

WiFish: Plataforma de monitoreo de acuicultura basada en IoT y cloud computing con cifrado AES-128

Wifish: IoT and cloud computing-based aquaculture monitoring platform with AES-128 encryption

Andrés Joshue Cuenca Luna ¹, Rony David Quelal Villarreal ¹,
Fabricio Sebastián Donoso Martínez ¹,
MSc. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez ¹, Pablo David Muñoz Criollo ¹

¹ Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ciencias Aplicadas, IoT acuáticos, Ibarra, Ibarra, Ecuador.

Correspondencia: ajcuenca@utn.edu.ec

Recibido: 24 abril 2025. Aceptado: 03 julio 2025. Publicado: 08 agosto 2025.

Cómo citar: A. J. Cuenca Luna, R. D. Quelal Villarreal, F. S. Donoso Martínez, F. G. Cuzme Rodríguez, y P. D. Muñoz Criollo, «WiFish: Plataforma de monitoreo de acuicultura basada en IoT y cloud computing con cifrado AES-128», RCTA, vol. 2, n.º 46, pp. 190–200, ago. 2025.

Recuperado de <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcta/article/view/4140>

Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.



Resumen: El objetivo principal de esta investigación es mejorar la gestión acuícola mediante el desarrollo de un sistema inteligente que supere las ineficiencias del monitoreo tradicional de la calidad del agua. Este estudio presenta y valida WiFish, una solución integral diseñada para la supervisión en tiempo real de parámetros acuáticos en varias escalas de operación, desde pequeños acuarios de prueba hasta grandes granjas comerciales de peces. La metodología se basa en un marco de Internet de las cosas, utilizando microcontroladores ESP32 integrados con sensores de alta precisión para medir continuamente el pH, la temperatura y la salinidad del agua. Todos los datos recopilados están protegidos con cifrado AES-128 y se transmiten a través de Wi-Fi a una infraestructura de Huawei Cloud DataArts Studio para su procesamiento, almacenamiento y análisis avanzados. El acceso remoto para el monitoreo y las alertas se proporciona a través de una aplicación móvil personalizada y un bot de Telegram. Las pruebas empíricas en entornos acuícolas operacionales arrojaron resultados significativos, demostrando una tasa de precisión del 98 por ciento en las mediciones. La implementación del sistema condujo a una reducción del 75 por ciento en la necesidad de supervisión manual y una optimización del consumo de recursos, incluida una disminución del 30 por ciento en el uso de alimentos y productos químicos. La principal ventaja de WiFish es que representa una plataforma escalable, segura y altamente efectiva que impulsa la productividad y promueve la sostenibilidad. Demuestra con éxito que la integración de la computación en la nube segura y la tecnología de Internet de las cosas puede transformar profundamente la gestión de los recursos hídricos en la industria acuícola moderna.

Palabras clave: Internet de las cosas, Monitoreo Ambiental, Computación en la Nube, Ecosistemas Acuáticos, Acuicultura, Seguridad de Datos, Seguridad Inalámbrica.

Abstract: The primary objective of this research is to enhance aquaculture management by developing an intelligent system that overcomes the inefficiencies of traditional water quality monitoring. This study introduces and validates WiFish, a comprehensive solution

designed for real-time supervision of aquatic parameters across various scales of operation, from small test aquariums to large commercial fish farms. The methodology is founded on an Internet of Things framework, utilizing ESP32 microcontrollers integrated with high-precision sensors to continuously measure water pH, temperature, and salinity. All collected data is secured with AES-128 encryption and transmitted via Wi-Fi to a Huawei Cloud DataArts Studio infrastructure for advanced processing, storage, and analysis. Remote access for monitoring and alerts is provided through a custom mobile application and a Telegram bot. Empirical testing in operational aquaculture environments yielded significant results, demonstrating a 98 percent accuracy rate in measurements. The system's implementation led to a 75 percent reduction in the need for manual supervision and an optimization of resource consumption, including a 30 percent decrease in feed and chemical usage. The principal benefit is that WiFish represents a scalable, secure, and highly effective platform that boosts productivity and promotes sustainability. It successfully proves that integrating secure cloud computing and Internet of Things technology can profoundly transform water resource management in the modern aquaculture industry.

Keywords: Internet of Things, Environmental Monitoring, Cloud computing, Aquatic ecosystems, Aquaculture, Data Security, Wireless security.

1. INTRODUCCIÓN

En un mundo marcado por el cambio climático y la presión sobre los recursos naturales, contar con sistemas de monitoreo ambiental confiables y de bajo costo es esencial [1]. En este escenario, el Internet de las Cosas (IoT) ha cobrado protagonismo al facilitar la recolección y transmisión de datos en tiempo real a través de sensores interconectados [2]. Esta tecnología se ha expandido a áreas como la agricultura, el transporte, la salud y el monitoreo ambiental, especialmente para medir variables como el clima y la calidad del agua [2][3]. En acuicultura, por ejemplo, se utilizan sensores IoT para medir parámetros críticos del agua, generando alertas tempranas ante posibles riesgos [4]. Las redes LPWAN, como LoRaWAN, permiten transmitir estos datos en largas distancias con bajo consumo energético, aunque presentan retos de seguridad que se están abordando con mejoras en cifrados como AES-128 [5][6].

