

OPTIMIZED AQUACULTURE DATA MANAGEMENT WITH IoT: CLOUD STORAGE AND PROCESSING

GESTIÓN OPTIMIZADA DE DATOS ACUÍCOLAS CON IOT: ALMACENAMIENTO Y PROCESAMIENTO EN LA NUBE

Villanueva Guzmán Jorge Cein¹, Arias Peregrino Víctor Manuel², Gómez Domínguez Ezequiel³, Zamora Reséndiz Pedro⁴, López López Nayeli del Carmen⁵

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Villahermosa, jorge.vg@villahermosa.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0003-1307-0801> (Autor correspondiente).

²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Villahermosa, victor.ap@villahermosa.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0001-5925-4097>.

³Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca, gomezgde@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-3996-951X>.

⁴Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Querétaro, pedrozamora.resendiz@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-3190-5631>.

⁵Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Villahermosa, L25300071@villahermosa.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0003-4437-133X>.

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v8i2.434>

Resumen – El sistema de monitoreo de calidad del agua basado en Internet de las Cosas (IoT) [1], orientado a optimizar la gestión en entornos acuícolas, integra una placa Arduino UNO R4 WiFi [2] con sensores de pH [3], turbidez [4], oxígeno disuelto [5] y temperatura [6], permitiendo la adquisición y transmisión de datos en tiempo oportuno hacia una base de datos en la nube [7]. Para ello, se desarrolló una API en Node.js dentro del entorno Visual Studio Code [8], encargada de administrar la comunicación entre los dispositivos IoT y Firebase [9], plataforma NoSQL [10] utilizada para el almacenamiento rápido y escalable de la información.

La transmisión inalámbrica [11] se realiza mediante la conectividad integrada del microcontrolador [12], garantizando la actualización continua de los parámetros medidos. Asimismo, se diseñó una aplicación web que facilita la visualización de los datos, la generación de reportes históricos y el envío de alertas ante posibles anomalías. Las pruebas de funcionamiento evidenciaron la estabilidad del sistema, la precisión en la captura de mediciones y la integridad en la transmisión de datos. En conjunto, los resultados demuestran la viabilidad técnica y el potencial del sistema como herramienta de apoyo para la gestión sostenible de la calidad del agua [13] en espacios acuícolas.

Palabras Clave– IoT, Sensores, Calidad del Agua, Base de Datos, Transmisión Inalámbrica, Aplicación Web.

Abstract -- The Internet of Things (IoT)-based water quality monitoring system, aimed at optimizing management in aquaculture environments, integrates an Arduino UNO R4 WiFi board with pH, turbidity, dissolved oxygen, and temperature sensors, enabling real-

time data acquisition and transmission to a cloud database. To this end, a Node.js API was developed within the Visual Studio Code environment to manage communication between IoT devices and Firebase, a NoSQL platform used for fast and scalable data storage.

Wireless transmission is achieved through the microcontroller's integrated connectivity, ensuring continuous updating of the measured parameters. A web application was also designed to facilitate data visualization, generate historical reports, and send alerts in the event of potential anomalies. Functional tests demonstrated the system's stability, measurement capture accuracy, and data transmission integrity. Overall, the results demonstrate the technical feasibility and potential of the system as a support tool for sustainable water quality management in aquaculture environments.

Keywords – IoT, Sensors, Water Quality, Database, Wireless Transmission, Web Application.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la acuicultura en México ha sido impulsado por la necesidad de diversificar las fuentes de producción de alimentos y fortalecer la seguridad alimentaria del país. El estado de Tabasco, ubicado en el sureste de México, es una región con una vasta red hidrológica que incluye ríos, lagunas y humedales, lo que la convierte en un área propicia para el desarrollo de actividades acuícolas. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [14], Tabasco cuenta con más de 400 kilómetros de litoral y una extensa red de cuerpos de agua que cubren aproximadamente el 10% de su superficie total. Esta riqueza hídrica ha permitido que la acuicultura se consolide como una actividad económica importante en la entidad, generando empleos

y contribuyendo a la seguridad alimentaria de la población.

Las tilapias (*Oreochromis* spp. y *Tilapia* sp) fueron introducidas a México en 1964 procedentes de Estados Unidos y mantenidas primeramente en la Estación Piscícola de Temascal, Oaxaca. Es una de las especies que tienen gran importancia en la producción de proteína animal en aguas tropicales y subtropicales de todo el mundo, particularmente en los países en desarrollo.

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) es una de las especies más cultivadas en Tabasco debido a su adaptabilidad a las condiciones climáticas de la región y su alta demanda en el mercado local y nacional. De acuerdo con el Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2022, publicado por la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA) [15], la producción de tilapia en México alcanzó las 180,000 toneladas en 2021, y Tabasco se posicionó como uno de los principales estados productores, contribuyendo con aproximadamente el 8% de la producción nacional. Sin embargo, a pesar de su potencial, la acuicultura en la región enfrenta desafíos significativos que limitan su crecimiento y sostenibilidad.

En este contexto, la tilapia (*Oreochromis niloticus*) se ha consolidado como una de las especies más cultivadas debido a su resistencia, rápido crecimiento y alta demanda en el mercado. No obstante, la calidad del agua en los estanques de crianza sigue siendo un factor crítico que influye directamente en la productividad y rentabilidad de los sistemas acuícolas. La gestión ineficiente de los parámetros físicoquímicos del agua, como el pH, la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto y la turbidez, puede generar condiciones adversas que afectan el crecimiento y la supervivencia de los alevines [16].

