales limitaciones identificadas es el déficit de conocimiento técnico, especialmente en lo relacionado con la medición e interpretación de parámetros fisicoquímicos del agua, lo cual incide directamente en el crecimiento de los peces y en los índices de

mortalidad. Productores como los de Finca San Roque y El Jazmín resaltan que la falta de experiencia al inicio de la actividad piscícola genera pérdidas productivas y decisiones inadecuadas en la dosificación del alimento.

Se identificaron dificultades asociadas al control de la alimentación, donde muchos piscicultores dependen de la experiencia empírica y no de datos objetivos sobre biomasa, tasa de crecimiento o conversión alimenticia, que está complementado con los problemas estructurales como el limitado acceso a capacitación especializada, señalado por varias unidades productivas, así como restricciones económicas que dificultan la incorporación de tecnologías. En conjunto, estos hallazgos muestran una piscicultura con potencial productivo, pero con brechas significativas en tecnificación, monitoreo y gestión de información, lo que justifica la necesidad de soluciones basadas en inteligencia artificial. En la tabla 2 se presentan los problemas, limitaciones y condiciones actuales.

Tabla 2.

¿Cuáles son las principales limitaciones técnicas o productivas en su finca?

Unidad productiva	Aportes al diagnóstico (situación actual)
El Paradero	Dificultades en alimentación, enfermedades y tratamiento de aguas.
(Sin nombre)	Necesidad de mejorar manejo de residuos y calidad de agua.
AGUAVIVA SAS	Problemas en toma de parámetros y necesidad de automatizar alimentación.
El Jazmín	Falta de experiencia técnica al iniciar → pérdidas productivas.
Finca San Roque	Desconocimiento de parámetros fisicoquímicos del agua.
El Chivor	Limitaciones económicas y falta de conocimiento técnico.
Piedemonte	Rezago tecnológico frente a potencias acuícolas.
Villa Alejandra	Muy poca capacitación técnica disponible.

Nota: se exponen los resultados en el marco de las limitaciones técnicas detectadas

El diagnóstico evidencia que la mayoría de las unidades piscícolas del Casanare continúan operando con métodos tradicionales de alimentación, basados principalmente en la experiencia del productor. Aunque algunas unidades como AGUAVIVA SAS y Finca San Roque combinan tablas técnicas y asesoría externa, predomina el suministro de alimento balanceado comercial sin un ajuste preciso basado en biomasa real o análisis predictivo. La frecuencia de alimentación más común es entre dos y tres veces al día, pero varios productores reconocen dificultades para determinar con exactitud la cantidad adecuada, lo que se relaciona con percepciones de desperdicio de alimento y altos costos.

En cuanto al crecimiento, se identifican diferencias notables entre unidades: algunas reportan crecimientos normales (≥ 1.5 g/día), mientras que otras presentan crecimientos bajos o moderados, especialmente en fases críticas como el alevinaje y la transición entre estanques. Los principales factores que afectan el crecimiento son problemas en la calidad del agua (oxígeno disuelto, amonio, temperatura), presencia de depredadores, enfermedades y deficiencias en el manejo ambiental. Además, aunque varios productores registran datos productivos, la mayoría lo hace de forma manual, lo que limita el análisis histórico y la toma de decisiones basada en información sistematizada.

7.2 Descripción estrategias de IA aplicadas en procesos de alimentación sector piscícola

El desarrollo de este capítulo da respuesta al objetivo específico 2 asociado con describir las estrategias de inteligencia artificial aplicadas en los procesos de alimentación dentro del sector piscícola, tanto a nivel nacional como internacional. En un escenario de análisis de los estudios internacionales revisados se evidencian avances cuantificables en la optimización de la alimentación y el crecimiento mediante enfoques tecnológicos y modelos predictivos. En la tesis doctoral de Vélez (2024), desarrollada en la Universidad Politécnica de Valencia, se reportan

mejoras significativas en la tasa de crecimiento específico (SGR) y en la eficiencia de conversión alimenticia (FCR) en peces carnívoros alimentados con dietas con alta sustitución de harina de pescado, siempre que la formulación nutricional sea acompañada por un control preciso de variables ambientales y fisiológicas.

Y los resultados presentan ajustes estratégicos en la dieta pueden mantener rendimientos productivos competitivos, reduciendo la dependencia de insumos tradicionales y mejorando la sostenibilidad económica, lo cual demuestra que la optimización no depende únicamente del alimento en sí, sino del monitoreo técnico continuo y del análisis de datos productivos. Por su parte, Vásquez, Inga y Betalleluz (2022) destacan que los sistemas basados en inteligencia artificial aplicados al análisis de datos ambientales y productivos permiten incrementos en eficiencia alimenticia y reducciones en mortalidad cuando se integran modelos de aprendizaje automático para predicción de crecimiento y detección temprana de anomalías.

A nivel experimental e industrial, se han documentado reducciones de desperdicio de alimento y mejoras en precisión de dosificación superiores al 10–20 %, dependiendo del sistema implementado. Complementariamente, Rico (2022) demostró que los sistemas de visión artificial y tecnología láser permiten medir biomasa y comportamiento con altos niveles de exactitud, reduciendo el error humano en estimaciones manuales y mejorando la toma de decisiones en tiempo real.

Al contrastarlos con lo nacional, Sáenz (2025) reportó en su prototipo de dosificación automatizada para tilapia roja una mayor precisión en la entrega de pellets y una disminución del desperdicio de alimento frente a esquemas manuales tradicionales, lo que impacta directamente el FCR y los costos operativos; lo cual contrasta con lo expuesto por Arcila (2021) quién logró el diseño y validación de un sistema automático con energía solar fotovoltaica de 200 kg de

capacidad, evidenciando viabilidad técnica y reducción de dependencia operativa constante.

