

Internet de las cosas y cadena de bloques para monitorear la calidad del agua en estanques de cultivo de peces

Internet of Things and blockchain to monitor water quality in fish farming ponds
Emilio Zhuma Mera ^a

Abstract:

At the State Technical University of Quevedo, La María campus, IoT devices were implemented in fish farming, with data being sent to a cloud, generating issues of integrity and security. This research integrated IoT and blockchain to improve data collection and management, enhancing the efficiency and sustainability of the process. A qualitative and applied methodology was adopted, evaluating a decentralized blockchain-based system for IoT in aquaculture. A hybrid storage solution was identified as optimal, combining the scalability of the cloud (Firebase) with the integrity of blockchain (Ganache), with data verification conducted through a WebApp. This approach addresses security and efficiency issues, providing reliable and scalable management for the aquaculture industry.

Keywords:

Aquaculture, IoT, Information Security, Blockchain.

Resumen:

En la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, campus La María, se implementaron dispositivos IoT en cultivos de peces, cuyos datos se envían a una nube, generando problemas de integridad y seguridad. Esta investigación integró IoT y cadena de bloques para mejorar la recolección y gestión de datos, aumentando la eficiencia y sostenibilidad del proceso. Se adoptó una metodología cualitativa y aplicada, evaluando un sistema descentralizado basado en cadena de bloques para IoT en acuicultura. Se identificó como solución óptima un almacenamiento híbrido, combinando la escalabilidad de la nube (Firebase) con la integridad de cadena de bloques (Ganache), verificando los datos mediante una AppWeb. Este enfoque resuelve problemas de seguridad y eficiencia, ofreciendo una gestión confiable y escalable para la industria acuícola.

Palabras Clave:

Acuicultura, IoT, Seguridad de la Información, Cadena de bloques

INTRODUCCIÓN

La acuicultura se ha consolidado como un sector clave para la economía y la seguridad alimentaria a nivel global, especialmente en países como Ecuador, que se posiciona como uno de los principales exportadores de peces en el mundo. Este sector se encuentra inmerso en una revolución digital, impulsada por tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), que prometen aumentar la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la productividad. Sin embargo, esta transformación no está exenta de desafíos, particularmente en lo que respecta al almacenamiento, gestión y análisis de los grandes volúmenes de datos generados por estos sistemas tecnológicos.

En Ecuador, la acuicultura moderna ha adoptado prácticas innovadoras, como la investigación genética y la optimización de recursos, para reducir los tiempos de cultivo y aumentar los rendimientos. No obstante, el éxito de estas prácticas depende en gran medida de factores críticos, como la calidad del agua en los estanques de cultivo. Parámetros como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica deben mantenerse dentro de rangos específicos para garantizar el crecimiento y desarrollo óptimo de las especies acuáticas. Actualmente, el monitoreo de estos parámetros suele ser manual, lo que resulta en mediciones poco frecuentes, inexactas y con un alto riesgo de error humano, limitando la capacidad de los

^a Autor de Correspondencia, Universidad Técnica Estatal de Quevedo | Facultad de Ciencias de la Ingeniería | Quevedo | Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-3086-1413>, Email: ezhuma@uteq.edu.ec

piscicultores para tomar decisiones informadas y oportunas.

En este contexto, la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), reconocida por su excelencia en investigación y desarrollo tecnológico, ha emergido como un pionero en la implementación de soluciones innovadoras para optimizar las prácticas acuícolas. A través de su Campus La María, la UTEQ ha liderado proyectos que integran tecnologías basadas en IoT para mejorar la gestión de los estanques de cultivo.

Frente a estos desafíos, la presente investigación propone el desarrollo de un sistema de telemetría basado en IoT y tecnologías emergentes, como la cadena de bloques (blockchain)(Olivares-Rojas et al., 2023) para monitorear y gestionar los parámetros de calidad del agua en estanques de cultivo de peces. Este sistema no solo permitirá la recolección y transmisión de datos en tiempo real, sino que también garantizará la seguridad, integridad y escalabilidad de la información mediante el uso de cadena de bloques. La adopción de estas tecnologías no solo mejorará la gestión de los estanques y la eficiencia operativa, sino que también contribuirá al desarrollo sostenible de la industria acuícola en Ecuador (Ibáñez Bolado, 2022).

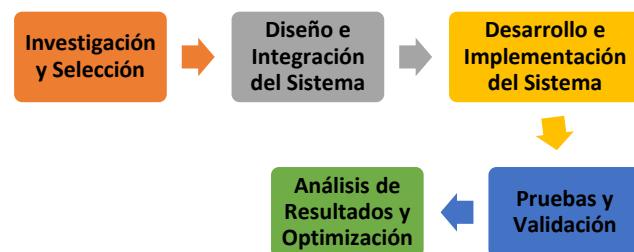
Esta investigación representa una oportunidad única para fortalecer la posición de Ecuador en la exportación de productos acuícolas(Tolentino-Zondervan et al., 2023), al tiempo que aborda las necesidades alimentarias globales de manera más eficiente y sostenible.