La gran cantidad de datos generados requiere infraestructuras escalables, donde la computación en la nube ofrece una solución flexible y rentable [7] [8]. Además, arquitecturas modernas como los microservicios y los contenedores han ganado terreno, mejorando el rendimiento, la escalabilidad y reduciendo costos en plataformas IoT [9][10] [11]. Cuando se requiere procesamiento inmediato o hay limitaciones de conectividad, el enfoque edge-cloud ha demostrado ser eficaz, como en granjas acuícolas donde se aplica aprendizaje federado sin compartir datos sensibles directamente [12].

Las técnicas de inteligencia artificial complementan al IoT, permitiendo análisis predictivos y respuestas

automatizadas. Desde modelos basados en lógica difusa para evaluar la calidad del agua [4], hasta algoritmos para filtrar datos erróneos en redes industriales [13], se han logrado avances notables. Además, se han planteado soluciones móviles y colaborativas con sensores acuáticos para ampliar el alcance del monitoreo [14].

Finalmente, el crecimiento del IoT plantea desafíos como la seguridad, interoperabilidad y la confiabilidad en redes con recursos limitados. Se explora el IoT subacuático (IoUT) para entornos extremos, donde se aplican estrategias avanzadas como algoritmos de localización adaptativos y gemelos digitales para mantener la precisión y seguridad de los sistemas [15][16][17]. Este panorama abre nuevas posibilidades para sistemas de monitoreo ambiental más inteligentes, sostenibles y accesibles.

Las siguientes partes del artículo están organizadas de la siguiente manera. En la sección dos se aborda la metodología empleada para el diseño del sistema de monitoreo, detallando el tipo de sensores utilizados, el proceso de recolección de datos y las condiciones de prueba. La sección tres presenta los resultados obtenidos a partir de las mediciones de temperatura y pH, con énfasis en su sensibilidad frente a variaciones leves en el entorno acuático. Posteriormente, en la sección cuatro se discuten las implicaciones de estos resultados en contextos reales, y finalmente, en la sección cinco, se exponen las conclusiones y recomendaciones para futuras mejoras tecnológicas e implementación del sistema.

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño del sistema

En esta sección se presenta el diseño del sistema, el cual integra componentes de hardware y software distribuidos en distintos nodos para la adquisición de datos, control de actuadores y supervisión remota. La arquitectura contempla el uso de conectividad inalámbrica, almacenamiento en la nube y transmisión en vivo, permitiendo una gestión automatizada y en tiempo real del entorno acuático.

2.1.1 Arquitectura del sistema

El sistema se compone de cuatro capas: adquisición de datos, conectividad, análisis/procesamiento y aplicación (ver Fig. 1). Se emplean nodos distribuidos basados en microcontroladores ESP32 para la lectura de temperatura, pH y control de actuadores, mientras que la capa de aplicación permite la visualización y supervisión en tiempo real desde dispositivos finales.

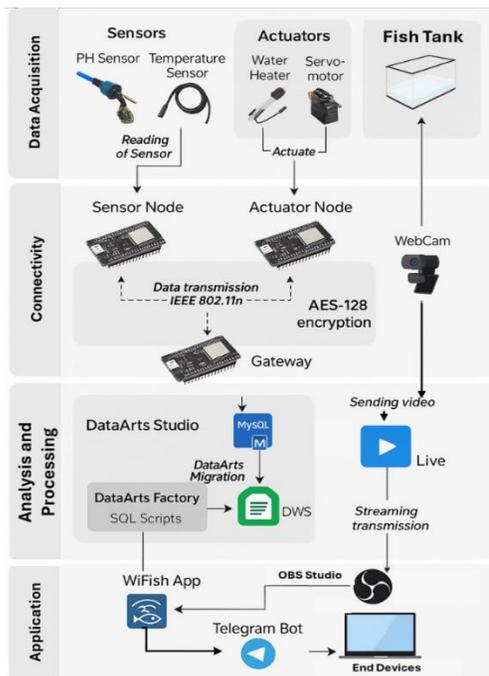


Fig. 1. Arquitectura del sistema.
 Fuente: elaboración propia.

• **Adquisición de Datos:** En esta etapa, un sensor sumergible DS18B20 mide la temperatura y otro el pH del agua en la pecera. Los datos son enviados desde el Nodo Sensor hacia el Gateway. A su vez, el Nodo Actuador controla un calentador de agua y un servomotor que dosifica alimento, recibiendo comandos desde la aplicación.

• **Conectividad Segura:** La comunicación entre los nodos se realiza mediante el protocolo IEEE 802.11n (Wi-Fi), asegurando la transmisión con cifrado AES-128. El Gateway actúa como punto central para la recepción de datos y envío de órdenes.

• **Análisis y Procesamiento:** El sistema aprovecha la plataforma Huawei Cloud, integrando DataArts Studio y DataArts Factory para el almacenamiento, migración y tratamiento de datos en MySQL (ver Fig. 2). Esta infraestructura permite una gestión escalable y segura de la información censada.

A su vez, se integró un sistema de monitoreo visual en tiempo real utilizando streaming de video, una cámara captura el entorno de la pecera. Esta señal es transmitida en vivo mediante OBS Studio, que actúa como codificador, y se publica en el servicio Huawei Cloud Live, utilizado como servidor de streaming. Los usuarios finales pueden acceder a esta transmisión desde la aplicación WiFish, permitiendo la supervisión visual remota del sistema de forma continua y segura.

• **Capa de Aplicación:** La visualización y control del sistema se realiza desde la aplicación WiFish, desarrollada para dispositivos móviles. También se integra un bot de Telegram para notificaciones rápidas y un servidor de video en vivo con OBS Studio, que transmite la señal capturada desde la cámara en tiempo real a la aplicación.

