



APLICACIONES DIGITALES EN PISCICULTURA: HACIA UNA GESTIÓN
EFICIENTE

ANDERSON ARLEY ECHEVERRIA MAZO

Tutor

ELIZABET LEON VELASQUEZ

Proyecto integrador- Pregrado - Virtual - Segundo Semestre - 2025

Universidad EAN
Facultad de Ingeniería
24 de agosto de 2025, Bogotá D.C, Colombia

Tabla de Contenido

Resumen Ejecutivo.....	3
Introducción	3
Objetivos	4
Objetivos específicos	5
Justificación	5
Bibliografía	16

Resumen Ejecutivo

En la crianza de tilapias existen grandes retos en la gestión de parámetros ambientales como la oxigenación, la temperatura, el PH los niveles de nitritos, nitratos y el recambio de agua. Una inadecuada administración de estas variables puede generar pérdidas significativas por mortalidad y limitar la rentabilidad de la producción.

En la actualidad, los pequeños y medianos productores carecen de herramientas tecnológicas que les permitan analizar de manera integrada dichos parámetros para tomar decisiones oportunas y eficientes sobre la densidad de cultivo y la capacidad productiva de sus estanques.

Este proyecto busca mejorar la producción en la piscicultura con el desarrollo de un sistema de análisis a partir de los datos recolectados en cualquier finca piscícola. Esto permitirá evaluar si es viable aumentar o disminuir la producción con el fin de maximizar la rentabilidad y reducir la mortalidad.

Para el desarrollo del trabajo se empleará una metodología de investigación aplicada con un enfoque mixto que combina técnicas cuantitativas (análisis de datos de parámetros fisicoquímicos) y cualitativas (identificación de prácticas de manejo en campo). Para la creación de prototipo se usará una metodología ágil Scrum.

Introducción

El crecimiento en las exportaciones de pescado en Colombia ha venido en aumento en los últimos años, destacándose especialmente la tilapia como una de las especies de mayor relevancia comercial. Según la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP (2025), “durante el primer semestre de 2025, la tilapia se consolidó como la especie más exportada, con un total de 17.130.398 kilogramos y un valor de US\$134,9 millones. Gracias a su calidad, fresca y producción sostenible, esta especie ha afianzado su presencia en los mercados más exigentes del mundo, convirtiéndose en un producto emblemático de la acuicultura colombiana”. Este panorama refleja la importancia creciente de la piscicultura no solo como motor económico, sino también como alternativa sostenible para garantizar la seguridad alimentaria y la diversificación productiva del país.

No obstante, a pesar del aumento en la producción, Colombia aún no se posiciona entre los principales exportadores de tilapia en Suramérica. Una de las limitantes más significativas es la escasa incorporación de procesos de tecnificación y herramientas tecnológicas que permitan a los productores gestionar de manera precisa parámetros críticos como la calidad del agua, la densidad de cultivo o la alimentación de los peces. La ausencia de control sobre estas variables puede incrementar la mortalidad, reducir la calidad del producto final y, en consecuencia, afectar la rentabilidad de las fincas piscícolas (FAO, 2022). En contraste, países que han logrado fortalecer su presencia internacional en el sector acuícola, como Brasil y Ecuador, han apostado por la modernización tecnológica, la trazabilidad y el monitoreo en tiempo real como factores diferenciales de competitividad (López & Sandoval, 2021).

La aplicación de tecnologías emergentes como: sensores IoT, análisis de datos, inteligencia artificial y sistemas de monitoreo remoto, representa una oportunidad clave para la piscicultura en Colombia. Estas herramientas permiten obtener información continua y confiable sobre el entorno de producción, lo que posibilita tomar decisiones más acertadas y eficientes en la gestión de los cultivos. En este sentido, estudios recientes señalan que la digitalización de la acuicultura contribuye a reducir los costos de producción, aumentar la sostenibilidad ambiental y mejorar la productividad de los sistemas acuícolas (Martínez et al., 2023).

En este contexto, el presente proyecto busca aportar una solución desde la ingeniería de sistemas, mediante la formulación de un sistema de análisis y recomendación que, a partir de la información recolectada en una finca piscícola, oriente al productor sobre la viabilidad de aumentar o disminuir la densidad de cultivo de tilapia. El objetivo es optimizar la productividad, reducir pérdidas y promover un uso más eficiente de los recursos. De esta manera, se integra la innovación tecnológica con la acuicultura, contribuyendo al fortalecimiento de un sector que tiene un alto potencial en el mercado internacional y que requiere avanzar hacia una producción más tecnificada y sostenible.