METODOLOGÍA

La investigación aplicada será esencial para integrar y evaluar la efectividad del sistema de almacenamiento descentralizado basado en IoT y cadenas de bloques aplicado a dispositivos conectados en la red en el cultivo de peces. Este enfoque busca generar soluciones prácticas y directamente aplicables a los desafíos específicos que enfrenta la industria acuícola en términos de seguridad y eficiencia.

La presente investigación se basa en la integración de tecnologías de telemetría, Internet de las Cosas (IoT) y cadenas de bloques para el monitoreo y gestión de la calidad del agua en estanques de cultivo de peces. Para el desarrollo del estudio, se adoptó un enfoque metodológico aplicado, combinando técnicas cualitativas y cuantitativas en un diseño estructurado en varias etapas (Fernández-Ahumada et al., 2019).

Figura 1.
Etapas de la metodología



Escenario propuesto

El escenario propuesto consiste en un sistema telemático para monitorear en tiempo real la calidad del agua en estanques de cultivo de peces, integrando sensores de temperatura, pH y turbidez conectados a un microcontrolador ESP32. Los datos capturados se transmiten de forma inalámbrica mediante el protocolo MQTT hacia Firebase, después son integrados a la plataforma Arduino IoT Cloud para su visualización en tiempo real. Con el fin de garantizar la integridad y trazabilidad de la información, se implementa posteriormente una conversión de los datos a un entorno de cadena de bloques, utilizando contratos inteligentes que aseguran un almacenamiento seguro e inmutable. Al final se sacarán estadísticas para comparar tiempos de respuesta en transmisión, procesamiento a la nube y visualización

Etapa 1: Investigación y Selección

En esta fase se realizó un análisis de sobre los parámetros de calidad del agua en acuicultura, las tecnologías de telemetría y sensores utilizados en IoT, así como las características y aplicaciones de la tecnología de cadena de bloques en almacenamiento de datos. Esta etapa permitió la identificación de los requerimientos técnicos y operativos para la implementación del sistema propuesto.

Selección de dispositivos

La **Tabla 1** se hace una comparación con los diferentes dispositivos electrónicos que se pueden utilizar, pero se selecciona uno en base a las consideraciones técnicas. Consideraciones previas al diseño de un sistema de telemetría para medir parámetros de calidad del agua en estanques de cultivos de peces.(Gabriela Fernández López, 2023)

Tabla 1.

Comparación entre dispositivos electrónicos

Dispositivos electrónicos	Ventajas	Desventajas
Arduino  (Martinez et al., 2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de aprender • Bajo costo • Amplia compatibilidad de sensores y actuadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia de procesamiento limitada • Capacidad de conectividad limitada
Raspberry Pi.  (Martinez et al., 2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia de procesamiento y capacidad de gráficos • Conectividad y capacidades de red • Sistema operativo completo 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor costo: En general • Mayor consumo de energía consume más energía
ESP32  (Martinez et al., 2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia y rendimiento • Conectividad • Bajo consumo de energía 	<p>Consumo de recursos: Debido a sus capacidades y características avanzadas, el ESP32 puede consumir más recursos</p>

Selección de sensores

Para el diseño e implementación del sistema de monitoreo de calidad del agua en estanques de cultivo de peces, se realizó una evaluación comparativa de distintos microcontroladores y sensores, con el objetivo de garantizar precisión en la medición, eficiencia energética y facilidad de integración. Entre las alternativas consideradas de la **Tabla 1**, se eligió el microcontrolador ESP32 por su excelente relación entre potencia de procesamiento, conectividad inalámbrica integrada (Wi-Fi y Bluetooth) y bajo consumo energético. Estas características lo hacen ideal para entornos acuáticos donde es crucial una comunicación estable y continua con la nube, así como la capacidad de operar con

múltiples sensores de manera simultánea y eficiente. (Kanwal et al., 2024)

En cuanto a los sensores seleccionados, se priorizó la medición de los parámetros fundamentales que afectan directamente la salud y el crecimiento de los peces. Para la temperatura del agua, se utilizó el sensor DS18B20, reconocido por su precisión, facilidad de calibración y resistencia al ambiente acuático. En el caso del pH, se integró el sensor Teyleton Robot, que permite un monitoreo constante del grado de acidez o alcalinidad del agua, factor determinante para evitar el estrés en los peces. Para evaluar la turbidez, es decir, la claridad del agua, se empleó el sensor KEYESTUDIO, adecuado para identificar la presencia de partículas en suspensión que pueden indicar problemas en la calidad del entorno acuático. Adicionalmente, se incorporó el sensor CQRobot Ocean TDS para medir los sólidos disueltos totales, contribuyendo a una visión integral del estado del agua.