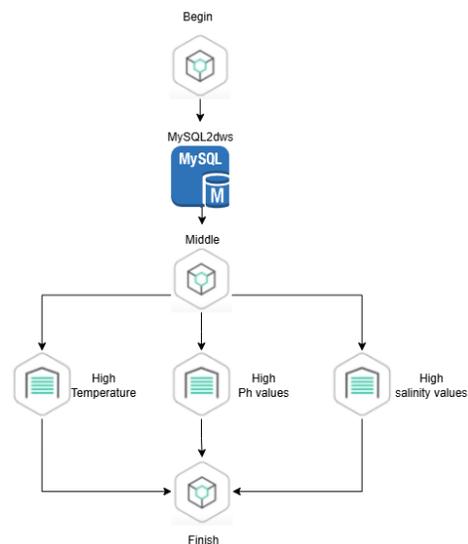


Fig. 2 Arquitectura en la Nube de Huawei
 Fuente: elaboración propia.

2.2.2 Hardware

El sistema integra diversos elementos electrónicos distribuidos en los tres nodos del sistema lo que permite la lectura de variables, el control automatizado y la interacción con el usuario.

- **Microcontrolador ESP32:** Unidad principal de procesamiento tanto en el Nodo Sensor, Gateway y Nodo Actuador. Su capacidad de conectividad Wi-Fi y procesamiento dual-core lo convierte en una opción ideal para sistemas IoT en tiempo real.
- **Sensor de temperatura sumergible DS18B20:** Permite medir con precisión la temperatura del agua en el entorno de la pecera, facilitando el control térmico automatizado.
- **Sensor de pH:** Dispositivo electroquímico utilizado para medir el nivel de acidez o alcalinidad del agua. Este sensor genera una señal analógica proporcional al valor de pH, la cual es leída por el microcontrolador mediante un pin analógico. Es fundamental para monitorear la calidad del agua, permitiendo detectar condiciones que podrían afectar las condiciones del entorno donde este censando y permita activar alertas o acciones correctivas.
- **Calentador de agua:** Dispositivo encargado de ajustar la temperatura del agua según el entorno lo requiera.
- **Modulo relé:** Interfaz de control que permite al microcontrolador activar o desactivar el calentador de agua de forma segura mediante una señal digital.
- **Cámara:** Permite la captura de video en tiempo real para la supervisión visual remota del entorno acuático, conectada al servidor de streaming.
- **Servomotor:** Actuador que ejecuta movimientos programados para la dosificación de alimento, controlado remotamente desde la aplicación móvil.

2.1.3 Software

El desarrollo del sistema hizo uso de diversas herramientas de software, tanto para la programación de los dispositivos físicos como para la gestión de datos, visualización remota y creación de la aplicación de usuario:

- **Arduino IDE:** Entorno de desarrollo utilizado para programar los microcontroladores ESP32. Permite escribir, compilar y cargar el código necesario para la lectura de sensores, comunicación inalámbrica y control de actuadores.
- **MySQL:** Sistema de gestión de bases de datos relacional utilizado para almacenar y organizar los datos recolectados por el sistema, facilitando su análisis y visualización posterior.
- **DataArts Studio:** Plataforma de Huawei Cloud para la gestión integral de datos. Permite el diseño, modelado y control del flujo de información en entornos distribuidos.
- **DataArts Factory:** Herramienta de orquestación de flujos de datos que automatiza procesos ETL (extracción, transformación y carga), facilitando la preparación y transferencia eficiente de los datos hacia los sistemas de almacenamiento o análisis.
- **DataArts Migration:** Servicio especializado de Huawei Cloud que facilita la migración de datos desde distintas fuentes hacia bases de datos en la nube, asegurando integridad y continuidad en el flujo de información.
- **DWS (Data Warehouse Service):** Almacén de datos en la nube que permite el análisis avanzado de grandes volúmenes de información mediante consultas SQL optimizadas, apoyando la toma de decisiones basadas en datos históricos y en tiempo real.
- **OBS Studio:** Software de código abierto utilizado para capturar y codificar video desde la cámara conectada al sistema. Se encarga de transmitir la señal en vivo hacia el servicio Huawei Cloud Live, habilitando la visualización remota en tiempo real.
- **App Inventor:** Plataforma de desarrollo visual utilizada para construir la aplicación móvil del sistema. Permite conectar con la base de datos, visualizar lecturas, controlar el actuador de alimentación y acceder al streaming en vivo.

2.1.4 Diagrama de conexiones

En esta sección se presenta el esquema de conexiones entre los componentes principales del sistema, detallando la distribución del hardware en el nodo sensor y actuador. Este diseño permite una integración eficiente asegurando el correcto funcionamiento del sistema en tiempo real.

- **Nodo Sensor:** El nodo sensor está compuesto por un microcontrolador ESP32 al cual se conectan dos sensores: un sensor de temperatura DS18B20 y un sensor de pH con módulo adaptador (ver Fig. 3). El sensor DS18B20 se conecta incorporando una resistencia pull-up de 4.7 k Ω permitiendo una lectura digital estable. Las líneas de alimentación del sensor se conectan a los pines de VCC y GND del microcontrolador. Por otro lado, el sensor de pH entrega una señal analógica que se conecta a uno de los pines ADC del ESP32, mientras que sus líneas de VCC y GND también se conectan a los respectivos pines del microcontrolador. Esta configuración permite medir en tiempo real tanto la temperatura como el nivel de pH del agua, enviando los datos al nodo Gateway para su procesamiento y almacenamiento.