Objetivos

Formular un sistema informático orientado al monitoreo y análisis integral de parámetros zootécnicos en el cultivo de tilapia, estableciendo los lineamientos técnicos y funcionales,

con el fin de desarrollar una herramienta capaz de optimizar la densidad de cultivo, mejorar la eficiencia productiva y reducir la mortalidad en entornos piscícolas.

Objetivos específicos

- Identificar los parámetros críticos que afectan la salud y el crecimiento de la tilapia (oxigenación, temperatura, pH, nitritos, nitratos, amoníaco, recambio de agua, etc).
- Evaluar el impacto potencial del uso del sistema en términos de sostenibilidad, reducción de mortalidad y rentabilidad de la producción piscícola.
- Desarrollar un prototipo de software que integre los parámetros recolectados y genere recomendaciones prácticas para la gestión de la densidad de cultivo

Justificación

La piscicultura en Colombia representa un sector estratégico tanto para la economía nacional como para la seguridad alimentaria. La tilapia, en particular, se ha consolidado como el principal producto de exportación en el rubro acuícola, logrando una creciente aceptación en mercados internacionales gracias a su calidad y sostenibilidad (AUNAP, 2025). Sin embargo, pese a este potencial, el país aún enfrenta limitaciones que le impiden posicionarse al nivel de otras naciones suramericanas como Brasil o Ecuador. Una de las causas principales radica en la escasa tecnificación de los sistemas productivos, lo que se traduce en un manejo ineficiente de variables críticas como: temperatura, oxígeno disuelto, calidad del agua y densidad de cultivo, que afectan directamente la productividad y rentabilidad de las granjas piscícolas (FAO, 2024).

En este escenario, la incorporación de tecnologías de monitoreo, análisis de datos e inteligencia artificial constituye una oportunidad para mejorar la eficiencia del sector. De hecho, organismos internacionales han señalado que la acuicultura del futuro dependerá de la capacidad de los países para adoptar procesos de “acuicultura de precisión”, donde la digitalización y la innovación tecnológica permiten optimizar recursos, reducir pérdidas y

garantizar la sostenibilidad ambiental (Bonfante et al., 2025). Para Colombia, esto implica no solo avanzar hacia sistemas productivos más competitivos, sino también generar valor agregado a través de la trazabilidad y la calidad del producto, factores cada vez más exigidos por los mercados internacionales.

La viabilidad del proyecto en el contexto colombiano se sustenta en varios aspectos:

1. Condiciones favorables del entorno productivo: El país cuenta con una gran riqueza hídrica y climática que facilita el cultivo de especies como la tilapia durante todo el año (World Aquaculture Society, 2024). Esta ventaja natural, combinada con el crecimiento sostenido de la demanda, crea un terreno propicio para implementar tecnologías que potencien el rendimiento.
2. Demanda internacional creciente: El consumo de pescado en el mundo sigue en aumento y la tilapia es una de las especies con mayor proyección por su adaptabilidad, precio accesible y aceptación en mercados de alto valor como Estados Unidos y Europa (FAO & OECD, 2025). Esto abre una oportunidad para que Colombia fortalezca su competitividad mediante innovación tecnológica.
3. Disponibilidad y accesibilidad de tecnologías emergentes: El avance de soluciones basadas en sensores IoT, plataformas de análisis de datos e inteligencia artificial ha reducido significativamente sus costos de implementación, haciéndolas accesibles incluso para pequeños y medianos productores (Hossam et al., 2024).
4. Impacto socioeconómico: La piscicultura genera miles de empleos directos e indirectos en las zonas rurales del país. La adopción de tecnologías no solo incrementa la rentabilidad de las fincas, sino que también mejora la calidad de vida de los productores al reducir pérdidas y riesgos productivos, contribuyendo al desarrollo rural sostenible.

El presente proyecto no solo es pertinente, sino también viable en el contexto colombiano. La integración de la ingeniería de sistemas en la piscicultura permitirá diseñar un modelo innovador de apoyo a la toma de decisiones, fortaleciendo así la competitividad del sector, incrementando su aporte a la economía nacional y promoviendo una producción más responsable con el medio ambiente.