La elección de estos componentes se basó en su compatibilidad con el ESP32, su confiabilidad en aplicaciones acuáticas y su capacidad de integrarse sin dificultades a plataformas IoT como Arduino Cloud y Firebase. Esta configuración permite una adquisición de datos robusta y en tiempo real, sentando las bases para un sistema de monitoreo eficaz y adaptable a distintos escenarios de producción acuática.

Selección de almacenamiento

Se examinaron los tipos de almacenamiento para dispositivos basados en internet de las cosas en el cultivo de peces, con el fin de garantizar la integridad y disponibilidad de la información recolectada. Nuestra evaluación se centró en aspectos clave como la eficiencia, seguridad y fiabilidad de cada método.

Posteriormente, procedemos a realizar una comparación detallada entre los distintos sistemas de almacenamiento utilizados en Internet de las Cosas.

Tabla 2

Comparación de almacenamientos para internet de las cosas

Tipo de almacenamiento	Eficiencia	Seguridad	Fiabilidad
Almacenamiento Local	Buena para acceso rápido, limitada por hardware	Segura hasta que se compromete el acceso físico	Fiable mientras el hardware esté en buen estado

AWS (Amazon Web Services)	Optimizada para operaciones escalables	Muy segura con encriptación avanzada	Alta con servicios gestionados y redundancia
Microsoft Azure	Eficiencia escalable con herramientas de gestión	Alta seguridad con protocolos de Azure	Muy fiable con backup y recuperación de Azure
Google Cloud Storage	Eficiencia en costos con análisis inteligentes	Seguridad robusta con la infraestructura de Google	Alta fiabilidad con redundancia global
Almacenamiento SAN	Eficiente para grandes datos centralizados	Seguro dentro de la red empresarial configuración	Muy fiable en entornos controlados
Cadenas de Bloques	Altamente eficiente con reducción de intermediarios	Superior con criptografía de última generación	Inigualablemente fiable por su descentralización

¿Por qué se escogió las cadenas de bloques?

La elección de la cadena de bloques como tecnología principal para el almacenamiento y validación de los datos generados por sensores IoT en el monitoreo de la calidad del agua se basa en una evaluación comparativa detallada frente a otros sistemas de almacenamiento, tal como se muestra en la **Tabla 2**. Entre los criterios evaluados se encuentran la eficiencia operativa, la seguridad en el manejo de la información y la fiabilidad en ambientes distribuidos y críticos como los estanques acuícolas.

A diferencia de opciones como el almacenamiento local limitado por la capacidad física y susceptible a fallos de hardware, o plataformas en la nube como AWS, Azure o Google Cloud, que, aunque ofrecen alta escalabilidad y respaldo cuentan con una arquitectura centralizada dependiente de terceros, la cadena de bloques destaca por ofrecer una estructura descentralizada, transparente e inmutable. Esto significa que una vez los datos son registrados, no pueden ser modificados sin consenso, lo que garantiza su integridad y trazabilidad a lo largo del tiempo.

Desde el punto de vista de la seguridad, cadena de bloques sobresale al incorporar algoritmos criptográficos avanzados que protegen cada bloque de datos mediante técnicas de hash y claves públicas/privadas, superando los niveles de seguridad tradicionales de los sistemas centralizados. Asimismo, en términos de fiabilidad, la cadena de bloques proporciona una redundancia distribuida que elimina el punto único de fallo, característica crítica para aplicaciones que requieren continuidad operativa y resistencia ante interrupciones o accesos no autorizados (Jeong & Park, 2023).

Etapa 2: Diseño e Integración del Sistema

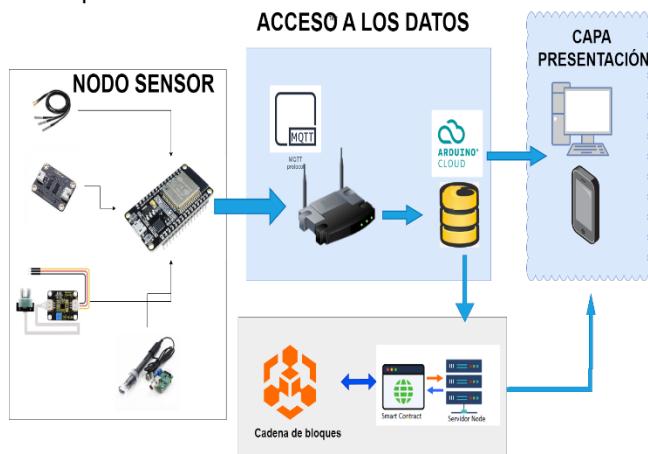
A partir de la información recopilada en la primera fase, se diseñó la arquitectura del sistema de monitoreo, definiendo los componentes de hardware y software. Se seleccionaron sensores de alta precisión para medir temperatura, pH, turbidez y sólidos disueltos totales (Gabriela Fernández López, 2023), los cuales se integraron con una plataforma IoT para la recopilación y transmisión de datos. Adicionalmente, se diseñó un sistema híbrido de almacenamiento que combina una base de datos en la nube con tecnología de cadena de bloques, asegurando la integridad y seguridad de los datos.