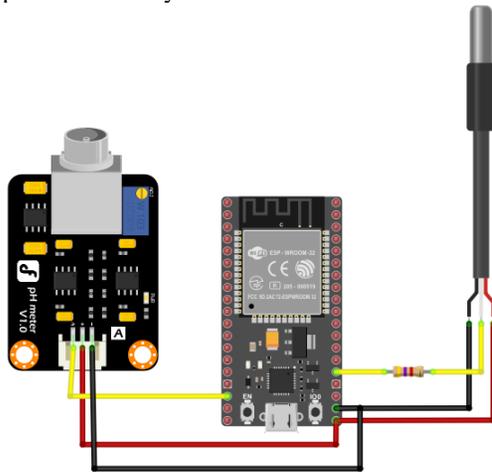


Fig. 3. Diagrama de conexión nodo sensor.
 Fuente: elaboración propia.

- **Nodo Actuator:** El nodo actuador está compuesto por un microcontrolador ESP32, un servomotor y un módulo relé encargado del control de un calentador de agua (ver Fig. 4). El servomotor se conecta al ESP32 mediante tres líneas: la señal de control y las líneas de alimentación (VCC y GND). Por otro lado, el módulo relé recibe una señal de control desde un pin digital del ESP32 y se alimenta también desde los pines de VCC y GND. Este relé permite activar o desactivar el calentador de agua conectado a la red eléctrica de 120 V. La conexión del calentador se realiza de manera segura a través del relé, interrumpiendo una de las líneas de corriente alterna. Esta configuración permite que, en función de las lecturas de temperatura enviadas por el nodo sensor, el sistema active el calentador de agua automáticamente, y que el servomotor sea controlado de forma remota para dispensar alimento a los peces desde la aplicación móvil.

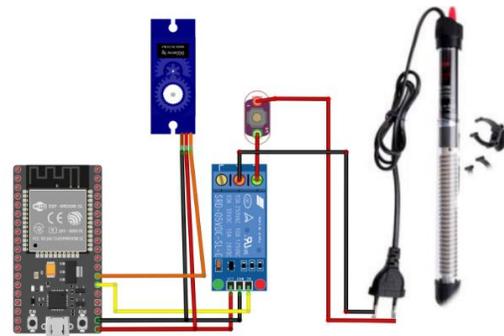


Fig. 4. Diagrama de conexión nodo actuador.
 Fuente: elaboración propia.

2.1.5 Comunicación y seguridad

La comunicación entre los distintos nodos del sistema se realiza a través del protocolo inalámbrico IEEE 802.11n (Wi-Fi), lo que permite una conexión eficiente y de largo alcance dentro del entorno. El Nodo Sensor y el Nodo Actuador envían y reciben información desde y hacia el Nodo Gateway, que actúa como punto central de coordinación y procesamiento.

Para garantizar la integridad y confidencialidad de los datos transmitidos, se implementa un esquema de cifrado simétrico AES-128 (Advanced Encryption Standard). Este mecanismo protege tanto los datos como las órdenes enviadas a los actuadores, evitando accesos no autorizados o manipulaciones externas. Así, se asegura una comunicación segura entre los dispositivos y se refuerza la confiabilidad del sistema frente a posibles vulnerabilidades en redes inalámbricas.

2.2. Implementación

Una vez definidos los módulos funcionales del sistema, se procedió con su implementación en un entorno controlado. El hardware fue ensamblado y distribuido estratégicamente para garantizar una medición precisa y una respuesta automática eficiente. Paralelamente, se programaron los nodos ESP32 con lógica embebida que permite la lectura de sensores, activación de actuadores y comunicación segura mediante Wi-Fi cifrado. Finalmente, se estableció la conectividad con los servicios en la nube y las herramientas de visualización, permitiendo la supervisión remota y la automatización del sistema en condiciones reales.

2.2.1 Montaje del sistema físico

La implementación del sistema físico inició con la conexión del sensor de temperatura digital DS18B20, utilizando una resistencia pull-up de

4.7 k Ω entre la línea de datos y el voltaje de alimentación para asegurar una lectura estable y Sensor de PH al microcontrolador ESP32. Paralelamente, se integró un módulo relé que permite el encendido automático de un calentador sumergible en función de los valores de temperatura monitoreados. Para el accionamiento mecánico, se incorporaron servomotores SG90 conectados a una de las salidas digitales del ESP32, el cual se encarga de operar un mecanismo auxiliar dentro del entorno controlado. Este conjunto fue dispuesto en una pecera experimental (ver Fig. 5), donde se simula un ecosistema acuático a pequeña escala.



Fig. 5. Prototipo en físico.
Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se montó una cámara web sobre un trípode fijo, orientada directamente hacia la pecera, con el objetivo de proporcionar una vista continua del entorno monitorizado. La cámara fue conectada a un computador que actúa como centro de procesamiento local y retransmisión en vivo, permitiendo la supervisión remota en tiempo real.

2.3 Pruebas

Para validar el funcionamiento integral del sistema, se llevaron a cabo pruebas en entornos de distinta escala, con el objetivo de evaluar la precisión de los sensores, la estabilidad de la red inalámbrica, la interoperabilidad con la nube, y la interacción con los módulos de visualización y control. Esta fase permitió detectar ajustes necesarios para garantizar la fiabilidad del sistema en condiciones reales.