El monitoreo de estos parámetros es esencial para garantizar el bienestar de los peces y la sostenibilidad de la producción. Sin embargo, en muchas granjas acuícolas, la supervisión se realiza de forma manual, lo que limita la precisión y frecuencia de las mediciones, aumentando el riesgo de fluctuaciones bruscas en las condiciones del agua. De acuerdo con la Agenda Estratégica del Tecnológico Nacional de México para Agua Limpia y Saneamiento [17], la implementación de sistemas tecnológicos en la gestión del agua es una necesidad urgente para garantizar su uso eficiente en sectores estratégicos como la acuicultura.

Ante esta problemática, el uso de tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT) [1], ofrece una solución innovadora para automatizar la recolección y análisis de datos en tiempo oportuno, mejorando la capacidad de respuesta ante variaciones en la calidad del agua. El uso de sensores y plataformas en la nube permite optimizar los procesos de producción acuícola y reducir

las pérdidas causadas por cambios inesperados en las condiciones del agua [13].

El prototipo IoT [1] basado en la nube permite la monitorización continua y la gestión de la calidad del agua en estanques de crianza de alevines de tilapia. La solución integra sensores especializados para la medición de variables físicoquímicas clave, una plataforma web para la visualización y análisis de los datos recolectados, así como un sistema de alertas en tiempo oportuno ante valores fuera de los rangos óptimos. Esta herramienta brinda a los productores acuícolas un mayor control sobre sus procesos, optimizando el manejo de los estanques y promoviendo la sostenibilidad en la producción de tilapia [13].

DESARROLLO

Para el desarrollo del sistema de monitoreo de calidad del agua basado en Internet de las Cosas (IoT) [1] orientado a optimizar la gestión en entornos acuícolas, se implementó la metodología Scrum [18], la cual se define como un marco ágil para la gestión de proyectos complejos, que permite crear valor y adaptarse a las necesidades cambiantes mediante entregas incrementales llamadas "sprints". Se centra en la colaboración efectiva entre equipos y clientes, entregando productos funcionales en ciclos cortos para ajustar y mejorar continuamente.

Fase 1 – Inicio (Planificación del Sprint 0).

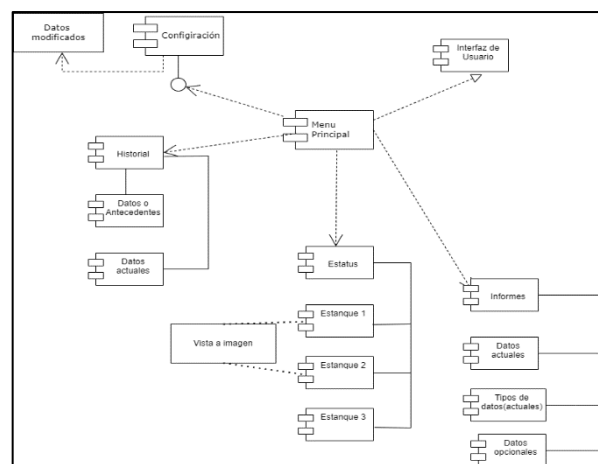
Esta fase se centró en:

- La identificación de problemas y objetivos: se detectan tres problemas clave: monitoreo manual del agua, falta de acceso remoto y carencia de seguridad digital.
- Backlog inicial del producto, se establecen como historias de usuario:
 - Como operador acuícola, deseo monitorear pH, turbidez, oxígeno y temperatura en tiempo real.
 - Como administrador, quiero generar reportes históricos de calidad del agua.
 - Como usuario, necesito alertas automáticas cuando los parámetros se desvíen.
- Definición tecnológica: selección de Arduino UNO R4 WiFi, Firebase (NoSQL) y API en Node.js.

Fase 2 – Sprint Planning y Diseño del Producto (Sprint 1).

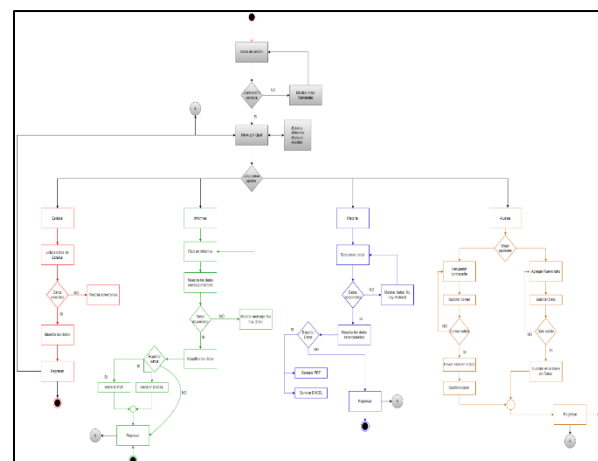
En esta fase se planificó el Sprint 1 para cubrir la recopilación de requisitos y el modelado UML, en donde se desarrollaron los diagramas de caso de uso, secuencia, clases y componentes que definen la comunicación entre Arduino, API y Firebase; de igual manera se definieron los protocolos de comunicación IoT (WiFi, MQTT [19], AMQP, CoAP [20], etc.).