Guevara et al. (2022) concluyen que la incorporación de tecnologías digitales y automatizadas en la acuicultura colombiana incrementa la eficiencia productiva, aunque su adopción aún es limitada por factores económicos y de capacitación.

En contraste, los resultados obtenidos en Casanare muestran que la mayoría de las unidades productivas aún realizan procesos manuales, con registros no sistematizados y decisiones basadas en experiencia empírica. No se evidenció uso de modelos predictivos, sistemas de visión artificial ni análisis automatizado de datos productivos. Esto revela una brecha tecnológica significativa frente a los desarrollos nacionales e internacionales, pero también una oportunidad estratégica para implementar soluciones adaptadas al contexto regional.

Al llevarlo a un nivel departamental en los productores de Casanare se identifica que estos no han implementado directamente herramientas de inteligencia artificial, sí reconocen tecnologías que pueden asociarse a su aplicación; lo cual obedece que entre las más mencionadas se encuentran los sistemas de alimentación automática inteligente, capaces de ajustar la ración en función de variables como biomasa estimada, comportamiento de los peces y condiciones ambientales; y cuya percepción coincide con desarrollos actuales en acuicultura de precisión, donde la IA permite optimizar la conversión alimenticia y reducir desperdicios.

Los resultados obtenidos evidencian que la piscicultura enfrenta desafíos estructurales asociados principalmente a la alimentación, el monitoreo del crecimiento y la gestión de parámetros fisicoquímicos del agua, situación que coincide con diagnósticos sectoriales a nivel nacional, donde se señala que gran parte de las unidades productivas acuícolas en Colombia operan con bajos niveles de tecnificación y con procesos basados en la experiencia empírica (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021; Rueda et al., 2019). En este sentido, la

limitada sistematización de datos productivos identificada en esta investigación restringe la toma de decisiones basada en evidencia, afectando la conversión alimenticia y la rentabilidad del cultivo.

En la tabla 3 se agrupan las respuestas donde los productores identifican las tecnologías que consideran viables, resaltando que pueden o no utilizarlas, que se contrasta con los resultados tanto nacionales como internacionales consultados

Tabla 3.

Tecnologías que consideran viables, aunque aún no las usen

Unidad productiva	Tecnologías de IA mencionadas o asociadas
El Paradero	Sistemas de alimentación inteligente
(Sin nombre)	Monitoreo automático para alimentación adecuada
AGUAVIVA SAS	Sensores + análisis de datos
El Jazmín	Alimentación automática + sensores de oxígeno y pH
Finca San Roque	“Todas las anteriores” (visión integral de IA)
El Chivor	Sistemas de alimentación + monitoreo de calidad de agua
Piedemonte	Conjunto integrado de tecnologías (enfoque sistémico)
Villa Alejandra	Alimentación automatizada

Nota: se exponen los resultados en el marco de las tecnologías viables según los encuestados

Los resultados muestran que el conocimiento sobre inteligencia artificial en piscicultura es heterogéneo y mayoritariamente incipiente. Un grupo importante de productores manifiesta no conocer con claridad el concepto de IA o las estrategias aplicadas en otros países, mientras que otros han escuchado sobre tecnologías como sensores en tiempo real, control automático de parámetros del agua, monitoreo de biomasa y sistemas de alimentación inteligente. Productores como AGUAVIVA SAS y Finca San Roque evidencian mayor cercanía a estas tecnologías, identificando aplicaciones como sensores de oxígeno, temperatura y amonio, así como sistemas

de control de pesaje y monitoreo continuo.

Desde una perspectiva teórica, los hallazgos pueden analizarse a la luz de la ecología poblacional, que resalta la importancia de la adaptación de los sistemas productivos a las condiciones del entorno para garantizar su sostenibilidad (Garcilazo, 2011). La incorporación de inteligencia artificial (IA) y tecnologías de monitoreo continuo permitiría precisamente mejorar la capacidad adaptativa de las unidades piscícolas, optimizando la dosificación de alimento según biomasa, calidad del agua y comportamiento de los peces. Estudios como el de Rico (2022) demuestran que la visión artificial y los sistemas de detección automatizada permiten un seguimiento preciso del comportamiento y crecimiento, reduciendo pérdidas y mejorando la eficiencia productiva.

Investigaciones aplicadas en América Latina evidencian resultados positivos en la automatización de procesos; resaltando lo expuesto por Estrella et al. (2023) diseñaron un sistema automatizado para la producción piscícola que mejoró el control de variables críticas como alimentación y calidad del agua, evidenciando mayor eficiencia operativa. De manera complementaria, Sáenz (2025) desarrolló un prototipo de dosificación automatizada de pellets en tilapia roja, logrando mayor precisión en la entrega de alimento y reducción del desperdicio, lo cual impacta directamente la sostenibilidad económica y ambiental del sistema productivo. Estos antecedentes refuerzan los resultados obtenidos en Casanare, donde los productores identifican la alimentación y la calidad del agua como variables prioritarias para la incorporación de IA.

A nivel de percepción, la mayoría de los encuestados tiene una visión positiva del uso de la IA, asociándola con mejoras en la rentabilidad, reducción de desperdicios y mejor control sanitario. Sin embargo, también se reconoce que, en Colombia, y particularmente en Casanare, la adopción aún es baja comparada con experiencias internacionales, debido a barreras como

costos, falta de capacitación y acceso limitado a tecnologías digitales; lo anterior confirma que el sector se encuentra en una etapa inicial de transición hacia modelos de acuicultura de precisión.