Marco teórico

La piscicultura ha consolidado su papel en los sistemas alimentarios globales: en los últimos años la producción de animales acuáticos de cultivo ha crecido significativamente, situándose como la principal fuente de suministro de pescado para consumo humano a escala mundial. Este proceso de cultivo impulsa demandas por mayor productividad, seguridad alimentaria y sostenibilidad, pero también plantea retos técnicos, regulatorios y de gobernanza que requieren innovación interdisciplinaria.

La piscicultura ha pasado de ser una práctica tradicional de subsistencia a convertirse en uno de los sectores estratégicos de la economía mundial, debido a su capacidad para suplir la creciente demanda de alimentos de origen acuático (FAO, 2022). A diferencia de la pesca extractiva, cuyo crecimiento se encuentra limitado por la sobreexplotación de los recursos naturales, la piscicultura ofrece un modelo controlado de producción que puede adaptarse a las necesidades del mercado y a las condiciones ambientales de cada región (Asche & Roll, 2018).

En el caso colombiano, la tilapia roja y nilótica se destacan como especies de alta aceptación comercial, particularmente en el mercado de exportación hacia Estados Unidos y Europa (López & Sandoval, 2021). Este crecimiento ha posicionado a la piscicultura no solo como una actividad agropecuaria, sino como un sector con potencial estratégico para el desarrollo rural, la generación de empleo y la consolidación de cadenas de valor orientadas a la exportación (Rodríguez et al., 2019). No obstante, dicho avance trae consigo el reto de implementar sistemas de gestión eficientes que permitan controlar las múltiples variables biológicas, ambientales y económicas que intervienen en el proceso productivo.

Teniendo en cuenta el enfoque sistémico y el ciclo de vida, la ingeniería de sistemas proporciona un marco metodológico para diseñar, integrar y gestionar soluciones tecnológicas complejas mediante análisis de requisitos, arquitectura de sistemas, modelado y validación a lo largo del ciclo de vida del sistema. Aplicado a la acuicultura, este enfoque permite traducir necesidades productivas y regulatorias en especificaciones técnicas (sensores, comunicaciones, software, interfaces de usuario y procedimientos de operación) y en métricas de desempeño operacional y económico.

El análisis de datos se ha consolidado como un recurso esencial para la administración eficiente de procesos productivos. En la piscicultura, este enfoque adquiere una relevancia particular, ya que permite registrar, organizar e interpretar información clave relacionada con parámetros como crecimiento de los peces, conversión alimenticia, calidad del agua, incidencia de enfermedades, tasas de mortalidad y rendimiento económico (García-Peña et al., 2020).

A partir de la recopilación y procesamiento de datos es posible identificar patrones de comportamiento, generar modelos predictivos y anticipar posibles riesgos que podrían comprometer la sostenibilidad del cultivo (Valenti et al., 2021). Por ejemplo, el seguimiento de variables como oxígeno disuelto o temperatura del agua, cuando es analizado mediante algoritmos de predicción, permite reducir la mortalidad y optimizar el uso de alimento balanceado, que representa el mayor costo en la producción piscícola (Zhang et al., 2021).

El análisis de datos no solo se limita a la dimensión técnica, sino que también fortalece la trazabilidad y la transparencia, aspectos cada vez más exigidos por los mercados internacionales. De esta manera, la digitalización de la información contribuye tanto a la eficiencia interna como al posicionamiento competitivo de los productos en cadenas globales (FAO, 2022).

Modelos de machine learning permiten tareas como predicción de parámetros (p. ej. oxígeno disuelto o amonio), detección de anomalías y estimación de variables latentes (estado de salud promedio, tasa de crecimiento). Revisiones y estudios empíricos muestran que técnicas supervisadas (random forest, SVM), redes neuronales recurrentes o modelos de series temporales (LSTM) son útiles para pronosticar condiciones y apoyar decisiones sobre densidad y manejo. No obstante, el rendimiento depende fuertemente de la calidad y cantidad de datos etiquetados.

Las métricas de desempeño técnico y económico deben incluir: tasa de mortalidad, FCR (feed conversion ratio), crecimiento diario medio (ADG o SGR), variabilidad de talla, y métricas económicas (ingresos, costos por kg, ROI). Estudios sobre FCR y su variabilidad en tilapia y análisis de valor económico muestran que mejoras en control ambiental y manejo pueden traducirse en ganancias significativas a nivel de explotación.