Figura 4. *Diagrama de secuencia: Vista general.*



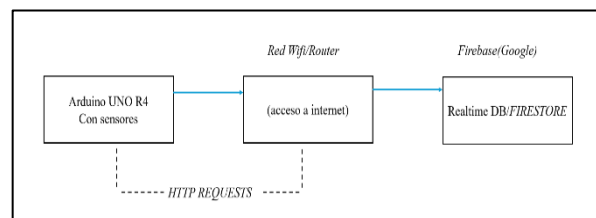
Fuente. Creación propia, 2025.

Figura 5. Diagrama de Actividades General.



Fuente. Creación propia, 2025.

Figura 6. *Arquitectura base de Arduino UNO R4, WIFI y Firebase.*



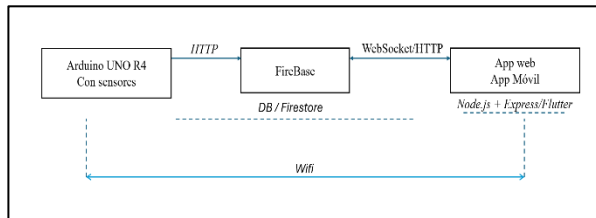
Fuente. *Creación propia, 2025.*

```

graph LR
    A[Aplicación web/móvil] --> B[API]
    B --> C[Realtime DB/FIRESTORE]
    A -.-> D[HTTP]
    B -.-> E["(HTTP/SDK)"]
    C -.-> F["(HTTP/SDK)"]
  
```

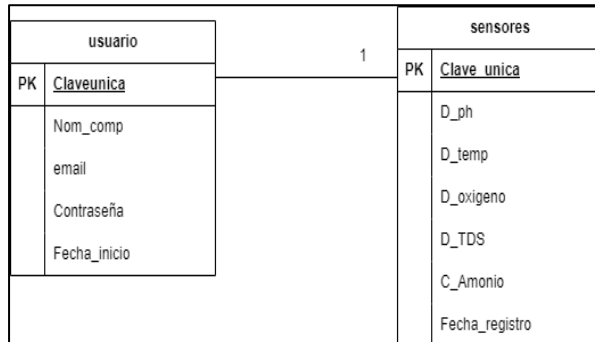
Fuente. *Creación propia, 2025.*

Figura 8. Arquitectura base de Arduino UNO R4, WIFI, firebase y aplicaciones.



Fuente. Creación propia, 2025

Figura 9. Diagrama de Clase.



Fuente. Creación propia, 2025.

Figura 10. Interfaz inicio de sesión.

La interfaz de inicio de sesión muestra un formulario de acceso (Login) con los campos 'Correo electrónico' y 'Contraseña', y un botón de 'Botón de ingreso'.

Fuente. Creación propia, 2025.

Figura 11. Interfaz principal del sistema.

La interfaz principal del sistema muestra un menú lateral con opciones: 'Estatus', 'Informes', 'Historial', 'Ajustes' y 'Menú Lateral'. El contenido principal es una 'Pestaña Principal'.

Fuente. Creación propia, 2025.

Figura 12. Interfaz de los estanques.

La interfaz de los estanques muestra un menú lateral con opciones: 'Estatus', 'Informes', 'Historial', 'Ajustes' y 'Menú Lateral'. El contenido principal muestra tres estanques: 'Estanque 1', 'Estanque 2' y 'Estanque 3'.

Fuente. Creación propia, 2025

Figura 13. Interfaz de informes.

La interfaz de informes muestra un menú lateral con opciones: 'Estatus', 'Informes', 'Historial', 'Ajustes' y 'Menú Lateral'. El contenido principal muestra un formulario de búsqueda con campos 'Fecha 1', 'Fecha 2' y 'Buscar', y una sección de 'Respuesta' con botones 'Selección el tipo de documento' y 'Extensión'.

Fuente. Creación propia, 2025.

Figura 14. Interfaz de historial.

La interfaz de historial muestra un menú lateral con opciones: 'Estatus', 'Informes', 'Historial', 'Ajustes' y 'Menú Lateral'. El contenido principal muestra tres estanques: 'Estanque 1', 'Estanque 2' y 'Estanque 3', cada uno con un botón 'Mostrar'.

Fuente. Creación propia, 2025.

Figura 15. Interfaz de ajuste.

La interfaz de ajuste muestra un menú lateral con opciones: 'Estatus', 'Informes', 'Historial', 'Ajustes' y 'Menú Lateral'. El contenido principal muestra un formulario de 'Recuperar contraseña' con campos 'Ingreso correo' y 'Enviar', y un formulario de 'Estanques nuevos' con campos 'Nombre' y 'Numero', y un botón 'Enviar'.

Fuente. Creación propia, 2025.

Fase 3 – Desarrollo Iterativo (Sprints 2–3).

Esta fase de la metodología, se centró en el desarrollo de los:

- Sprint 2: Creación de la base de datos en Firebase.
 - Se definieron las colecciones y nodos (usuarios, sensores, estanques).
 - Se realizaron pruebas de lectura/escritura en tiempo real.
- Sprint 3: Desarrollo de la API en Node.js y conexión con Arduino.
 - Se realizó la programación de los endpoints (GET, POST, PUT, DELETE).
 - Se llevó a cabo la comunicación segura con cifrado SSL y autenticación Firebase.
 - Se realizaron pruebas con sensores reales de pH, turbidez y temperatura.