Implementación del Sistema de Telemetría con Conexión Inalámbrica para el Envío de Datos

El sistema está compuesto por tres capas: comunicación de red, acceso a datos y presentación. Los sensores recogen datos de calidad del agua y los transmiten mediante MQTT a la capa de acceso, donde se almacenan antes de ser presentados en una interfaz accesible desde diversos dispositivos. (ver figura 2)

Figura 2.

Descripción del sistema de telemetría



Implementación del Sistema de telemetría y Gestión de Datos

El sistema de telemetría desarrollado opera mediante tres capas fundamentales: comunicación de red, acceso a datos y presentación. Los sensores de calidad del agua, calibrados y conectados a un microcontrolador ESP32, recopilan información esencial y la transmiten mediante el protocolo MQTT a la capa de acceso. Esta capa intermedia almacena temporalmente los datos antes de su visualización.

Para garantizar una gestión eficiente y en tiempo real, se estableció una conexión a Internet utilizando Arduino IoT Cloud, permitiendo la supervisión remota. La programación del ESP32 y su integración con la nube vía WiFi aseguraron un flujo de datos estable y confiable.(Guerbaoui et al., 2025)

La interfaz de usuario, desarrollada en Arduino IoT Cloud, presenta paneles gráficos intuitivos para la interpretación de datos en tiempo real, proporcionando información detallada y accesible para los acuicultores. Esta solución permite un monitoreo constante y una respuesta rápida ante cualquier variación en los parámetros de calidad del agua.

Recopilación y Gestión de Datos

- **Interconexión de Sensores:** Se conectaron sensores al microcontrolador ESP32, configurándolos como nodos clave en la red y calibrándolos para optimizar la precisión de las mediciones.
- **Transmisión de Datos:** Se implementó el protocolo MQTT para enviar datos a la nube mediante un nodo central, optimizando la comunicación en tiempo real.
- **Plataforma de Gestión:** Se utilizó Arduino IoT Cloud para la recolección y visualización de datos, permitiendo un monitoreo remoto eficiente.
- **Capa de Conectividad:** Se configuraron componentes para garantizar un flujo de datos seguro y estable a través de Wi-Fi.
- **Visualización y Análisis:** Se diseñaron paneles gráficos en Arduino IoT Cloud con datos en tiempo real, facilitando la interpretación para los acuicultores.
- **Subida de Datos a Firebase:** Los datos recopilados por los sensores se transfieren a Firebase en tiempo real, permitiendo su análisis y disponibilidad en una aplicación móvil desarrollada en Android Studio.
- **Obtención de Datos:** Los datos almacenados en Firebase están en formato JSON, etiquetados

con fecha y hora, lo que facilita el seguimiento preciso de los registros.

Etapa 3: Desarrollo e Implementación del Sistema

En esta fase, se llevó a cabo la instalación y configuración de los sensores en los estanques de cultivo de peces. Se estableció la conexión con una plataforma en la nube y se desarrolló la interfaz para la visualización de datos en tiempo real. Para la integración de cadena de bloques, se implementó un contrato inteligente en una red descentralizada, garantizando la inmutabilidad y trazabilidad de los datos almacenados (Stadler et al., 2021)

La **figura 3** y la **figura 4** muestra la recolección precisa y confiable de los parámetros de calidad del agua, se implementaron técnicas de conversión analógica-digital (ADC), permitiendo transformar las señales físicas captadas por los sensores en datos digitales interpretables por el sistema. Se estableció una frecuencia de muestreo de 0.1 Hz, equivalente a una medición cada 10 segundos, optimizando así el equilibrio entre precisión y eficiencia energética en la adquisición de datos de temperatura, pH, turbidez y sólidos disueltos totales (TDS). asimismo, se realizaron pruebas de conectividad enfocadas en asegurar la estabilidad de la transmisión y la integridad de los datos enviados a la nube. Para la comunicación entre los sensores, Firebase y Arduino IoT Cloud, se utilizaron los protocolos MQTT y HTTP, los cuales permitieron una transferencia de información eficiente, segura y en tiempo real dentro del sistema de telemetría propuesto.

Figura 3

Conexión de sensores para toma de valores



Figura 4.

Implementación del Sistema de telemetría para evaluar parámetros de calidad del agua.