La ingeniería de sistemas proporciona el marco metodológico y tecnológico para el diseño de soluciones digitales orientadas a la gestión de datos. Este campo se centra en la integración

de hardware, software y procesos de negocio con el fin de optimizar la toma de decisiones y el control de sistemas complejos (Pressman & Maxim, 2021).

El desarrollo de una aplicación destinada al análisis de datos en piscicultura implica la definición de una arquitectura tecnológica que contemple tres niveles principales:

1. Captura de datos: integración de sensores, dispositivos móviles o formularios digitales que recolecten información en tiempo real sobre parámetros productivos.
2. Procesamiento y almacenamiento: utilización de bases de datos estructuradas y algoritmos analíticos que permitan organizar la información y generar indicadores de gestión.
3. Visualización y apoyo a la decisión: diseño de interfaces intuitivas y dinámicas que presenten los resultados de manera clara, facilitando la interpretación por parte de los productores (Rodríguez et al., 2019).

El diseño de estas aplicaciones debe responder no solo a criterios de funcionalidad técnica, sino también a consideraciones de usabilidad, accesibilidad y escalabilidad, con el fin de garantizar que los usuarios finales, pequeños y medianos piscicultores, puedan emplearlas de forma práctica y sostenible.

La acuicultura 4.0 y las tendencias digitales

El concepto de “acuicultura 4.0” surge como adaptación del paradigma de la industria 4.0 al sector acuícola. Este modelo integra tecnologías como el Internet de las cosas (IoT), inteligencia artificial (IA), big data y sistemas de automatización para transformar los procesos productivos hacia esquemas más inteligentes, sostenibles y competitivos (Zhang et al., 2021).

La incorporación de estas herramientas digitales permite monitorear en tiempo real el comportamiento de los peces y el entorno, optimizando la eficiencia energética, reduciendo desperdicios y mejorando los estándares de calidad. Asimismo, promueve la gestión sostenible de los recursos naturales, dado que el uso racional del agua y el alimento se convierte en un objetivo central de los sistemas de cultivo (Valenti et al., 2021).

Colombia, con su potencial acuícola, enfrenta el desafío de adaptar estas tendencias tecnológicas a las condiciones locales, donde aún persisten brechas en infraestructura digital

y formación tecnológica. Por tanto, el desarrollo de una aplicación adaptada al contexto nacional puede constituirse en un paso fundamental para democratizar el acceso a las innovaciones y fortalecer la competitividad de la piscicultura en el país (López & Sandoval, 2021).

En síntesis, la piscicultura en Colombia se encuentra en una fase de consolidación que demanda herramientas tecnológicas capaces de responder a los retos de productividad, sostenibilidad y competitividad. El análisis de datos emerge como un recurso esencial para gestionar de manera más precisa los procesos de cultivo, integrando la observación biológica y ambiental con modelos informáticos que facilitan la toma de decisiones.

Desde la ingeniería de sistemas, el desarrollo de una aplicación orientada al análisis de datos en piscicultura representa una convergencia entre ciencia, tecnología y producción acuícola. Este tipo de soluciones no solo aportan eficiencia y control, sino que también fortalecen la innovación en el sector, contribuyendo al desarrollo rural y a la inserción de la piscicultura colombiana en el marco de la acuicultura 4.0.

Metodología

El presente proyecto se desarrolla bajo el enfoque de investigación aplicada, ya que su propósito es diseñar una solución tecnológica para mejorar el registro y análisis de parámetros productivos en la piscicultura (Hernández-Sampieri, Fernández & Baptista, 2018). El estudio se orienta hacia el desarrollo de un prototipo funcional de software, sin intervención directa en procesos de cultivo ni incorporación de sensores en esta fase.

El proyecto es de tipo descriptivo y de desarrollo tecnológico, dado que describe las variables críticas de la producción piscícola y traduce dichos requerimientos en una herramienta digital que organiza la información y apoya la toma de decisiones (Rodríguez et al., 2019).

Para la construcción del prototipo se empleará la metodología ágil Scrum, que permite organizar el proceso de diseño, programación y validación en ciclos iterativos denominados *Sprints*. Este enfoque favorece la adaptación continua del software a los requerimientos del usuario final (Pressman & Maxim, 2021).