Figura 16. Firebase: creación de proyecto.

Fuente. Creación propia, 2025.



Figura 17. Firebase: creación de la base de datos.

Fuente. Creación propia, 2025.

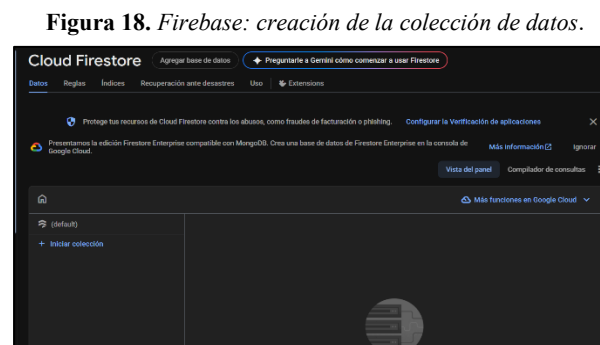
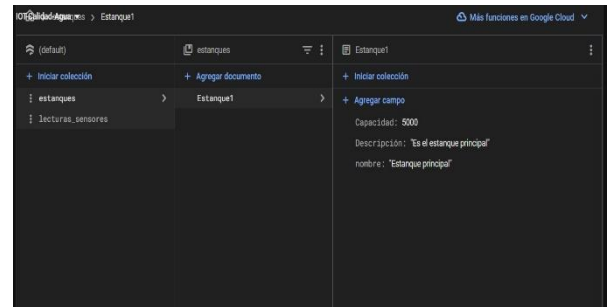


Figura 18. Firebase: creación de la colección de datos.

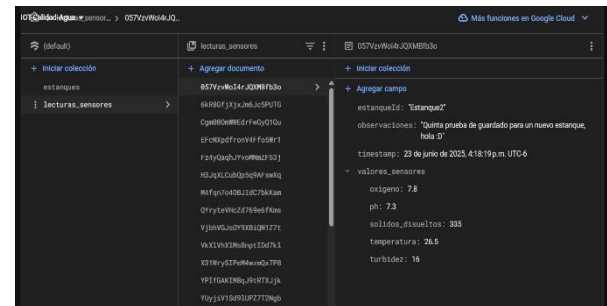
Fuente. Creación propia, 2025.

Figura 19. Firebase: colección creada con datos.



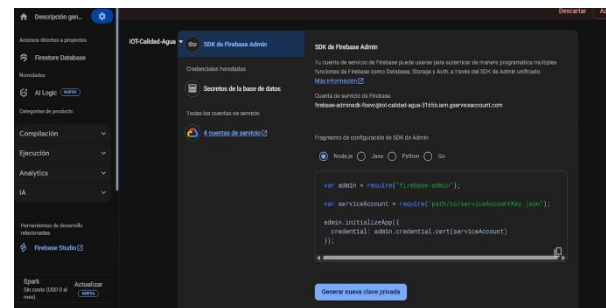
Fuente. Creación propia, 2025.

Figura 20. Firebase: vista de la colección creada con datos.



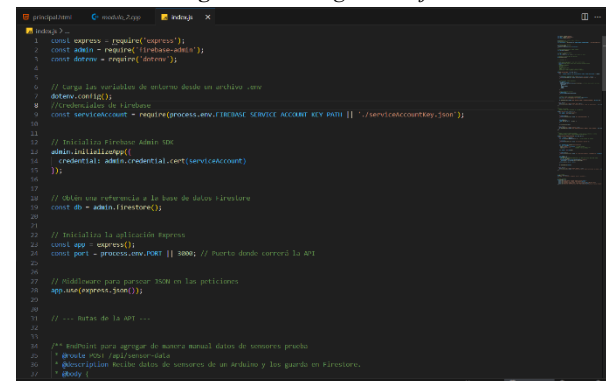
Fuente. Creación propia, 2025.

Figura 21. Cuenta de Servicio para tu Backend Node.js.



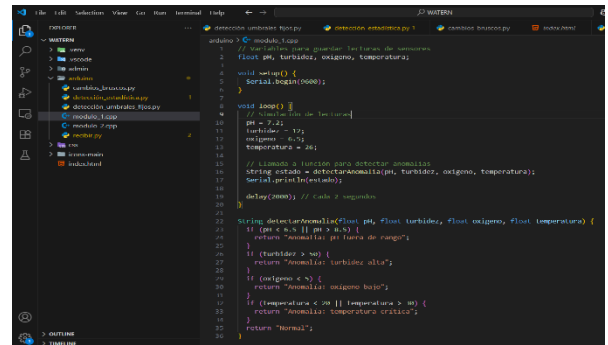
Fuente. Creación propia, 2025.

Figura 22. Código index.js.



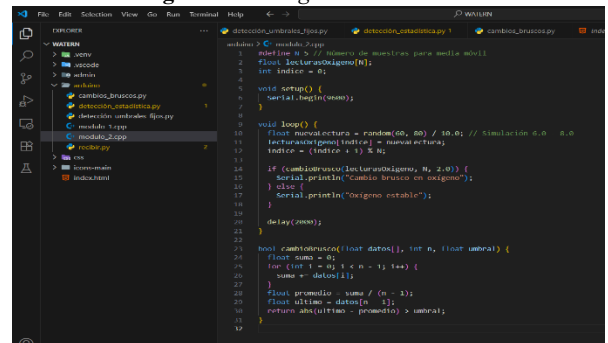
Fuente. Creación propia, 2025.