La comparación evidencia que Casanare se encuentra en una etapa inicial de adopción tecnológica frente a estándares internacionales y experiencias nacionales. Sin embargo, las experiencias documentadas demuestran que la automatización de la alimentación, el monitoreo inteligente de calidad del agua y el uso de modelos predictivos generan mejoras cuantificables en eficiencia alimenticia, reducción de desperdicio y control del crecimiento, tal y como se expone en la tabla 4.

Tabla 4.

Tabla comparativa de los procesos globales y nacionales vs Casanare

Nivel	Proceso tecnológico implementado	Evidencia en estudios	Situación en Casanare	Brecha identificada
Internacional	Modelos predictivos de crecimiento con IA	Optimización de SGR y FCR (Vélez, 2024)	No implementado	Alta
Internacional	Sistemas de visión artificial y láser para biomasa	Alta precisión en medición (Rico, 2022)	No implementado	Alta
Internacional	Algoritmos de aprendizaje automático para alimentación	Reducción 10–20 % desperdicio (Vásquez et al., 2022)	Alimentación manual o semiempírica	Alta
Nacional	Dosificación automatizada de pellets	Mayor precisión y menor	Escasa automatización	Media–Alta

		desperdicio (Sáenz, 2025)		
		Viabilidad		
Nacional	Sistemas automáticos con energía solar	técnica y autonomía operativa (Arcila, 2021)	No se reportan sistemas solares automatizados	Media
Nacional	Integración de tecnologías digitales en acuicultura	Mejora eficiencia productiva (Guevara et al., 2022)	Bajo nivel de digitalización	Alta

Nota: La tabla expone una comparativa entre procesos globales y nacionales vs Casanare

Los resultados expuestos en la tabla 4 en los escenarios de comparación evidencia que Casanare se encuentra en una etapa inicial de adopción tecnológica frente a estándares internacionales y experiencias nacionales; sin embargo, las experiencias documentadas demuestran que la automatización de la alimentación, el monitoreo inteligente de calidad del agua y el uso de modelos predictivos generan mejoras cuantificables en eficiencia alimenticia, reducción de desperdicio y control del crecimiento.

Motivo por el cual, se debe enfocar esfuerzo en la implementación de IA gradual en sistemas de dosificación automatizada adaptados a pequeñas y medianas unidades productivas, incorporación de sensores inteligentes para monitoreo continuo de oxígeno, pH y temperatura y desarrollo de modelos predictivos basados en datos locales de crecimiento y conversión alimenticia. Lo cual nace a raíz de la necesidad de generar mejoras medibles en sostenibilidad y rentabilidad, constituyéndose en un referente sólido para la modernización del sector piscícola del departamento de Casanare.

Visto desde un plano estratégico, la tendencia internacional confirma que la inteligencia artificial se consolida como eje de la acuicultura de precisión, orientada a la automatización, reducción de costos y sostenibilidad (Mis Peces, 2024; Guevara et al., 2022), al momento de determinar que la evidencia recopilada en esta investigación muestra que, aunque el conocimiento técnico sobre IA en Casanare es aún incipiente, existe una percepción positiva sobre su potencial para mejorar la rentabilidad y disminuir riesgos productivos; cuya ampliación se refleja en las políticas nacionales que promueven la innovación tecnológica en el sector agropecuario, como el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 (Presidencia de la República, 2023) y las Políticas de Investigación e Innovación Orientadas por Misiones – PIIOM (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2024), que incentivan el desarrollo y adopción de tecnologías innovadoras para fortalecer la seguridad alimentaria.

Desde la perspectiva del desarrollo económico, la adopción de tecnologías inteligentes en la piscicultura puede interpretarse como un mecanismo de modernización productiva que contribuye a la competitividad territorial (Mora, 2006). El departamento de Casanare, según su Plan de Desarrollo 2024–2027 y el Plan Departamental de Extensión Agropecuaria (Gobernación de Casanare, 2023; 2024), prioriza el fortalecimiento de cadenas productivas estratégicas mediante innovación y asistencia técnica; es decir, que la aplicabilidad de la IA no solo representa una herramienta tecnológica, sino una oportunidad para articular academia, Estado y productores en un modelo de gobernanza colaborativa orientado a la sostenibilidad regional.

7.3 Propuesta de estrategias basadas en IA para optimizar procesos de alimentación

Las respuestas de los productores ofrecen insumos fundamentales para la formulación de estrategias de implementación de inteligencia artificial. En primer lugar, se identificó un consenso sobre los tipos de datos que deberían recopilarse para que la IA pueda generar modelos

predictivos útiles. Así mismo, al desagregarlos se encuentran escenarios de aplicabilidad en biomasa, peso promedio de los peces, cantidad de alimento suministrado, parámetros de calidad de agua, tasas de mortalidad y registros históricos de producción, información que constituye la base para algoritmos de predicción de crecimiento y optimización de raciones.

En cuanto a la factibilidad, la mayoría de los participantes considera que la IA puede ser viable y beneficiosa, especialmente por su potencial para reducir costos, mejorar la precisión en la alimentación y aumentar la rentabilidad; no obstante, también se reconoce que la inversión inicial puede representar una barrera para pequeños productores. Por ello, las respuestas resaltan la necesidad de estrategias de acompañamiento, tales como programas de capacitación, asistencia técnica personalizada y articulación entre academia, Estado y sector productivo.

En consecuencia, las estrategias propuestas no solo deben centrarse en la tecnología, sino también en la transferencia de conocimiento y fortalecimiento de capacidades locales, elementos esenciales para una adopción sostenible de la inteligencia artificial en la piscicultura de Casanare. En la tabla 5 se identifican las estrategias dadas por los entrevistados / encuestados para optimización en la alimentación y crecimiento.

Tabla 5.