1. Levantamiento de requerimientos funcionales y no funcionales
 - Identificación de las necesidades del productor.

- Definición de estructuras de registro: pH, temperatura, oxigenación, densidad, alimentación, mortalidad, etc.
- 2. Diseño de interfaz y arquitectura
 - Elaboración de diagramas de flujo, navegación y prototipado visual (UI/UX).
 - Diseño de base de datos para almacenamiento estructurado.
- 3. Implementación del prototipo
 - Desarrollo de módulos básicos:
 - Registro de datos productivos.
 - Visualización de tendencias (gráficas y tablas).
 - Alertas informativas según rangos técnicos de referencia.
- 4. Pruebas y ajuste
 - Evaluación del funcionamiento técnico del prototipo.
 - Corrección de errores y mejoras de usabilidad.

La información será ingresada manualmente por el usuario, a partir de los registros de campo que el piscicultor ya realiza. De esta manera, la aplicación se integra a prácticas existentes sin requerir equipamientos adicionales.

Este enfoque permite que la aplicación se convierta en una plataforma estructurada de sistematización de datos, facilitando la lectura, interpretación y comparación de parámetros productivos en el tiempo (García-Peña et al., 2020).

En fases siguientes, la aplicación podrá complementarse con sensores IoT y análisis automatizado de datos, avanzando hacia un modelo de acuicultura de precisión (Zhang et al., 2021). Sin embargo, esta etapa corresponde a desarrollos posteriores y no forma parte del alcance del presente proyecto.

Lineamientos éticos, ambientales y normativos para el funcionamiento de la aplicación piscícola

El presente proyecto se orienta al diseño y desarrollo de una aplicación tecnológica que permita fortalecer el control y la gestión de los procesos en la piscicultura, contribuyendo a una producción más eficiente y sostenible. En el marco de su formulación, se ha considerado necesario realizar un análisis de las posibles restricciones ambientales, éticas, de salud y

legales, con el fin de garantizar que la propuesta responda a las exigencias normativas y promueva buenas prácticas dentro del sector acuícola colombiano.

La aplicación contempla la integración de herramientas que favorecen el uso responsable y sostenible de los recursos naturales, especialmente del agua, recurso esencial en la piscicultura. En coherencia con la Ley 99 de 1993, que establece los principios de sostenibilidad ambiental y la responsabilidad frente al uso de los recursos, y con el Decreto 1076 de 2015, que regula los permisos de aprovechamiento y manejo ambiental, el proyecto se ha diseñado de manera que promueva el monitoreo continuo de las condiciones del cultivo.

Entre sus funcionalidades, la aplicación incluye el registro de parámetros de calidad del agua como pH, oxígeno disuelto, temperatura y turbidez, lo cual permite al productor identificar variaciones que puedan afectar el ecosistema o el bienestar de los peces. De esta manera, la herramienta contribuye al cumplimiento de los lineamientos ambientales definidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015) y la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP, 2020), apoyando la conservación de los cuerpos hídricos y el manejo adecuado de los residuos generados en la producción.

Asimismo, el proyecto contempla la sensibilización del usuario frente al impacto ecológico de sus prácticas, incorporando alertas y registros que incentivan la adopción de estrategias sostenibles. De este modo, la aplicación no solo evita posibles restricciones ambientales, sino que se convierte en un instrumento de apoyo para la gestión ambiental y la trazabilidad de la producción piscícola.

Desde una perspectiva ética, la aplicación contempla principios orientados al bienestar animal, la transparencia en el manejo de la información y la inclusión tecnológica. Reconociendo que la piscicultura involucra el manejo de seres vivos, el proyecto integra lineamientos basados en el Código Sanitario para los Animales Acuáticos de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA, 2023), que promueven condiciones adecuadas de densidad, alimentación y cuidado sanitario.

El diseño de la aplicación también contempla la protección de los datos personales de los usuarios, de acuerdo con las disposiciones establecidas en la Ley 1581 de 2012. Para ello, el sistema incorpora mecanismos de seguridad y confidencialidad que garantizan el uso responsable de la información registrada. Además, se ha buscado que la interfaz sea accesible

y de fácil comprensión, de manera que tanto pequeños productores como piscicultores tecnificados puedan beneficiarse de su implementación.