Figura 27. *Código del módulo 1.*



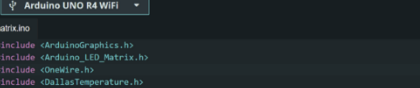
Fuente. *Creación propia, 2025.*

Figura 28. Código del módulo 2.



Fuente. *Creación propia, 2025.*

Fase 4 – Sprint Review y Validación (Sprint 4).



```
1 #include <ArduinoGraphics.h>
2 #include <Arduino_LED_Matrix.h>
3 #include <OneWire.h>
4 #include <DallasTemperature.h>
5
6 OneWire oneWire(2); // DEFINIÇÃO UM PINO PARA LEITURA DO SENSOR
7 DallasTemperature sensor(&oneWire);
8
9 int ndispositivos = 0;
10 float tempo;
11 int posicao;
12 char msg[] = "KICKS TECNOLOGIA - INSCREVA-SE";
```

Output Serial Monitor x

Message (Enter to send message to "Arduino UNO R4 WIFI" on "COM1") New Line 9600 baud

Sensor 1: 19.62°C
Sensor 1: 18.75°C
Sensor 1: 18.48°C
Sensor 1: 19.63°C

Figura 29. *Prueba de funcionalidad de usuarios.*

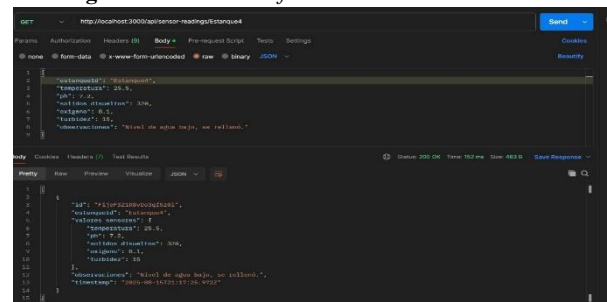
```

1 // Sum of Squares of First N Natural Numbers
2
3 #include <stdio.h>
4
5 int main()
6 {
7     int n;
8     printf("Enter a number: ");
9     scanf("%d", &n);
10
11     int sum = 0;
12
13     for (int i = 1; i <= n; i++)
14     {
15         sum += i * i;
16     }
17
18     printf("Sum of squares of first %d natural numbers is: %d", n, sum);
19
20     return 0;
21 }

```

Output: Sum of squares of first 10 natural numbers is: 385

Figura 30. Prueba de funcionalidad de los sensores.



Fuente. Creación propia, 2025.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El uso de sensores y dispositivos conectados en la acuicultura comenzó a explorarse en México con mayor frecuencia cerca de la década del 2010. La necesidad de monitorear variables críticas como temperatura, oxígeno disuelto, pH y salinidad impulsó la adopción de estas tecnologías.

A nivel nacional, la actividad acuícola mexicana está en expansión sostenida y creciente relevancia para la seguridad alimentaria. De acuerdo con cifras oficiales, en 2023 México produjo más de 1.9 millones de toneladas de especies pesqueras y acuícolas, con un valor económico superior a 42 mil millones de pesos, lo que confirma la importancia del sector en el abasto y en las exportaciones del país. En ese mismo año, la producción de camarón, columna vertebral de la acuicultura nacional alcanzó preliminarmente 243,400 toneladas, consolidando a México entre los principales productores regionales. La producción de tilapia, por su parte, mantuvo su papel social y productivo al concentrar una proporción significativa de las y los profesionales del subsector y aportar un valor estimado en miles de millones de pesos, con fuerte arraigo en unidades de producción de pequeña y mediana escala. Estas tendencias locales se alinean con la dinámica global reportada por la FAO, que documentó en 2022 el punto de inflexión histórico en el que la acuicultura superó por primera vez a la pesca de captura como fuente principal de animales acuáticos para consumo humano [21].

La implementación de las tecnologías digitales en los territorios rurales mexicanos ha crecido con rapidez: para 2023, 81.2 % de la población de 6 años y más usó internet 85.5 % en áreas urbanas y 66.0 % en zonas rurales, con un incremento rural estadísticamente significativo respecto de 2022. Este avance habilita nuevas posibilidades para la instrumentación de soluciones de Internet de las Cosas (IoT) en granjas acuícolas dispersas geográficamente, donde la variabilidad de la calidad del agua y los costos de insumos exigen monitoreo continuo y toma de decisiones basada en datos. Los sistemas IoT que utilizan sensores de pH, oxígeno disuelto, temperatura y turbidez, conectividad y analítica de datos, permiten detectar condiciones subóptimas con mayor oportunidad, lo que permite optimizar la alimentación y reducir mortalidad, mejorando productividad y bienestar animal bajo esquemas de manejo responsable [22]. Aquí algunos ejemplos:

El proyecto titulado Sistema de Monitoreo y Control Inalámbrico en Granjas Acuícolas: Proyecto para obtención de grado desarrollado por David Duarte Correa en la Universidad Autónoma de Querétaro; se centra en la instrumentación y tecnificación de granjas acuícolas mediante un sistema inalámbrico de monitoreo y control, haciéndolo accesible para productores nacionales [23].