La **figura 3** y la **figura 4** muestra la recolección precisa y confiable de los parámetros de calidad del agua, se implementaron técnicas de conversión analógica-digital (ADC), permitiendo transformar las señales físicas captadas por los sensores en datos digitales interpretables por el sistema. Se estableció una frecuencia de muestreo de 0.1 Hz, equivalente a una medición cada 10 segundos, optimizando así el equilibrio entre precisión y eficiencia energética en la adquisición de datos de temperatura, pH, turbidez y sólidos disueltos totales (TDS). asimismo, se realizaron pruebas de conectividad enfocadas en asegurar la estabilidad de la transmisión y la integridad de los datos enviados a la nube. Para la comunicación entre los sensores, Firebase y Arduino IoT Cloud, se utilizaron los protocolos MQTT y HTTP, los cuales permitieron una transferencia de información eficiente, segura y en tiempo real dentro del sistema de telemetría propuesto.

Etapa 4: Pruebas y Validación

El sistema fue sometido a una serie de pruebas para evaluar su desempeño en términos de precisión en la medición de los parámetros de calidad del agua, confiabilidad en la transmisión de datos y eficiencia en el almacenamiento y recuperación de información. Se realizaron simulaciones en distintos escenarios para analizar la respuesta del sistema ante variaciones en las condiciones del agua y se verificó la consistencia de los datos almacenados en la cadena de bloques mediante una aplicación web.

En la **figura 5** y **figura 6** nos muestra los datos recolectados mediante un dashboard en Arduino cloud, con los valores de los sensores de temperatura, pH, turbidez y TDS

Figura 5.

Vista en tiempo real de los datos enviados hacia Firebase Database

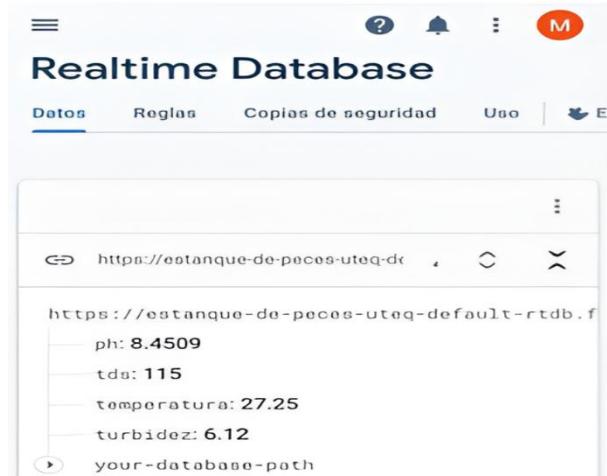


Figura 6.

Arduino iot cloud



RESULTADOS

Como describe la etapa 5 y se ve en el escenario descrito en la **figura 2** se utiliza dos medios para la presentación de los resultados IOT Arduino cloud y (firebase + Cadena de bloques). Presentamos una tabla con los tiempos que manejan.

Se inició configurando un servidor que actúa como intermediario entre las cadenas de bloques y la aplicación web, siendo clave para manejar la extracción y procesamiento de datos desde las cadenas de bloques. Este servidor facilita la comunicación con el contrato inteligente desplegado en Ganache, lo que permite acceder y presentar los datos almacenados de manera efectiva en nuestra aplicación web. Con esta integración, los usuarios finales no solo pueden visualizar los datos ambientales críticos, sino que también los utilizan para

tomar decisiones informadas y fundamentadas. La capacidad de acceder a información actualizada y fiable directamente desde las cadenas de bloques, gracias a la interacción servidor-contrato inteligente, lo que ha mejorado significativamente la toma de decisiones en el sector de la acuicultura. Proporcionando una base sólida para decisiones operativas y estratégicas más informadas, aportando un valor práctico considerable al mejorar la eficiencia y eficacia en la gestión de los cultivos de peces. Este avance técnico demuestra la viabilidad y el potencial de la integración de internet de las cosas con las cadenas de bloques para optimizar operaciones en entornos acuícolas.

Integración de Firebase y Cadena de bloques en la Gestión de Datos

La combinación de Firebase y cadena de bloques es una solución eficiente para la gestión de datos en acuicultura, ya que aprovecha la rapidez y escalabilidad de Firebase para el almacenamiento en tiempo real, mientras que la cadena de bloques garantiza la seguridad, inmutabilidad y trazabilidad de la información. Firebase permite la sincronización instantánea de los datos de sensores IoT, facilitando su acceso desde múltiples dispositivos, mientras que la cadena de bloques asegura que los registros no puedan ser alterados, brindando mayor transparencia y confianza en la gestión de la calidad del agua. Esta integración optimiza el rendimiento del sistema al utilizar Firebase como almacenamiento primario y cadena de bloques como una capa de validación, asegurando la integridad de los datos y mejorando la toma de decisiones en el sector acuícola.(Hlaing & Nyaung, 2019)

Desarrollo del Sistema Integrado con Cadena de Bloques

- Método de Almacenamiento Híbrido:** Se combinó IoT y cadena de bloques para proporcionar un sistema seguro e inmutable, gestionado mediante contratos inteligentes.
- Importación de Datos a Node.js:** la figura 7 muestra los datos almacenados en Firebase en formato JSON fueron importados a un proyecto Node.js, permitiendo su procesamiento.
- Configuración Segura:** Se estableció la conexión con Firebase cargando credenciales de servicio URL de la base de datos para un acceso seguro.
- Comunicación con Contrato Inteligente:** Se desarrolló un contrato en Solidity, desplegado en Ganache, que valida y almacena los datos en cadena de bloques.