En el ámbito sanitario, la aplicación contempla funciones orientadas a fortalecer la bioseguridad y la inocuidad alimentaria en los procesos de producción piscícola. Basándose en las disposiciones del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), establecidas mediante la Resolución 2905 de 2007, la herramienta permite llevar un control detallado del estado de salud de los lotes de peces, así como del uso de medicamentos o tratamientos preventivos.

De igual modo, la aplicación facilita el registro de prácticas relacionadas con la limpieza de estanques, la manipulación de alimentos y la calidad del agua, en coherencia con lo establecido en el Decreto 3075 de 1997 sobre las condiciones sanitarias para la producción y procesamiento de alimentos. Estas funcionalidades permiten garantizar la trazabilidad sanitaria y prevenir riesgos asociados a enfermedades o contaminaciones que puedan comprometer la calidad del producto final (Ministerio de Salud y Protección Social, 1997).

Desde el punto de vista jurídico, la aplicación contempla el cumplimiento de las normativas que regulan tanto la actividad acuícola como el uso de tecnologías digitales. En primer lugar, se reconoce que los productores deben contar con los permisos correspondientes para el aprovechamiento hídrico y la producción piscícola, conforme a las disposiciones de la AUNAP y las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR).

En cuanto al componente tecnológico, se contempla el registro de propiedad intelectual del software ante la Dirección Nacional de Derecho de Autor (DNDA), garantizando la protección de los derechos sobre el desarrollo. Así mismo, se da cumplimiento a las disposiciones del Estatuto del Consumidor (Ley 1480 de 2011), en caso de que la aplicación incorpore funciones de comercio electrónico o intercambio de productos.

De esta manera, el proyecto se enmarca en el cumplimiento legal exigido para las innovaciones tecnológicas en Colombia, fortaleciendo su legitimidad y proyección institucional.

El análisis realizado evidencia que el proyecto contempla de manera integral los aspectos ambientales, éticos, sanitarios y legales que intervienen en la producción piscícola. Su diseño no solo cumple con las disposiciones normativas, sino que busca fortalecer las buenas prácticas del sector, mediante el uso de una herramienta digital que promueve la sostenibilidad, la bioseguridad y la transparencia.

El análisis realizado a lo largo del presente proyecto permite reconocer que la piscicultura, y en particular el cultivo de tilapia en Colombia se encuentra en una etapa de consolidación que exige la incorporación de procesos tecnológicos capaces de responder a los desafíos productivos, ambientales y económicos del sector. Aunque el país posee condiciones naturales favorables, así como una creciente demanda nacional e internacional, la baja tecnificación en el monitoreo de parámetros ambientales y zootécnicos continúa limitando la eficiencia productiva y la sostenibilidad. Este escenario evidencia la necesidad de transitar hacia modelos de gestión basados en datos y en el soporte de sistemas informáticos que faciliten la toma de decisiones fundamentadas, oportunas y precisas.

En este sentido, la formulación de un sistema digital orientado al monitoreo y análisis integral de variables como el oxígeno disuelto, el pH, la temperatura, la concentración de nitritos y la densidad de cultivo constituye una alternativa viable para mejorar la productividad y reducir la mortalidad en los estanques. La capacidad de integrar, procesar e interpretar información en tiempo real no solo permite identificar anomalías antes de que se generen pérdidas significativas, sino que también proporciona al productor criterios técnicos para determinar la pertinencia de aumentar o disminuir la carga biomasa. Esto representa un avance importante frente a los métodos tradicionales basados en la experiencia empírica, los cuales, si bien han sostenido la producción durante años, resultan insuficientes ante las exigencias actuales del mercado y la sostenibilidad ambiental.

De igual forma, este proyecto pone de manifiesto que la digitalización de la acuicultura no se limita a la incorporación de dispositivos o plataformas tecnológicas, sino que implica un cambio en la lógica de gestión de los sistemas productivos. El uso de datos como eje para la toma de decisiones favorece la construcción de prácticas más racionales, responsables y orientadas a resultados medibles. Además, contribuye al fortalecimiento de la trazabilidad y la transparencia, elementos cada vez más valorados en los mercados internacionales y fundamentales para consolidar cadenas de valor sólidas y competitivas.