Datos que los productores consideran clave para IA

Unidad	Datos mencionados
El Paradero	Alimentación, crecimiento y producción
(Sin nombre)	Monitoreo diario de agua y alimentación
AGUAVIVA SAS	Calidad de agua y biomasa
El Jazmín	Peso de peces, calidad de agua, mortalidad
San Roque	Parámetros fisicoquímicos del agua
El Chivor	Tamaño de peces, calidad de agua, densidad
Piedemonte	Trazabilidad sanitaria, nutricional y ambiental
Villa Alejandra	Información integral de producción

Nota: se exponen los resultados en el marco de datos base para estrategias de IA

En la identificación de las necesidades de IA en las unidades productivas entrevistadas / encuestadas, se determina la existencia de una brecha significativa de conocimiento sobre inteligencia artificial (IA) en las unidades piscícolas consultadas. En algunos casos, como el de El Paradero, se manifiesta un desconocimiento total sobre el tema, lo que indica que antes de pensar en implementación tecnológica es necesario desarrollar procesos básicos de alfabetización digital y tecnológica. De forma similar, productores como El Jazmín y El Chivor resaltan la necesidad de más información y divulgación, lo que sugiere que el acceso a contenidos claros, prácticos y contextualizados es un paso fundamental para generar confianza y comprensión sobre el uso de la IA en la piscicultura.

Otro grupo de respuestas muestra que los productores no solo requieren información general, sino formación técnica aplicada y acompañamiento especializado. AGUAVIVA destaca la importancia de contar con instructores con experiencia real en el sector, lo que evidencia que la transferencia de conocimiento debe estar basada en casos prácticos y no únicamente en contenidos teóricos. En la misma línea, San Roque propone la realización de cursos de IA, mientras que otra unidad productiva señala la necesidad de visitas de profesionales a las granjas, lo que refuerza la idea de que el aprendizaje efectivo en este sector debe ser presencial, demostrativo y adaptado a las condiciones productivas locales.

Piedemonte plantea la importancia de una articulación entre academia, Estado y productores, reconociendo que la implementación de inteligencia artificial requiere no solo capacitación individual, sino también redes institucionales que faciliten recursos, investigación aplicada y extensión rural. A su vez, Villa Alejandra enfatiza la asistencia técnica personalizada, lo que resalta que cada unidad piscícola posee características productivas distintas y, por tanto, necesita soluciones ajustadas a su realidad. Resultados que se visualizan en la tabla 6

Tabla 6.

Necesidades identificadas para las estrategias

Unidad	Requerimientos formativos
El Paradero	Desconocimiento total sobre IA
(Sin nombre)	Visitas de profesionales
AGUAVIVA	Instructores con experiencia real
El Jazmín	Más información práctica
San Roque	Cursos de IA
El Chivor	Mayor divulgación
Piedemonte	Articulación academia–Estado–productores
Villa Alejandra	Asistencia técnica personalizada

Nota: se exponen los resultados en la identificación de necesidades para estrategias IA

Las respuestas permiten identificar con claridad qué tipo de soluciones basadas en IA serían pertinentes para el contexto local. Existe consenso en que los procesos que más podrían mejorar con IA son la dosificación precisa del alimento, el monitoreo continuo de la calidad del agua y la prevención de enfermedades. También se reconoce la importancia de recopilar datos como peso de los peces, biomasa, consumo de alimento, parámetros fisicoquímicos del agua y registros sanitarios, los cuales constituyen la base para modelos predictivos de crecimiento y conversión alimenticia.

En cuanto a la disposición para adoptar IA, la mayoría de los productores se muestra de acuerdo o muy de acuerdo con su implementación, aunque señalan limitaciones relacionadas con inversión, capacitación y acompañamiento técnico. Por ello, las estrategias propuestas deben incluir no solo tecnologías como sensores inteligentes y sistemas de alimentación automatizados, sino también programas de formación, asistencia técnica personalizada y articulación institucional. Estos elementos son clave para garantizar que la inteligencia artificial no sea solo una innovación tecnológica, sino una herramienta realmente funcional para mejorar la productividad y sostenibilidad de la piscicultura en el Casanare.

Adicional a lo anterior, se sugiere que los escenarios de aplicabilidad de IA en piscicultura en Casanare partan de modelos de acuicultura de precisión que estén fundamentados en sistemas ciberfísicos (CPS); el cual debe partir de la integración estructurada entre el sistema biológico que incluyan peces y ambiente acuático; así como el sistema digital que incluyen sensores, bases de datos y plataformas de análisis; y el sistema de decisión automatizada como lo son los algoritmos y actuadores. En este enfoque, cada variable productiva deja de gestionarse de manera empírica y pasa a ser monitoreada, registrada y analizada en tiempo real, permitiendo una gestión adaptativa del cultivo (Vásquez et al., 2022).

La adopción del modelo de acuicultura de precisión permitiría al sector piscícola de Casanare transitar desde un esquema tradicional hacia un sistema tecnificado, alineado con las tendencias globales de automatización agroacuícola; con lo cual se espera facilitar la articulación entre los productores, ciencia, académica e innovación, al requerir procesos de capacitación, transferencia tecnológica y acompañamiento institucional, aspectos que fueron señalados como prioritarios en los resultados de encuestas y entrevistas. En la siguiente tabla se expone el modelo que se propone como estrategia de inteligencia artificial en las unidades de piscicultura de Casanare.