- Integración con Node.js:** Un servidor Node.js actúa como intermediario entre Firebase y cadena de bloques, asegurando una comunicación segura y optimizada.

Figura 7.

Implementación del Sistema integrando firebase y cadena de bloques



Figura 8.

Extracción de los datos de firebase

```
Admin.initializeApp(  
  Credential:  
    admin.credential.cert  
    (serviceAccount),  
  databaseURL:  
    'https://estanquepeces-  
    default-rtdb.firebaseio  
    .com'  
)
```

La figura 8 muestra cómo se inicializa cargando las credenciales de un servicio de cuenta y especificando la URL de la base de datos en Firebase donde se almacenan y acceden los datos. Esta configuración es esencial para establecer una conexión segura con la base de datos de Firebase.

Gestión de Datos con Contrato Inteligente: en la figura 9 se muestra el contrato en Solidity recibe, valida y almacena la información en cadena de bloques, garantizando su integridad y seguridad.(Cruz et al., 2025)

Figura 9

Comunicación Node.js con smart contract



Figura 10.

Función almacenamiento de datos

```
function almacenarDatos(string memory
fecha, string memory hora,
string memory calidadOptima, uint ph,
uint tds, uint temperature, uint turbidez)
public{
    registros[fecha][hora] =
    Datos(calidadOptima, ph, tds,
    temperatura, turbidez);
}
```

La función almacenarDatos() **figura 10** de un contrato inteligente es la que se encarga de recopilar y almacenar datos de seguimiento en el tiempo de las condiciones de un cultivo de peces

Figura 11.

Datos almacenados en Bloques

CURRENT BLOCK	GAS PRICE	GAS LIMIT	HARDFORGEK	NETWORK ID	RPC SERVER
6151	200000000000	7E+06	MERGE	5777	HTTP://127.0.0.1:7541
BLOCK 6151	MINE ON 2024-12-17 17:45:23				
BLOCK 6150	MINE ON 2024-12-17 17:45:24				
BLOCK 6149	MINE ON 2024-12-17 17:45:25				
BLOCK 6148	MINE ON 2024-12-17 17:45:26				

La **figura 11** muestra un registro de datos almacenados en un bloque. Donde la estructura de la función almacenarDatos(Gráfico 10) del contrato, que incluye parámetros como fecha, hora, calidad del agua, pH, sólidos disueltos, temperatura y turbidez. Además, se muestra un dato de ejemplo almacenado, con su correspondiente fecha, hora y valores de los parámetros medidos. Este registro también incluye el hash de transacción y el hash del bloque, que son identificadores únicos en la cadena de bloques, proporcionando inmutabilidad y trazabilidad a los datos almacenados, lo cual es crucial para los resultados y la integridad del sistema.

Comparación de Tiempos de Respuesta en la Captura y Visualización de Datos

En este estudio, se analizaron los tiempos de respuesta **ver tabla 3** en la captura, transmisión y visualización de datos en dos sistemas distintos: **Arduino IoT Cloud** con Firebase y cadena de bloques (**Ganache + Solidity**). A continuación, se presenta una tabla comparativa con los tiempos estimados en cada etapa del proceso.

Los datos se recolectaron en un sitio donde la conexión a internet es un poco alejada de la parte urbana y se hizo durante 7 días, muchas veces los factores ambientales pueden afectar la transmisión de los datos

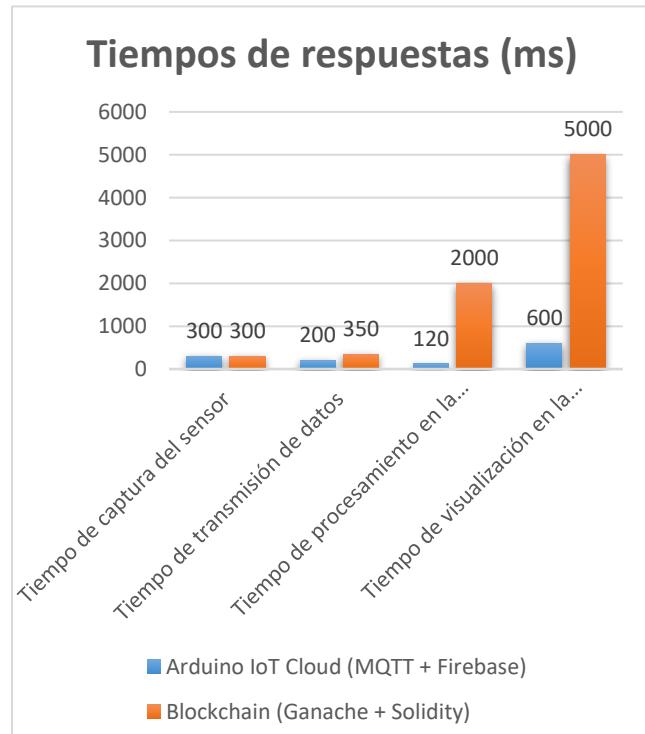
Tabla 3.