Desde una perspectiva ética, ambiental y normativa, la propuesta desarrollada se alinea con los principios de producción responsable, protección de los recursos hídricos, bienestar animal y seguridad alimentaria. La aplicación permite documentar condiciones de cultivo, registrar acciones sanitarias y promover prácticas que respetan los lineamientos establecidos por la AUNAP, el ICA y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Esto garantiza

que la modernización tecnológica no se lleve a cabo en detrimento de los ecosistemas o de las comunidades rurales, sino como una herramienta para fortalecerlas y brindarles mayores oportunidades de desarrollo sostenible.

Finalmente, se concluye que la integración entre ingeniería de sistemas y piscicultura representa un campo estratégico para el país, capaz de generar innovación, mejorar la productividad y contribuir a la competitividad internacional. El prototipo aquí propuesto constituye un primer paso hacia la implementación de modelos de acuicultura 4.0 accesibles para pequeños y medianos productores. Su desarrollo futuro podrá enfocarse en la incorporación de análisis predictivos, automatización de alertas y algoritmos de optimización, lo que permitiría avanzar de una gestión reactiva a una gestión anticipatoria y adaptativa. De este modo, el sector piscícola colombiano estaría en mejores condiciones para responder a los retos globales y consolidarse como un referente en producción sostenible y tecnificada.

Bibliografía

- Asche, F., & Roll, K. H. (2018). Aquaculture: Economic perspectives. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 40(3), 360–375.
- AUNAP. (2025). *Informe de exportaciones de tilapia – primer semestre 2025*. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). (2020). *Lineamientos para la sostenibilidad de la actividad piscícola en Colombia*. Bogotá: AUNAP.
- Bonfante Rodríguez, M. C., Marriaga González, C. E., Coneo Almanza, E. D., González Rodríguez, C., Regino-Vergara, J. Á., & López-Padilla, A. (2025). *Benefits and challenges of the internet of things in aquaculture production: a literature review*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9.
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2025, 24 junio). *FAO Promotes the Guidelines for Sustainable Aquaculture in Latin America and the Caribbean*. FAO América Latina y el Caribe.
- FAO; OECD. (2025). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2025–2034: Fish and other aquatic products*. OECD.
- García-Peña, I., Morales, D., & Peña, J. (2020). Data analysis and aquaculture: A review of applications and future trends. *Aquaculture Reports*, 17, 100-312.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2018). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.
- Hossam, R., Heakl, A., & Gomaa, W. (2024). *Precision Aquaculture: An Integrated Computer Vision and IoT Approach for Optimized Tilapia Feeding*. ArXiv.
- Ley 1581 de 2012. Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales. Diario Oficial No. 48.587.
- Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA. Diario Oficial No. 41.146.
- Ley 1480 de 2011. *Estatuto del Consumidor*. Diario Oficial No. 48.220.
- López, J., & Sandoval, A. (2021). Tecnologías digitales aplicadas a la piscicultura en Colombia. *Revista Colombiana de Acuicultura*, 13(2), 45-60.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Decreto 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (1997). *Decreto 3075 de 1997. Condiciones sanitarias para la fabricación, procesamiento y expendio de alimentos*.
- Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA). (2023). *Código sanitario para los animales acuáticos*. París: OMSA.
- Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2021). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (9th ed.). McGraw-Hill.
- Revista ACTA Agrosavia. (2021). *Technification-promoting policies and their effect on aquaculture productivity*. ACTA Agrosavia.
- Resolución 2905 de 2007. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Por la cual se establecen las condiciones sanitarias y de bioseguridad para las especies acuícolas.
- Rodríguez, L., Pérez, C., & Vargas, M. (2019). Aplicaciones móviles para el sector agropecuario: oportunidades y retos. *Revista Tecnologías de Avanzada*, 6(2), 21-34.
- Valenti, W. C., Kimpara, J. M., Preto, B. L., & Moraes-Valenti, P. (2021). Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. *Ecological Indicators*, 127, 107-117.
- World Health Organization; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in Action*. FAO.
- World Aquaculture Society. (2024, 12 septiembre). *Aquaculture in Colombia: Current Affairs in 2024*. WAS.
- Zhang, Z., Chen, C., & Li, Y. (2021). Smart aquaculture: Big data, IoT, and AI applications. *Aquaculture Engineering*, 95, 102-123.