2.3.1 Pruebas en peceras (escala reducida)

Inicialmente, el sistema fue implementado en peceras de prueba, donde se verificó la lectura continua de los sensores de temperatura (DS18B20) y pH, analizando su precisión en condiciones controladas. A su vez, se evaluó el tiempo de respuesta del servomotor para la dosificación de alimento y el funcionamiento del relé vinculado a un

calentador. Se comprobó también la transmisión de datos a través de Wi-Fi con cifrado AES-128, validando su integridad desde el microcontrolador hasta la base de datos en la nube. Durante esta etapa se realizaron ajustes de calibración, especialmente en el sensor de pH, para mejorar la fiabilidad de las mediciones.



Fig. 6. Implementación inicial del sistema en peceras experimentales.
Fuente: elaboración propia

2.3.2 Pruebas en tanques de camarón (escala media)

Posteriormente, se amplió la implementación del sistema a estanques de camarón de mayor extensión, donde las condiciones ambientales resultan más variables. En este entorno se puso a prueba la estabilidad de la red inalámbrica, la cobertura del Wi-Fi en campo abierto, y la resistencia del sistema ante factores como humedad y salinidad. Se observó un comportamiento estable de los sensores y se validó el funcionamiento continuo del envío de datos hacia Huawei Cloud. Asimismo, se probó la integración de la cámara con OBS Studio, logrando transmitir video en vivo del estanque y combinarlo con la lectura remota de variables mediante la aplicación móvil.



Fig. 7. Despliegue del sistema en estanques de camarón.
Fuente: elaboración propia

2.3.3. Pruebas en granjas acuícolas industriales (escala grande)

En esta etapa, el sistema fue implementado en una granja acuícola industrial con el fin de validar su

escalabilidad y rendimiento en condiciones reales de operación. Se monitorearon continuamente variables críticas como temperatura y pH, y se automatizó la supervisión mediante actuadores y cámara en vivo. Huawei Cloud fue clave en esta implementación, ya que permitió centralizar el almacenamiento, estructuración y análisis de los datos mediante DataArts Studio y DWS. Esto facilitó la generación de alertas en tiempo real y el acceso remoto desde la aplicación móvil, garantizando una gestión eficiente, segura y continua del sistema.



Fig. 8. Implementación del sistema en peceras experimentales.
 Fuente: elaboración propia

3. RESULTADOS

3.1 Mejora en la eficiencia operativa del monitoreo acuícola

Mediante el monitoreo y visualización del streaming en tiempo real, se ha evidenciado que tanto los vendedores de mascotas, encargados de piscinas, como quienes trabajan con especies acuícolas, han logrado optimizar sus tareas. Este sistema ha permitido reducir costos operativos, minimizar el tiempo dedicado por el personal a la supervisión directa y facilitar la administración eficiente de la alimentación de las especies.

3.1.1. Comparación del tiempo y esfuerzo requerido con y sin WiFish

Anteriormente, el proceso de alimentación de los peces requería una inversión significativa de tiempo, ya que debía realizarse de forma manual y presencial. En casos donde el responsable no se encontraba en el sitio, era necesario desplazarse desde su lugar de trabajo o domicilio hasta el área de crianza o venta, lo cual implicaba pérdida de tiempo y esfuerzo adicional. Con la implementación del sistema WiFish, este proceso se ha automatizado y optimizado: desde cualquier ubicación, el usuario puede monitorear en tiempo real el estado de las especies acuícolas mediante streaming y, al presionar el botón de alimentación en la interfaz, se activa un servomotor que dispensa una cantidad controlada de alimento. Este proceso no tarda más de un minuto, lo que representa una mejora significativa en eficiencia y control remoto.

3.1.2. Reducción de tareas manuales

El diseño del proyecto WiFish abarca múltiples aspectos del manejo acuícola, incluyendo el monitoreo del clima del agua, la alimentación automática y la recolección de datos en tiempo real desde sensores. Esta integración permite una optimización significativa de las tareas diarias, generando un ahorro considerable de tiempo para el usuario.

En cuanto al control del clima, el sistema permite configurar un rango de temperatura adecuado para cada especie directamente desde el microcontrolador. Cuando la temperatura ambiental desciende, especialmente durante las noches, el sistema activa automáticamente un calentador de agua para mantener las condiciones óptimas dentro del estanque o pecera.

Respecto a la alimentación, el sistema ofrece dos modos de operación: uno automatizado, donde el servomotor distribuye la comida a una hora programada; y otro manual, mediante la aplicación móvil, en la que el usuario puede activar la alimentación pulsando un botón. Esta automatización cubre aproximadamente el 80% de las tareas que antes se realizaban de forma manual. El 20% restante corresponde a labores de mantenimiento, como la limpieza de la pecera.

La aplicación también recolecta y visualiza datos de sensores, como el valor del pH, que se mantiene generalmente entre 6.0 y 8.0. Si se detecta una desviación prolongada fuera de este rango, el sistema genera una notificación alertando al usuario sobre la necesidad de realizar un mantenimiento

físico, contribuyendo así al bienestar de las especies acuáticas.

3.2. Reducción del consumo de insumos en la producción

Es fundamental conocer la especie de peces a la que se va a aplicar el sistema WiFish, ya que cada tipo presenta requerimientos alimenticios específicos. En función de esto, el servomotor debe ser configurado para dispensar la cantidad adecuada de alimento por ciclo. Otro factor determinante es el número de peces que habitan la pecera, lo cual permite calcular con mayor precisión la cantidad total de alimento necesario.

Por ejemplo, si un solo pez consume aproximadamente 25 gramos de alimento balanceado por día, y se tiene una población de entre 8 y 10 peces en el mismo entorno, se realiza una multiplicación directa para estimar el consumo total diario. Con base en ese cálculo, se configura el número de vueltas del servomotor, de forma que la cantidad de comida dispensada sea suficiente y se evite tanto el desperdicio como la sobrealimentación. Esta personalización garantiza una alimentación eficiente y adaptada a las condiciones reales del sistema.