Tabla 7

Componentes del modelo de acuicultura de precisión basada en CPS

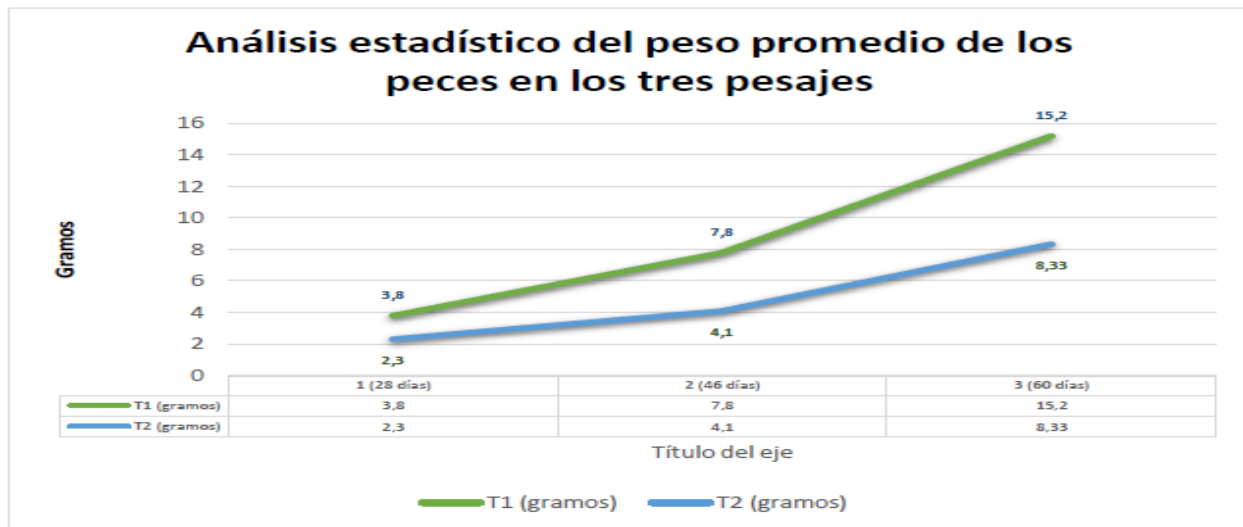
Componente	Descriptores
Capa de monitoreo (captura de datos)	Sensores de oxígeno disuelto, pH, temperatura y amonio.
	Cámaras subacuáticas o sistemas de visión artificial para estimación de biomasa.
	Sensores de consumo y comportamiento alimenticio.
Capa de procesamiento (analítica e IA)	Modelos predictivos de crecimiento (Machine Learning).
	Algoritmos de optimización de conversión alimenticia (FCR)
	Sistemas de detección temprana de estrés o enfermedad.
Capa de actuación (automatización)	Alimentadores automáticos inteligentes.
	Aireadores activados según umbrales críticos.
	Sistemas de alerta y toma de decisiones asistida.

Nota: Se presentan los componentes para el modelo propuesto de CPS

Tal y como se expone en la tabla anterior se espera que el modelo genere o recopile datos en tiempo real, los procesa mediante algoritmos predictivos y ajusta automáticamente variables críticas como la cantidad de alimento o la oxigenación; y a su vez, genere una reducción de desperdicios de alimento de entre el 10 a 25% según los estudios internacionales analizados, y que se disminuya la mortalidad por fallas en la calidad del agua, al mejorar la tasa de crecimiento específico. Resaltando que el modelo de acuicultura de precisión basado en sistemas ciberfísicos constituye una estructura integral que combina monitoreo, análisis inteligente y automatización, orientada a maximizar la eficiencia productiva y la sostenibilidad del sistema acuícola.

Tabla 8

Análisis estadístico del incremento del peso en tres pesajes con uso de IA



Nota: Tomado de evaluación del crecimiento de los ejemplares de tilapia roja de la granja piscícola kalluun universidad UIS Bucaramanga, Colombia.

Un factor efectivamente relacionado con el Objetivo dos (2) de la presente investigación, en el proceso de cultivo de tilapia roja y su gestión con Inteligencia Artificial, se desarrolló en este estudio, en el que se concluyó, que los factores mas relacionados con un crecimiento y desarrollo mas sostenido y productivo, se produce bajo el control del PH y de la Temperatura de las aguas del estanque, en este estudio se automatizaron los controles de estos dos indicadores, mediante mecanismos automatizados, que sensaban las dos variables y con automatización desarrollaban las correcciones inmediatas para mantener los valores ideales, con tasas de crecimiento y ganancia de peso demostrables en variables de temperatura.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

T U N J A
Experiencia y Calidad

8 Conclusiones y Recomendaciones

Los resultados encontrados en la investigación permitieron evidenciar que la piscicultura en el departamento de Casanare presenta un nivel de tecnificación limitado en los procesos de alimentación y control del crecimiento, predominando prácticas tradicionales basadas en la experiencia del productor. Si bien algunos piscicultores utilizan registros productivos, estos se realizan mayoritariamente de forma manual, lo que restringe el análisis de datos históricos y la toma de decisiones fundamentadas en información técnica; esto permite identificar que las principales problemáticas identificadas que afectan el crecimiento de los peces están asociadas a la calidad del agua, la dosificación inadecuada del alimento, los costos elevados de insumos y la falta de precisión en el control productivo.

Los resultados del diagnóstico realizado en las unidades piscícolas de Casanare evidencian que los procesos de alimentación, monitoreo del crecimiento y control de calidad del agua se desarrollan mayoritariamente bajo esquemas tradicionales, con registros manuales y toma de decisiones basada en experiencia empírica; en contraste, unidades productivas referentes a nivel internacional, como las que integran modelos de acuicultura de precisión en Europa y países líderes en salmonicultura implementan sistemas automatizados de alimentación, monitoreo continuo mediante sensores y modelos predictivos basados en inteligencia artificial.