El proyecto de Automatización y Control para el Bombeo en Granjas Camaroneras: Implementado en la empresa "Loma de las Cayotas", busca automatizar el proceso de bombeo para la oxigenación de camarones, reduciendo errores y accidentes, y optimizando la eficiencia en la crianza de este marisco [24].

El proyecto Sistema Acuícola de Gestión y Monitoreo de Calidad del Agua Basado en Tecnologías IoT e Ingeniería de Software, se usa en el área de producción acuícola, el cual está compuesto por una aplicación móvil y un prototipo de control conformado por una tarjeta microcontrolador y los elementos conectados a la misma, permite monitorear las principales variables de un hábitat acuícola artificial, con la finalidad de controlar los elementos para la recirculación y mantener óptimos los niveles de dichas variables.

Finalmente en el caso del proyecto Aplicación de Sistemas Embebidos e IoT para el Monitoreo de oxígeno disuelto en Estanques Acuícolas en Eldorado, Sinaloa: Proyecto para obtención de grado desarrollado por Jesús Antonio Navar Pintor en la Universidad Autónoma de Zacatecas en la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica; utiliza la arquitectura de una red LoRaWAN [25] para el Internet de las Cosas (IoT), que abarca la creación de los dispositivos de borde, hasta el desarrollo de una red Lora, la validación de las mediciones del sistema en la recolección de los valores de oxígeno disuelto que son de vital importancia para el óptimo crecimiento de las especies marinas y por último, implementa el sistema en estanques acuícolas dedicados a la producción de camarón Vannamei, facilitados por la cooperativa María Esperanza.

Estos proyectos reflejan el avance y la innovación en la automatización de la acuicultura en México, contribuyendo a una producción más eficiente y sostenible.

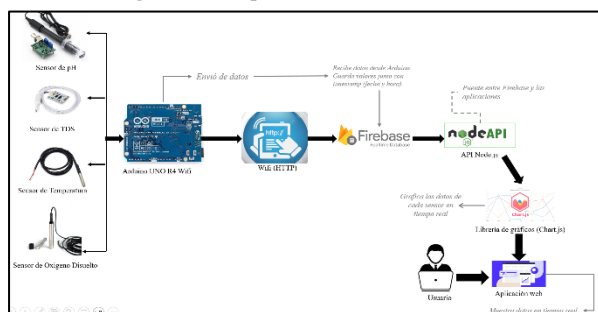
Por lo tanto, después de analizar los resultados anteriores se puede determinar que el sistema IoT basado en la nube que permite monitorizar y gestionar en tiempo oportuno parámetros fisicoquímicos de calidad del agua en estanques de crianza de alevines de tilapia, garantiza las condiciones óptimas para el crecimiento de las especies y reduce riesgos asociados a cambios en dichos parámetros, lo que genera un impacto significativo en productores del municipio de Centro, Tabasco, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de la ONU [26] y los ejes estratégicos del gobierno de la República de México; lo que lo hace diferente a los sistemas ya existentes.

1. Fase 1 – Inicio (Planificación del Sprint 0): se recabo información para establecer los requerimientos para el desarrollo del sistema IoT basado en la nube que permite monitorizar y gestionar en tiempo oportuno parámetros fisicoquímicos de calidad del agua en estanques de

crianza de alevines de tilapia. A partir de estos requerimientos se tomaron decisiones tales como las funcionalidades a desarrollar, los usuarios o personas involucradas, las tecnologías a utilizar y el tipo de diseño del sistema web y el sistema de control.

2. Fase 2 – Sprint Planning y Diseño del Producto (Sprint 1): los requerimientos obtenidos en la fase de inicio (planificación del sprint 0) facilitaron la elaboración del análisis y diseño del sistema IoT basado en la nube que permite monitorizar y gestionar en tiempo oportuno parámetros fisicoquímicos de calidad del agua en estanques de crianza de alevines de tilapia.

Figura 31. Arquitectura del Sistema IoT.



Fuente. Creación propia, 2025.

3. Fase 3 – Desarrollo Iterativo (Sprints 2–3): se desarrolló el sistema IoT partiendo del diseño realizado en la fase 2 – sprint planning y diseño del producto (sprint 1).

A continuación, pantallas de sistema IoT:

Al iniciar el sistema IoT basado en la nube que permite monitorizar y gestionar en tiempo oportuno parámetros fisicoquímicos de calidad del agua en estanques de crianza de alevines de tilapia, se tiene como vista principal la siguiente pantalla, en la que se observa el inicio de sesión por parte del usuario.

Figura 32. Pantalla inicial del sistema.

Fuente. Creación propia, 2025.

La interfaz Estatus es donde el Arduino UNO R4 junto con los sensores y el medio de comunicación darán visualización a los datos respectivos de cada estanque.

Figura 33. Interfaz Estatus.

Fuente. Creación propia, 2025.

En la interfaz de informes, se selecciona el tipo de dato que se desee obtener por medio de las fechas que requiera y se muestran los datos de cada estanque.

Figura 34. Interfaz informes.

Fuente. Creación propia, 2025.

La interfaz informe, también cuenta con un apartado en donde el informe se puede generar en un documento tipo Excel o .PDF.

Figura 35. Interfaz de generación del informe en documento Excel o PDF.

Fuente. Creación propia, 2025.

Para conocer el historial de mediciones que se ha realizado en cada estanque, se realiza desde la interfaz historial que se muestra a continuación.

Figura 36. Interfaz de historial de mediciones en cada estanque.