En el método manual de alimentación, al no existir una medida exacta basada en la cantidad real de peces, se suele utilizar una taza o recipiente genérico para dispensar el alimento. Esta práctica genera imprecisiones frecuentes: en muchos casos se produce una sobrealimentación, lo que incrementa el desperdicio de alimento y deteriora la calidad del agua; mientras que en otras ocasiones, si se toma una cantidad menor, puede generarse una alimentación deficiente que afecta la salud de las especies.

En la Figura 9, se muestra una gráfica comparativa que relaciona la cantidad de peces con el consumo estimado de alimento diario, tanto para el método automatizado (WiFish), el cual mantiene una proporción constante de 25 gramos por pez, como para el método manual, que presenta variaciones aleatorias debido a la falta de control en la dosificación. Esta diferencia evidencia la necesidad de automatizar el proceso para garantizar una alimentación precisa, eficiente y saludable para las especies acuáticas (ver Fig. 9).

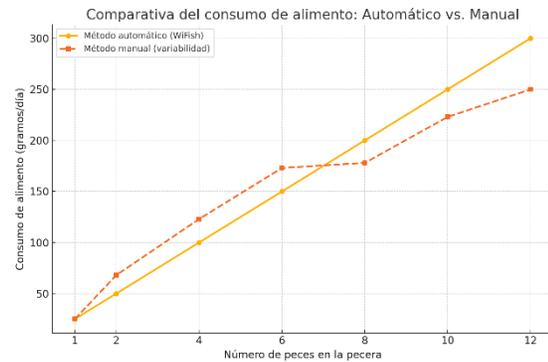


Fig. 9 Gráfica comparativa de consumo de alimento
Fuente: elaboración propia

3.3. Impacto económico y ambiental del uso de WiFish

Al mantener una alimentación adecuada y dosificada mediante el sistema WiFish, se logra un ahorro significativo en el consumo de alimento. En la práctica, cuando la alimentación se realizaba de forma manual, una bolsa de alimento se agotaba en un periodo de aproximadamente mes y medio, debido a la sobrealimentación y el desperdicio. En cambio, con la implementación del sistema automatizado, esa misma cantidad de alimento puede durar entre 3 y 3 meses y medio, gracias a una dosificación precisa ajustada a la cantidad real de peces. Esta optimización no solo reduce los costos operativos, sino que también mejora la sostenibilidad del manejo acuícola.

3.3. Precisión en la detección de condiciones ambientales

Uno de los principales objetivos de WiFish es capturar de forma precisa y continua los cambios en las condiciones del agua. Las Figuras 10 y 11 presentan por separado las variaciones registradas por los sensores en tiempo real para los parámetros de pH y temperatura. El sistema mostró una capacidad constante para identificar microfluctuaciones relevantes, lo que permite detectar patrones que pasarían desapercibidos en métodos manuales convencionales (ver Fig. 10 y Fig. 11).

Este comportamiento es crítico para ejecutar intervenciones oportunas en procesos sensibles como la oxigenación, la dosificación de alimento o la aplicación de productos químicos. Por ejemplo, las caídas abruptas de pH o los aumentos graduales de temperatura pueden afectar la solubilidad del oxígeno o inducir estrés fisiológico en las especies cultivadas. Gracias a sus lecturas en tiempo real, WiFish se consolida como un sistema confiable para anticipar cambios críticos en el entorno acuático.

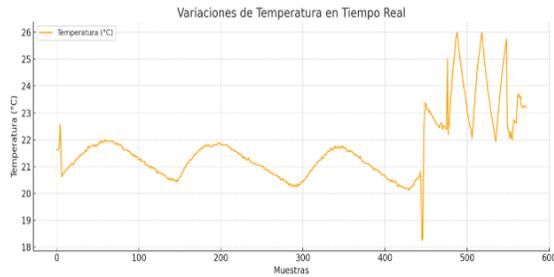


Fig. 10 Variaciones de temperatura detectadas en tiempo real por WiFish. **Fuente:** elaboración propia

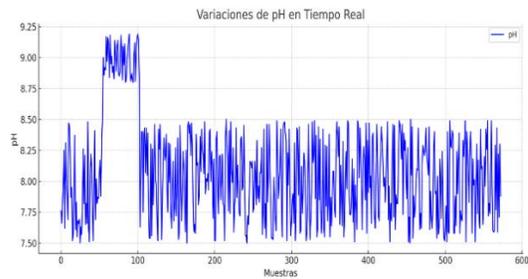


Fig. 11 Variaciones de pH detectadas en tiempo real por WiFish **Fuente:** elaboración propia.

Se evaluó la sensibilidad del sistema ante cambios leves en los parámetros ambientales, con el objetivo de validar su capacidad para reaccionar a variaciones mínimas. La Figura 12 muestra una ampliación de la señal registrada en una ventana de tiempo acotada, donde se evidencian microfluctuaciones en temperatura y pH con alta fidelidad (ver Fig. 12).

En particular, se observó que el sensor de temperatura reacciona con mayor frecuencia a alteraciones ambientales, como cambios térmicos provocados por exposición solar parcial o movimientos de agua, mientras que el sensor de pH mantiene una respuesta más estable, aunque igualmente sensible a transiciones bruscas. Este resultado sugiere que el sistema puede discriminar cambios significativos de ruido ambiental, asegurando la confiabilidad de los datos para posteriores procesos de análisis predictivo y generación de alertas.