Comparación de Tiempos de Respuesta en la Captura y Visualización de Datos

Proceso	Arduino IoT Cloud (MQTT + Firebase)	Cadena de bloques (Ganache + Solidity)
Tiempo de captura del sensor (promedio)	300 ms	
Tiempo de transmisión de datos. (promedio)	200 ms (MQTT)	350 ms (dependiendo de la red)
Tiempo de procesamiento en la nube. (promedio)	120 ms	2 seg (validación en cadena de bloques) (2000 ms)
Tiempo de visualización en la interfaz. (promedio)	600 ms (real-time en IoT Cloud)	5 seg (depende de la cadena de bloques) (5000ms)

Figura 12.

Tiempos de respuestas



Análisis Comparativo

- **Sistema Arduino IoT Cloud:** Su integración con **MQTT y Firebase** permite una transmisión rápida y eficiente de los datos, con tiempos de respuesta cercanos a 1 segundo en promedio. Su arquitectura optimiza la captura y visualización en tiempo real, lo que lo hace ideal para monitoreo continuo.
- **Sistema basado en cadena de bloques:** La validación en **Ganache + Solidity** introduce una latencia mayor debido a la complejidad de las transacciones en cadena de bloques. Aunque la seguridad e inmutabilidad son superiores, el tiempo total de procesamiento puede alcanzar hasta **8 segundos algunas capturas**, dependiendo del tamaño de la red y la carga de transacciones.

El sistema basado en **Arduino IoT Cloud** ofrece una respuesta más rápida para monitoreo en tiempo real, mientras que la solución con **cadena de bloques** proporciona mayor seguridad e integridad en los datos a costa de una mayor latencia. La elección entre ambos sistemas depende de las necesidades específicas del entorno acuícola: si se prioriza la inmediatez en la toma de decisiones, Arduino IoT Cloud es más eficiente; si se requiere una infraestructura confiable e inmutable, **cadena de bloques** es la mejor opción.

DISCUSIÓN

El monitoreo y la gestión eficiente de la calidad del agua en el cultivo de peces son aspectos fundamentales para garantizar un crecimiento óptimo y sostenible en la acuicultura. La primera parte del estudio se centra en el desarrollo de un sistema de telemetría que permite la recolección en tiempo real de parámetros esenciales como la temperatura, el pH, la turbidez y el oxígeno disuelto, lo que brinda a los piscicultores la capacidad de tomar decisiones informadas y reducir riesgos de mortalidad. Sin embargo, la recopilación de datos por sí sola no es suficiente si estos no cuentan con un sistema de almacenamiento y gestión seguro, lo que representa un desafío crucial identificado en el segundo estudio. Aquí, el uso del Internet de las Cosas (IoT) combinado con cadena de bloques emerge como una solución innovadora para garantizar la seguridad, integridad y trazabilidad de los datos generados. Mientras que los dispositivos IoT permiten la automatización y eficiencia en la recopilación de información, cadena de bloques proporciona un método descentralizado y a prueba de manipulaciones para registrar y gestionar estos datos, eliminando la dependencia de sistemas centralizados vulnerables a ciberataques o fallos operativos. La

combinación de estas dos tecnologías no solo optimiza la gestión de los cultivos acuícolas al permitir una monitorización precisa y en tiempo real, sino que también fortalece la confianza en los datos mediante su almacenamiento seguro, inmutable y accesible desde múltiples plataformas. Además, al integrar herramientas como bases de datos en la nube y contratos inteligentes, se facilita la automatización de respuestas ante condiciones ambientales adversas, mejorando significativamente la eficiencia operativa y reduciendo el impacto ambiental. En este sentido, la sinergia entre telemetría e IoT con cadena de bloques constituye un avance crucial en la modernización de la acuicultura, ofreciendo una solución integral que permite mejorar la productividad, minimizar riesgos y establecer un modelo sostenible para la industria piscícola del futuro.

CONCLUSIONES

La modernización del cultivo de peces requiere la adopción de tecnologías avanzadas que mejoren tanto el monitoreo de las condiciones ambientales como la seguridad en la gestión de datos. Los estudios analizados presentan dos enfoques innovadores que, al integrarse, pueden revolucionar la industria acuícola.