Fuente. Creación propia, 2025.

En caso de requerir algún ajuste en el sistema o recuperar la contraseña, se puede realizar desde la interfaz ajuste, la cual se muestra a continuación.

Figura 37. Interfaz de ajuste.

Fuente. Creación propia, 2025.

4. Fase 4 – Sprint Review y Validación (Sprint 4): para el despliegue en producción sistema IoT basado en la nube que permite monitorizar y gestionar en tiempo oportuno parámetros fisicoquímicos de calidad del agua en estanques de crianza de alevines de tilapia se contactó con el dueño de la Granja Acuícola Medellín Tabasco, con la finalidad de que autorizara la implementación del sistema. Este proceso involucró la preparación del entorno de producción, la configuración del sistema, la seguridad, su supervisión y la validación de las mediciones en tiempo real y de las alertas por anomalías, así como la revisión en conjunto con el cliente y la retroalimentación inmediata. El sistema IoT se desplegó con éxito.

CONCLUSIONES

El desarrollo del sistema basado en Internet de las Cosas (IoT) y tecnologías en la nube para el monitoreo y gestión de parámetros fisicoquímicos en estanques de crianza de alevines de tilapia demostró ser una herramienta eficaz, accesible y de alto impacto para la acuicultura local. El prototipo permitió registrar y analizar en tiempo oportuno variables críticas como el pH, la temperatura, el oxígeno disuelto y la turbidez, generando alertas ante variaciones que pudieran comprometer la salud de los organismos. De esta forma, se lograron cumplir los objetivos planteados, garantizando condiciones óptimas para el crecimiento de los alevines y contribuyendo a la reducción de pérdidas productivas.

La aplicación de tecnologías IoT en el contexto acuícola no solo moderniza las prácticas tradicionales de producción, sino que también impulsa la transición hacia sistemas más sostenibles y eficientes. Desde una perspectiva más amplia y de compromiso social, este progreso se sitúa en perfecta sintonía con varios de los propósitos esenciales de la agenda 2030 de la ONU [26]: el ODS 2 sobre cómo erradicar el hambre, el ODS 6 para asegurar el acceso al agua limpia, el ODS 9 que impulsa la infraestructura y la innovación, y el ODS 14 que cuida nuestros océanos. Además, alinea nuestros esfuerzos con las directrices estratégicas de la administración mexicana,

que buscan fortalecer la autosuficiencia alimentaria, impulsar la innovación tecnológica, trabajar por la sostenibilidad ambiental y afianzar la inclusión de todos los sectores.

En particular, este proyecto tiene un enfoque social: busca que la tecnología no se quede solo en las ciudades, sino que llegue a las zonas rurales. Al hacer esto, no solo mejoramos la competitividad del sector, sino que nos aseguramos de que los propios productores aprendan a usar estas herramientas digitales, lo cual es esencial para su desarrollo.

Los resultados obtenidos sugieren que la integración de este sistema puede incrementar significativamente la productividad acuícola y reducir el impacto ambiental, lo que representa un paso importante hacia la consolidación de una acuicultura inteligente en Tabasco.

Como líneas futuras de investigación se proponen las siguientes: 1. Ampliar la cobertura del sistema mediante el uso de inteligencia artificial para el análisis predictivo de los parámetros de calidad del agua, permitiendo anticipar posibles alteraciones y optimizar las estrategias de alimentación y oxigenación.

Como segunda línea, se propone integrar módulos de energía solar para garantizar la operación autónoma del sistema en zonas rurales con limitaciones eléctricas, así como desarrollar una aplicación móvil [27] que permita a los productores gestionar los datos desde cualquier dispositivo.

Finalmente, se prevé realizar validaciones en diferentes tipos de cuerpos de agua y especies acuícolas, con el fin de adaptar el modelo a diversas condiciones ambientales y fortalecer su aplicabilidad en contextos productivos de todo el país.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Granja Acuícola Medellín, al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico de Villahermosa por la confianza, el apoyo y facilidades brindada para la elaboración e implementación del Sistema IoT basado en la nube que permite monitorizar y gestionar en tiempo oportuno parámetros fisicoquímicos de calidad del agua en estanques de crianza de alevines de tilapia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.
- [2] Arduino S.r.l. (28 de julio de 2025). Arduino UNO R4 WiFi – 32-bit MCU with WiFi & Bluetooth. Arduino Online Shop. Recuperado de <https://store-usa.arduino.cc/products/uno-r4-wifi?srsltid=AfmBOoqSdUvProUdw9zTPZO7V0XWsb59qFAKcyHHQCu3xEXS7kf0Fw5>