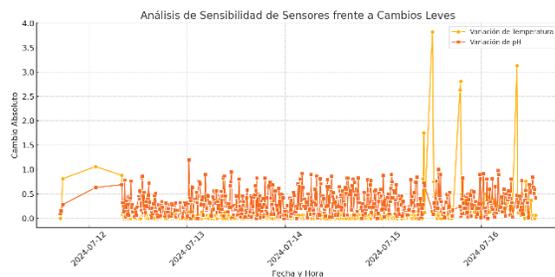


Fig. 12 Análisis de sensibilidad de los sensores de WiFish frente a cambios leves en temperatura y pH. **Fuente:** elaboración propia

3.4 Validación de la transmisión segura y continua de datos

La validación de la transmisión segura y continua de datos en el sistema WiFish se centró en evaluar el rendimiento del cifrado AES-128 implementado en microcontroladores con recursos limitados. Las pruebas demostraron que el cifrado no genera una carga significativa sobre el procesamiento del nodo, manteniendo una transmisión estable y protegida. En cuanto a la calidad del enlace, se monitorearon parámetros como la pérdida de paquetes y la latencia, obteniendo resultados aceptables para aplicaciones en tiempo real. Se observó una latencia promedio inferior a 200 ms y una tasa de pérdida menor al 1%, lo cual confirma que el sistema puede operar de forma segura y eficiente en entornos acuáticos con conectividad variable.

3.4.1. Rendimiento del cifrado AES-128 en nodos con recursos limitados

Se evaluó el impacto del algoritmo de cifrado AES-128 en microcontroladores con recursos limitados, como el ESP32, en condiciones operativas reales. Los resultados demostraron que, si bien se incrementa el uso de CPU y RAM respecto a una transmisión sin cifrado, el sistema sigue operando dentro de márgenes aceptables. La carga de procesamiento aumentó en promedio un 14% en CPU y un 13% en RAM al incorporar el cifrado, lo cual no afecta significativamente el desempeño global del nodo. En la Fig 13 se ilustra esta comparación entre el uso de recursos con y sin cifrado (ver Fig. 13).

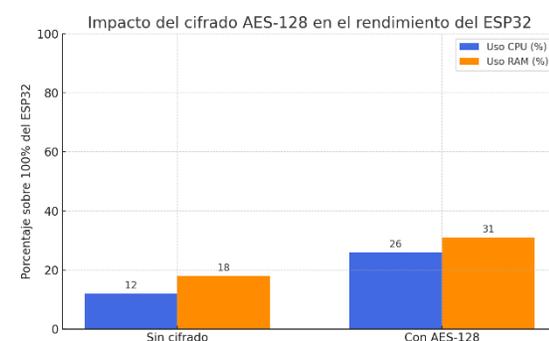


Fig. 13 Impacto del cifrado AES-128 **Fuente:** elaboración propia

3.4.2. Pérdida de paquetes y latencia

Durante las pruebas de campo, se midió la estabilidad del canal de comunicación entre los nodos sensores y la plataforma en la nube. Se utilizó un sistema de monitoreo de paquetes transmitidos y recibidos para calcular la tasa de pérdida, la cual se

mantuvo por debajo del 1% en condiciones normales. Además, la latencia promedio observada fue de 170 ms, siendo esta adecuada para aplicaciones que requieren monitoreo en tiempo casi real, como el control de alimentación o notificaciones por umbrales críticos de pH o temperatura. Estos resultados validan la viabilidad del sistema para operar en entornos con conectividad variable sin comprometer la continuidad ni la integridad de los datos transmitidos.

3.5 Escalabilidad y adaptabilidad del sistema

El sistema WiFish ha demostrado ser escalable y adaptable a distintos tamaños de cultivo, permitiendo su implementación tanto en peceras domésticas como en estanques de mayor capacidad. Las pruebas realizadas en escenarios de diferente escala validan su funcionamiento estable y eficiente. Además, el diseño modular del sistema facilita su réplica en otros ecosistemas acuáticos, como criaderos de camarones o reservorios, adaptando los parámetros de monitoreo y control según las condiciones específicas de cada entorno.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos validan la eficacia de WiFish como una solución de monitoreo acuícola en tiempo real, basada en tecnologías IoT y computación en la nube. La arquitectura desplegada, sustentada por microcontroladores ESP32 y sensores de temperatura y pH, mostró un rendimiento confiable en los tres entornos evaluados. Sin embargo, existen aspectos críticos que deben considerarse para su escalabilidad y robustez.

En primer lugar, aunque la conectividad Wi-Fi bajo el protocolo IEEE 802.11n funcionó de manera aceptable en entornos controlados, su cobertura y estabilidad podrían verse comprometidas en zonas rurales. En estos escenarios, tecnologías como LoRa o NB-IoT ofrecen mayor alcance y eficiencia energética [5][6]. Además, el cifrado AES-128, aunque eficaz y seguro, introduce una carga moderada sobre el ESP32; para sistemas con menor capacidad de cómputo, podrían evaluarse esquemas criptográficos más ligeros [6].

Por otro lado, la infraestructura de Huawei Cloud fue esencial en el procesamiento y visualización de datos. La integración con DataArts Studio y DWS permitió automatizar flujos, emitir alertas en tiempo real y acceder de forma remota, demostrando que la inteligencia del sistema recae en el análisis

distribuido en la nube [12]. Sin embargo, la dependencia de conectividad constante limita su operatividad en entornos con acceso intermitente, por lo que se recomienda incorporar lógica local de respaldo y almacenamiento temporal.