Por un lado, la telemetría permite medir en tiempo real los parámetros de calidad del agua, lo que reduce la mortalidad de los peces y optimiza su crecimiento. Sin embargo, la simple recolección de datos no es suficiente si estos no son almacenados y gestionados de manera segura y eficiente. Aquí es donde la cadena de bloques juega un papel fundamental, ya que garantiza la integridad y trazabilidad de la información generada por los dispositivos IoT.

La fusión de estas dos tecnologías resultaría en un sistema robusto que permitiría a los piscicultores no solo monitorear en tiempo real la calidad del agua, sino también almacenar los datos de manera segura, descentralizada e inmutable. Esto facilitaría la toma de decisiones basadas en información confiable, permitiendo una mayor optimización de los recursos y un menor impacto ambiental.

Además, este sistema integrado podría ser escalable a otros sectores de la industria acuícola y agrícola, favoreciendo la sostenibilidad y eficiencia operativa en el largo plazo. Así, la combinación de telemetría y cadena de bloques no solo moderniza la acuicultura, sino que también sienta un precedente en la transformación digital del sector agroalimentario.

En conclusión, la integración de un sistema de monitoreo en tiempo real basado en telemetría con una plataforma segura de almacenamiento en cadena de bloques representa un modelo ideal para mejorar la eficiencia, sostenibilidad y seguridad de la acuicultura moderna. Esta sinergia tecnológica tiene el potencial de reducir

costos, optimizar la producción y garantizar la transparencia de los datos en la industria piscícola, estableciendo un nuevo estándar en la gestión de recursos naturales.

REFERENCIAS

- Cruz, E. M., Júnior, J. R. D. S., Souza, Y. H. J., Jesus, G. L. S. S., & Peixoto, M. L. M. (2025). ArchW3: An adaptive blockchain wallet architecture for Web3 applications. *Computer Networks*, 262, 111182. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2025.111182>
- Fernández-Ahumada, L. M., Ramírez-Faz, J., Torres-Romero, M., & López-Luque, R. (2019). Proposal for the Design of Monitoring and Operating Irrigation Networks Based on IoT, Cloud Computing and Free Hardware Technologies. *Sensors*, 19(10), 2318. <https://doi.org/10.3390/s19102318>
- Gabriela Fernández López. (2023). 4-
Implementación+de+Software+de+Código.
<https://boaciencia.org/index.php/tecnologíaynegocios/article/view/105/141>
- Guerbaoui, M., El Faiz, S., Ed-Dahhak, A., Lachhab, A., Benhala, B., Bakziz, Z., Ichou, I., & Selmani, A. (2025). From Data to Decisions: A Smart IoT and Cloud Approach to Environmental Monitoring. *E3S Web of Conferences*, 601, 00008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560100008>
- Hlaing, K. M., & Nyaung, D. E. (2019). Electricity Billing System using Ethereum and Firebase. *2019 International Conference on Advanced Information Technologies (ICAIT)*, 217–221. <https://doi.org/10.1109/AITC.2019.8920931>
- Ibáñez Bolado, M. (2022). *Paralelización de técnicas de toma de decisiones en empresas de acuicultura*. <http://hdl.handle.net/10902/25438>
- Jeong, W., & Park, C. (2023). BSS: An Efficient Block Storage System for Block Archive Service in Blockchains. *2023 14th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, 1257–1262. <https://doi.org/10.1109/ICTC58733.2023.10393313>
- Kanwal, S., Abdullah, M., Kumar, S., Arshad, S., Shahroz, M., Zhang, D., & Kumar, D. (2024). An Optimal Internet of Things-Driven Intelligent Decision-Making System for Real-Time Fishpond Water Quality Monitoring and Species Survival. *Sensors*, 24(23), 7842. <https://doi.org/10.3390/s24237842>
- Martinez, J. L. D., Salcedo, D., Mercado, T., Quiñonez, Y., & de la Hoz, A. M. (2024). Internet of Things (IoT) applied to agriculture: current state and its application through a prototype. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, 2024(E53), 106–121. <https://doi.org/10.17013/risti.53.106-121>
- Olivares-Rojas, J. C., Reyes-Archundia, E., & Gutiérrez-Gnechi, J. A. (2023). A Cybersecurity Transaction Energy System Using Multi-Tier Blockchain. *Computacion y Sistemas*, 27(3), 851–867. <https://doi.org/10.13053/CyS-27-3-4071>
- Stadler, S., Borrero, E. R., Zauner, J., & Hanshans, C. (2021). Development and Implementation of an OpenSource IoT Platform, Network and Data Warehouse for Privacy-Compliant Applications in Research and Industry. *Current Directions in Biomedical Engineering*, 7(2), 507–510. <https://doi.org/10.1515/cdbme-2021-2129>
- Tolentino-Zondervan, F., Ngoc, P. T. A., & Roskam, J. L. (2023). Use cases and future prospects of blockchain applications in global fishery and aquaculture value chains. *Aquaculture*, 565, 739158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739158>