La investigación permite confirmar que la inteligencia artificial tiene un alto potencial de aplicabilidad en la piscicultura del Casanare, especialmente en la optimización de la alimentación y el seguimiento del crecimiento de los peces; y los productores identificaron con claridad los datos que deberían recolectarse (biomasa, parámetros fisicoquímicos del agua, consumo de alimento, tasas de mortalidad), lo cual demuestra que existen las bases operativas para avanzar hacia una gestión en el marco del modelo de acuicultura de precisión; no obstante,

su implementación efectiva dependerá de estrategias integrales que combinen tecnología, capacitación, asistencia técnica y articulación entre actores del sector.

Retomando lo expuesto en el marco de la biomasa, parámetros fisicoquímicos del agua, consumo de alimento y tasas de mortalidad ha demostrado ser una práctica exitosa en distintos modelos de acuicultura de precisión, tanto en sistemas intensivos europeos como en experiencias latinoamericanas. Según se constató con Vélez (2024) al evidenciar que el monitoreo riguroso de biomasa y consumo permitió ajustar dietas con alta sustitución de harina de pescado sin afectar significativamente la tasa de crecimiento específico (SGR), manteniendo indicadores productivos competitivos. Esto demuestra que el registro continuo de datos biológicos y nutricionales permite optimizar formulaciones y reducir costos sin comprometer el desempeño zootécnico.

Para las recomendaciones es importante promover programas de capacitación técnica en inteligencia artificial y acuicultura de precisión, dirigidos a piscicultores, administradores y técnicos del departamento; la aplicabilidad de estos programas debe tener un enfoque práctico, adaptado a las condiciones locales, y orientarse al uso de datos productivos, interpretación de indicadores de crecimiento y manejo de tecnologías digitales básicas como sensores y software de registro.

Resulta fundamental establecer un proceso para fortalecer la articulación entre academia, entidades gubernamentales y sector productivo, con el fin de desarrollar proyectos piloto de implementación de tecnologías basadas en IA en unidades piscícolas del Casanare. Experiencias que permitirían evaluar la viabilidad técnica y económica de sistemas de alimentación inteligente, monitoreo automatizado de la calidad del agua y modelos predictivos de crecimiento, facilitando posteriormente su escalamiento a más productores.

También se recomienda impulsar estrategias de asistencia técnica personalizada,

especialmente para pequeños y medianos productores, quienes presentan mayores barreras de acceso a la tecnología, el cual debe gestar escenarios en el que el acompañamiento continuo facilitaría la adopción progresiva de herramientas digitales, la correcta recolección de datos y la interpretación de resultados, reduciendo el riesgo de inversiones ineficientes.

Referencias

- Andrade, L. (2021). Análisis del currículo de los cursos de Fundamentos de economía, microeconomía y Fundamentos de economía y microeconomía en relación con la Teoría del productor. *Revista de estudios y experiencias en educación*, 20(43), 167-180.
<https://www.redalyc.org/journal/2431/243168246010/243168246010.pdf>
- Arcila, J. (2021). *Diseño y construcción de un sistema de alimentación automático para peces de 200 kg de capacidad, provisto por energía solar fotovoltaica para la granja piscícola Asociación Propaz en Mesetas (Meta)*. [Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño]. Repositorio Institucional – Universidad Antonio Nariño.
<https://repositorio.uan.edu.co/items/ccc1106b-0443-415f-bfb0-5190f9a74c41>
- Leonardo Fabio Ariza Güiza. (2022) Evaluar el comportamiento de crecimiento de la tilapia roja (*Oreochromis sp*) bajo un modelo de cubierta utilizando tanques plásticos en el municipio de Barbosa, vereda Santa Rosa, del departamento de Santander Colombia.
[chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://arxiv.org/pdf/2311.04258](https://arxiv.org/pdf/2311.04258)
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. (2022). Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia. <https://www.aunap.gov.co/documentos/OGCI/25-Diagn%C3%B3stico-del-estado-de-la-acuicultura-en-Colombia.pdf>
- Autoridad Nacional de Agricultura y Pesca. (2024). DANE: Sector de pesca y acuicultura del país crece un 37 %. <https://aunap.gov.co/dane-sector-de-pesca-y-acuicultura-del-pais-crece-un-37/>
- Autoridad Nacional de Agricultura y Pesca. (2025). Colombia incrementa exportaciones

pesqueras en un 52% durante el primer semestre de 2025. AUNAP.

<https://aunap.gov.co/colombia-incremesemestre-de-2025/>

Correa, Y. (2023). Cadena Acuícola. Gobernación de Casanare.

<https://www.casanare.gov.co/Dependencias/Agricultura/DocumentosCadenaPiscicola/Presentaci%C3%B3n%20Comit%C3%A9%20Regional%20de%20la%20Cadena%20Acuicola.pdf>

Estrella, A., Cárdenas, J., Obregón, J., Segura, G., & Mendoza, C. (2023). Diseño de un Sistema Automatizado para la Producción Piscícola en el Instituto Superior Tecnológico Tsa'Chila. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 7290-7213.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9482019.pdf>

Garcilazo, J. (2011). La teoría de la ecología poblacional examinada a la luz de teorías adaptacioncitas. *Revista Científica "Visión de Futuro"* 15(1), 1-21.

<https://www.redalyc.org/pdf/3579/357935477003.pdf>

Gobernación de Casanare. (2023) Plan de desarrollo 2024-2027.