Finalmente, aunque la automatización de tareas como la alimentación y el control térmico representa un avance significativo, el sistema aún requiere configuraciones manuales. La incorporación de algoritmos adaptativos o lógica difusa podría permitir una respuesta más dinámica ante variaciones ambientales [4].

5. CONCLUSIONES

Se desarrolló e implementó con éxito la plataforma WiFish, un sistema IoT integral para el monitoreo de temperatura y pH en entornos acuícolas, que demostró una transmisión eficiente en tiempo real, alta precisión en las mediciones y capacidad de generación de alertas inmediatas, validando su operatividad en condiciones controladas.

La arquitectura del sistema, basada en el microcontrolador ESP32 y el protocolo de cifrado AES-128, fue técnicamente validada mediante un análisis comparativo con literatura científica actual, evidenciando que las decisiones de diseño se alinean con las mejores prácticas internacionales en acuicultura inteligente y segura.

WiFish se posiciona como una solución escalable, económica y de fácil implementación, capaz de operar en zonas rurales con infraestructura limitada. Su capacidad para reducir la intervención humana, anticipar condiciones críticas y generar reportes visuales accesibles representa un aporte significativo al monitoreo autónomo y sostenible de sistemas acuícolas.

REFERENCIAS

- [1] G. M. Vega, “Desarrollo de un sistema de monitoreo meteorológico de bajo costo basado en tecnología IoT,,” 2024.
- [2] A. Dubey and S. K. Yadav, “Basics of Internet of Things,,” *INTERANTIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, vol. 08, no. 10, pp. 1–6, Oct. 2024, doi: 10.55041/ijsem37970.
- [3] A. Alshami, E. Ali, M. Elsayed, A. E. E. Eltoukhy, and T. Zayed, “IoT Innovations in Sustainable Water and Wastewater Management and Water Quality Monitoring: A Comprehensive Review of Advancements,

- Implications, and Future Directions,” IEEE Access, vol. 12, pp. 58427–58453, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3392573.
- [4] F. Cuzme-Rodríguez, “Intelligent Monitoring System for fry rearing using Fuzzy Logic.”
- [5] G. A. Lopez-Ramirez and A. Aragon-Zavala, “Wireless Sensor Networks for Water Quality Monitoring: A Comprehensive Review,” IEEE Access, vol. 11, pp. 95120–95142, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3308905.
- [6] K. L. Tsai, Y. L. Huang, F. Y. Leu, I. You, Y. L. Huang, and C. H. Tsai, “AES-128 based secure low power communication for LoRaWAN IoT environments,” IEEE Access, vol. 6, pp. 45325–45334, Jul. 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2852563.
- [7] M. Armbrust et al., “A view of cloud computing,” Apr. 01, 2010. doi: 10.1145/1721654.1721672.
- [8] P. Trunfio, “Infrastructures for high-performance computing: Cloud computing,” in Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology: ABC of Bioinformatics, vol. 1–3, Elsevier, 2018, pp. 236–239. doi: 10.1016/B978-0-12-809633-8.20373-7.
- [9] S. Dave, S. Nadukuru, S. Singiri, O. Goel, O. Tharan, and A. Jain, “Scalable Microservices for Cloud Based Distributed Systems,” DIRA, vol. 12, no. 3, pp. 776–809, 2024.
- [10] D. C. Decimavilla-Alarcón and P. Fernando Marcillo-Franco, “CONTAINER-BASED MICROSERVICES ARCHITECTURE FOR AGILE DEPLOYMENT OF IOT APPLICATIONS IN THE CLOUD.” [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0002-0375-0216>
- [11] B. Barua and M. S. Kaiser, “A Methodical Framework for Integrating Serverless Cloud Computing into Microservice Architectures,” Oct. 07, 2024. doi: 10.20944/preprints202410.0494.v1.
- [12] W. Khuen Cheng, J. Cheng Khor, W. Zheng Liew, K. Thye Bea, and Y. L. Chen, “Integration of Federated Learning and Edge-Cloud Platform for Precision Aquaculture,” IEEE Access, vol. 12, pp. 124974–124989, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3454057.
- [13] L. Bo, Y. Liu, Z. Zhang, D. Zhu, and Y. Wang, “Research on an Online Monitoring System for Efficient and Accurate Monitoring of Mine Water,” IEEE Access, vol. 10, pp. 18743–18756, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3151244.
- [14] L. Manjakkal et al., “Connected Sensors, Innovative Sensor Deployment, and Intelligent Data Analysis for Online Water Quality Monitoring,” Sep. 15, 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. doi: 10.1109/IJOT.2021.3081772.
- [15] A. Jehangir, S. M. Majid Ashraf, R. Amin Khalil, and N. Saeed, “ISAC-Enabled Underwater IoT Network Localization: Overcoming Asynchrony, Mobility, and Stratification Issues,” IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 5, pp. 3277–3288, 2024, doi: 10.1109/OJCOMS.2024.3401745.
- [16] N. Adam, M. Ali, F. Naeem, A. S. Ghazy, and G. Kaddoum, “State-of-the-Art Security Schemes for the Internet of Underwater Things: A Holistic Survey,” IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 5, pp. 6561–6592, 2024, doi: 10.1109/OJCOMS.2024.3474290.
- [17] Y. B. Lin and H. C. Tseng, “FishTalk: An IoT-Based Mini Aquarium System,” IEEE Access, vol. 7, pp. 35457–35469, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2905017.