- [3] Sensores. (25 de JULIO de 2024). Sensores de pH para Arduino. Obtenido de Sensores de pH para Arduino: <https://proyectosconarduino.com/sensores/sensores-de-ph-para-arduino/>
- [4] Ecuarobot.com. (24 de marzo de 2021). Medición de la turbidez del agua para determinar la calidad del agua mediante Arduino y el sensor de turbidez. <https://ecuarobot.com/2021/03/24/medicion-de-la-turbidez-del-agua-para-determinar-la-calidad-del-agua-mediante-arduino-y-el-sensor-de-turbidez/>
- [5] Xi'an Desun Uniwill Electronic Technology Co., Limitado. (25 de febrero de 2025). Sensor de oxígeno disuelto fluorescente DS380. <https://disen-sensor.com/es/producto/sensor-de-oxigeno-disuelto/>
- [6] SENSORS, R. (Agosto de 2024). RECHNER SENSORS. Obtenido de El sensor de temperatura: <https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/el-sensor-de-temperatura#:~:text=Los%20sensores%20de%20temperatura%20son,sensores%20de%20calor%20o%20termosensores.>
- [7] Google Cloud. (s.f.). ¿Qué es una base de datos en la nube? Google Cloud. Recuperado el 28 de marzo de 2025, de <https://cloud.google.com/learn/what-is-a-cloud-database?hl=es-419>
- [8] Galicia, F. P. (27 de junio de 2024). Visual Studio Code: Funcionalidades y beneficios para desarrolladores. Obtenido de GoDaddy: <https://www.godaddy.com/resources/latam/desarrollo/visual-studio-code-editor>
- [9] Mora, S. L. (17 de Mayo de 2020). DIGITAL55. Obtenido de Firebase: qué es, para qué sirve, funcionalidades y ventajas: <https://digital55.com/blog/que-es-firebase-funcionalidades-ventajas-conclusiones/>
- [10] Calvo, D. (12 de Septiembre de 2016). Bases de Datos. Obtenido de Características y Comparativa de las Bases de datos NoSql: <https://www.diegocalvo.es/caracteristicas-y-comparativa-de-las-bases-de-datos-nosql/>
- [11] ns-3-dev. (Julio de 2025). ns-3. Obtenido de IEEE 802.15.4: Red de área personal inalámbrica de baja velocidad (LR-WPAN): <https://www.nsnam.org/docs/models/html/lr-wpan.html>
- [12] IBM. (s.f.). ¿Qué es un microcontrolador? IBM. <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/microcontroller>
- [13] Rodríguez, M., Sánchez, D., & López, F. (2023). Sistemas inteligentes para la gestión de calidad del agua en acuicultura: Avances y desafíos. *Revista Internacional de Tecnología y Medio Ambiente*, 15(3), 75-92.
- [14] INEGI. (s/f). Programas de información. INEGI. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://www.inegi.org.mx/programas/>
- [15] Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). (2022). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2022. <https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2022/A>
- [16] Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (2014). Handbook for aquaculture water quality. Elsevier.
- [17] Tecnológico Nacional de México (TecNM). (2023). Agenda Estratégica para Agua Limpia y Saneamiento. TecNM.
- [18] Lomeli, L. (26 de mayo de 2023). Metodología Scrum: Roles, Procesos y Artefactos. Innevo. Obtenido de <https://innevo.com/blog/metodologia-scrum>
- [19] Carrasco, D. (25 de Febrero de 2023). ElectroSoftCloud. Obtenido de MQTT: ¿Qué es y cómo funciona?: <https://www.electrosoftcloud.com/mqtt-que-es-y-como-funciona/>
- [20] Beschokov, M. (7 de ABRIL de 2025). WALLARM. Obtenido de ¿Qué es el protocolo CoAP? Significado y arquitectura: <https://lab.wallarm.com/what/que-es-el-protocolo-coap-significado-y-arquitectura/?lang=es>
- [21] Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). (2024, 18 de marzo). Produce México más de 1 millón 900 mil toneladas de especies pesqueras y acuícolas en 2023. Gobierno de México. Recuperado de <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-mexico-mas-de-1-millon-900-mil-toneladas-de-especies-pesqueras-y-acuicolas-en-2023>
- [22] Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2024, 13 de junio). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2023 [Comunicado de prensa]. Recuperado de <https://www.ift.org.mx/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/es/encuesta-nacional-sobre-disponibilidad-y-uso-de-tecnologias-de-la-informacion-en-los-hogares-endutih-1>
- [23] Duarte Correa, R., & Ramírez Rodríguez, D. (2007). Sistema de Monitoreo y Control Inalámbrico en Granjas Acuícolas [Universidad Autónoma de Querétaro]. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/5687>
- [24] Sosa Sales, J., & Beltrán Rendon, E. (2015). Automatización y control para el bombeo de una granja camaronera en la localidad de Pimientillo, Nayarit. <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pista/s/issue/view/28/showToc>, 36(113), 527–539. <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pista/s/article/viewFile/349/338>
- [25] ALFAIOT-WEBMASTER. (17 de NOVIEMBRE de 2022). LoRaWAN, el protocolo de red ideal para el Internet de las Cosas. Obtenido de LoRaWAN, el protocolo de red ideal para el Internet de las Cosas: <https://alfaiot.com/iot/lorawan-el-protocolo-de-red-ideal-para-el-internet-de-las-cosas/>
- [26] Naciones Unidas. (25 de septiembre de 2015). La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- [27] Silva, F. (07 de octubre de 2020). Servicios Softcorp CA. Obtenido de <https://servissoftcorp.com/definicion-y->

como-funcionan-las-aplicaciones-
moviles/#Que_es_una_aplicacion_movil

Tabla de Roles de Contribución

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Jorge Cein Villanueva Guzmán
Administración del proyecto	Jorge Cein Villanueva Guzmán
Curación de datos	Victor Manuel Arias Peregrino
Metodología	Ezequiel Gómez Domínguez
Software	Nayeli del Carmen López López
Redacción	Pedro Zamora Reséndiz
Visualización	Victor Manuel Arias Peregrino



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