<https://www.casanare.gov.co/Dependencias/Planeacion/Paginas/Plan-de-Desarrollo-2024-2027.aspx>

Gobernación de Casanare. (2024). Plan departamental de extensión agropecuaria. Casanare 2024-2027.

https://www.casanare.gov.co/Dependencias/Planeacion/PublishingImages/Paginas/Plan-de-Desarrollo-2024-2027/Anexo%203_PEDA_Plan%20Extensi%C3%B3n%20Agropecuaria%20Final.pdf

Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Revista Científica Mundo de la Investigación y Conocimiento*, 4(3), 163-173.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7591592.pdf>

Guevara, Y., Terán, R., Achicanoy, A., & Maigual, Y. (2022). Implementación de nuevas tecnologías en la acuicultura. *Revista Investigación Pecuaria*, 6(1), 1-15.
<https://revistas.udenar.edu.co/index.php/revip/article/view/7218/8219>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021, 31 de marzo). Acuicultura en Colombia. Cadena de la Acuicultura.
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Ministerio de Agricultura. (2022). Priorización de alternativas productivas agropecuarias y diagnóstico de mercados para el departamento de Casanare.
https://upra.gov.co/Kit_Territorial/2-%20Informaci%C3%B3n%20por%20Departamentos/CASANARE/Priorizaci%C3%B3n%20de%20alternativas%20productivas%20agropecuarias%20y%20diagn%C3%B3stico%20de%20mercados%20para%20el%20departamento%20de%20Casanare.pdf

Ministerio de Agricultura. (2020). Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas.
<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Paginas/Direccion-de-Cadenas-Pecuarias.aspx>

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2024). Resolución 1452 de 2024. Por la cual se

adoptan las Políticas de Investigación e Innovación Orientadas por Misiones (PIIOM) 2024-2033 del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

https://minciencias.gov.co/sites/default/files/2402_documento_de_politica_derecho_humano_a_la_alimentacion_1.pdf#:~:text=El%20derecho%20humano%20a%20la%20alimentaci%C3%B3n%20es,el%20desarrollo%20y%20adopci%C3%B3n%20de%20tecnolog%C3%ADas%20innovadoras.

Mis Peces. (2024, 29 de agosto). La aplicación de la Inteligencia Artificial en la acuicultura como tendencia en Aqua 2024. <https://www.mispeces.com/noticias/La-aplicacion-de-la-Inteligencia-Artificial-en-la-acuicultura-como-tendencia-en-Aqua-2024/>

Mora, Ó. (2006). Las Teorías del Desarrollo Económico: algunos postulados y enseñanzas. *Revista Apuntes del CENES*, 26(42), 49-74.
<https://www.redalyc.org/pdf/4795/479548749004.pdf>

Núñez, J. (2017). Los métodos mixtos en la investigación en educación: hacia un uso reflexivo. *Cuadernos de Pesquisa*, 47(164), 632-649.
<https://www.scielo.br/j/cp/a/CWZs4ZzGJj95D7fK6VCBFxy/?format=pdf&lang=es>

Presidencia de la República de Colombia. (2023). Conozca aquí el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia, potencia mundial de la vida.
<https://www.presidencia.gov.co/prensa/Paginas/Conozca-aqui-el-Plan-Nacional-de-Desarrollo-2022-2026-Colombia-potencia-mundial-de-la-vida-230510.aspx>

Rico, J. (2022). *Metodología de desarrollo de sistemas de detección y seguimiento de peces mediante tecnología láser y visión artificial con inteligencia artificial*. [Tesis doctoral,

Universidade Da Coruña]. Repositorio Institucional – RUC.

<https://ruc.udc.es/rest/api/core/bitstreams/bad1a252-125c-4b13-a222-bdfc45cbbac3/content>

Rueda, G., Bohórquez, L., Reyes, J., & Gómez, D. (2019). Diagnóstico de las unidades productivas en el sector piscícola de Santander (Colombia). *Revista Espacios*, 40(28), 25-38. <https://revistaespacios.com/a19v40n28/a19v40n28p25.pdf>

Sáenz, E. (2025). *Prototipo de automatismo para la dosificación de pellets en cultivo de Tilapia Roja (Oreochromis sp.)*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional. <https://repositorio.unal.edu.co/items/7e47e101-cc32-4376-a774-725b824c61e4>

Vásquez, W., Inga, M., Betalleluz, I. (2022). Inteligencia artificial en acuicultura: fundamentos, aplicaciones y perspectivas futuras. *Scientia Agropecuaria*, 13(1), 79-96. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v13n1/2077-9917-agro-13-01-79.pdf>

Vélez, G. (2024). *Optimización del crecimiento de peces carnívoros alimentados con piensos con alta sustitución de harina de pescado*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio Institucional – Riunet. <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/7f834915-03a3-412f-b43d-7ad4ebf85a7f/content>

Stryker, C., & Kavlakoglu, E. (2025, noviembre 27). ¿Qué es la inteligencia artificial o IA? *Ibm.com*. <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/artificial-intelligence>

LA NUTRICION Y ALIMENTACION EN LA ACUICULTURA DE AMERICA LATINA Y EL

CARIBE. (s/f). Fao.org. Recuperado el 25 de febrero de 2026, de

<https://www.fao.org/4/ab487s/ab487s00.htm>

Anexos

8.1 Anexo A. Instrumentos de recolección de la información

Sección A: Datos generales del productor

1. Municipio donde desarrolla su actividad piscícola.

2. Edad del productor.

Menos de 25 años__

Entre 25 y 34 años __

Entre 35 y 44 años __

Entre 45 y 54 años __

55 años o más __

3. Nivel educativo alcanzado.

Primaria incompleta __

Primaria completa __

Secundaria incompleta __

Secundaria completa __

Técnico o tecnólogo __

Profesional universitario __

Posgrado __

4. Tamaño de la producción (número de estanques / hectáreas / número de peces).

5. Principal especie cultivada.

6. ¿Cuántos años lleva dedicado a la actividad piscícola?

Menos de 2 años __

Entre 2 y 5 años __

Entre 6 y 10 años __

Entre 11 y 15 años __

Más de 15 años ____

Sección B. Procesos actuales de alimentación y crecimiento

Marque la opción que mejor represente su situación actual. En las preguntas con escala Likert, indique su nivel de acuerdo según la siguiente escala:

1. ¿Cómo determina actualmente la cantidad de alimento que suministra a los peces?
 - a. Experiencia personal ____
 - b. Tablas técnicas o manuales productivos ____
 - c. Asesoría externa ____
 - d. Sistemas automáticos o sensores ____
 - e. Todos los anteriores ____
2. ¿Qué tipo de alimento utiliza con mayor frecuencia?
 - a. Alimento balanceado comercial ____
 - b. Alimento artesanal ____
 - c. Mezcla de alimento comercial y artesanal ____
 - d. Otro, ¿Cuál? ____
3. Frecuencia de alimentación de los peces
 - a. 1 vez al día ____
 - b. 2 veces al día ____
 - c. 3 veces al día ____
 - d. Más de tres veces al día ____
 - e. Variable según etapa de crecimiento ____
4. Registra los datos de crecimiento y conversión alimenticia
 - a. Si ____
 - b. No ____
5. Si su respuesta anterior fue sí, ¿cómo realiza dicho registro?
 - a. De forma manual (cuadernos, formatos físicos) ____
 - b. Hojas de cálculo (Excel u otros) ____
 - c. Software especializado ____
 - d. Sensores o sistemas automáticos ____
 - e. Todos los anteriores / Combinación ____



6. ¿Cuáles considera que son las principales dificultades en los procesos de alimentación y crecimiento?
- a. Altos costos del alimento ____
 - b. Falta de precisión en la cantidad de alimento suministrado ____
 - c. Desperdicio de alimentos _
 - d. Mortalidad de los peces _
 - e. Crecimiento desigual ____
 - f. Falta de tecnología_
7. La cantidad de alimento suministrada actualmente permite un crecimiento adecuado de los peces.
- 1 = Muy en desacuerdo
 - 2 = En desacuerdo
 - 3 = Indiferente
 - 4 = De acuerdo
 - 5 = Muy de acuerdo.
8. El desperdicio de alimento representa un problema significativo en mi unidad piscícola.
- 1 = Muy en desacuerdo
 - 2 = En desacuerdo
 - 3 = Indiferente
 - 4 = De acuerdo
 - 5 = Muy de acuerdo.
9. Cuento con información suficiente para ajustar la alimentación según la etapa de crecimiento de los peces.
- 1 = Muy en desacuerdo
 - 2 = En desacuerdo
 - 3 = Indiferente
 - 4 = De acuerdo
 - 5 = Muy de acuerdo.

Sección C: Uso de tecnología.

1. Ha implementado alguna tecnología digital en sus procesos piscícolas (sensores, software, sistemas automáticos)
- a. Si_
 - b. No_



2. Si su respuesta fue sí, ¿qué tipo de tecnología utiliza y con qué propósito?
 - a. Monitoreo ambiental__
 - b. Control de alimento__
 - c. Registro de datos__
 - d. Otros__
3. ¿Conoce el concepto de inteligencia artificial aplicada a la piscicultura?
 - a. Si__
 - b. No__
 - c. Parcialmente__
4. ¿Ha escuchado de experiencias o proyectos que usen inteligencia artificial en el sector piscícola?
 - a. Si__
 - b. No__
5. ¿Estaría dispuesto a implementar tecnologías de inteligencia artificial en su unidad piscícola?
 - 1 = Muy en desacuerdo__
 - 2 = En desacuerdo__
 - 3 = Indiferente__
 - 4 = De acuerdo__
 - 5 = Muy de acuerdo__
6. ¿Qué beneficios considera que podría aportar la inteligencia artificial a su proceso productivo? (Pregunta abierta).
7. ¿Qué barreras identifica para implementar inteligencia artificial (costos, capacitación, conectividad, desconocimiento, etc.)? (Pregunta abierta).

Anexo B. Instrumento de entrevista semiestructurada a expertos/técnicos

Objetivo: Identificar y analizar las percepciones, experiencias y valoraciones de expertos y técnicos del sector piscícola sobre el potencial de aplicación de la inteligencia artificial en la optimización de los procesos de alimentación y crecimiento de los peces en el departamento de Casanare.

Guía de preguntas abiertas

1. Desde su experiencia, ¿cuáles son las principales limitaciones técnicas o productivas en los procesos de alimentación y crecimiento en la piscicultura de Casanare que podrían ser abordadas mediante soluciones basadas en inteligencia artificial?
2. ¿Qué tecnologías basadas en inteligencia artificial considera más viables para implementar en pequeñas y medianas unidades piscícolas del departamento (por ejemplo: sistemas de alimentación automática inteligente, visión artificial, sensores predictivos, análisis de datos)?
3. ¿Qué tipos de datos deberían recopilar y sistematizar los productores piscícolas de Casanare para permitir el entrenamiento adecuado de modelos de IA orientados a mejorar la conversión alimenticia y el crecimiento de los peces?
4. En términos de costo–beneficio, ¿cuál es su valoración sobre la factibilidad de implementar soluciones de IA en el contexto productivo y económico de la piscicultura en Casanare?
5. ¿Qué estrategias de capacitación o fortalecimiento técnico considera necesarias para que los piscicultores del departamento adopten con éxito tecnologías de IA en sus sistemas de producción?

Anexo C. Fotografías

Figura 4.

Chequeo de estanques



Figura 5.

Estanques y zonas de crecimiento



Figura 6.

Procesos de alimentación



Figura 7.

Procesos de alimentación y supervisión

