

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v9i18.0358>

IMPLEMENTACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE UN CULTIVO ACUÍCOLA MULTITRÓFICO MONITOREADO CON TECNOLOGÍAS IoT

IMPLEMENTATION OF INFRASTRUCTURE FOR A MULTITROPHIC AQUACULTURE SYSTEM MONITORED USING IoT TECHNOLOGIES

Cevallos-Zhunio Jorge Eduardo ¹; Valle-Chiriboga Carlos Alex ²;
Meza-Cabrera Washington Guillermo ³; Álvarez-Ricaurte Randy Josué ⁴

¹ Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Correo: jorge.cevallosz@ug.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8976-2973>

² Universidad Ecotec. Guayaquil, Ecuador.

Correo: carlitos.alex.valle@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0090-378X>.

³ Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Correo: washington.mezac@ug.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7252-305X>

⁴ Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Correo: randyjosue_alvarez@hotmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-5909-0442>.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo implementar la infraestructura de un sistema de cultivo acuícola multitrófico integrado con tecnologías del Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo de variables de calidad del agua. La infraestructura estuvo conformada por cuatro tanques tipo IBC con capacidad de 1000 L cada uno, destinados al cultivo de tilapia (*Oreochromis* sp.) y langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*), con una densidad de 60 tilapias y 10 langostas por tanque. El sistema hidráulico fue implementado mediante una red de tuberías de PVC de 1/2 pulgada, complementada con válvulas y accesorios para regular y distribuir el flujo de agua entre las unidades de cultivo. La circulación del agua se realizó mediante una bomba de 3 HP, mientras que la aireación fue proporcionada mediante un blower y sistemas de oxigenación independientes para las unidades de cultivo. Como parte del manejo hidráulico, se efectuaron recambios parciales de agua de aproximadamente el 30% del volumen de los tanques, con el propósito de mantener condiciones adecuadas de calidad del agua y reducir el estrés de los organismos durante las actividades de manejo. Para el monitoreo de las condiciones del sistema se implementó una arquitectura IoT basada en un microcontrolador Arduino Uno, módulo ESP32 y una red de sensores DS18B20, pH 0–14 y LGDZ V1.1, destinada al registro de temperatura, pH y turbidez del agua. La adquisición y transmisión de datos se integró mediante Arduino IDE 2.3.4 y la plataforma ThingSpeak. Durante los ensayos, el sistema permitió mantener valores promedio de pH de $7,2 \pm 0,3$ y $7,4 \pm 0,2$; temperaturas de $27,1 \pm 0,8$ °C y $27,5 \pm 0,6$ °C; oxígeno disuelto de $5,8 \pm 0,5$ y $6,1 \pm 0,4$ mg/L; y turbidez de $18,3 \pm 2,1$ y $16,7 \pm 1,8$ NTU, respectivamente. Estos resultados evidencian la funcionalidad de la infraestructura hidráulica, el sistema de aireación y la arquitectura IoT implementados de manera integrada, permitiendo mantener condiciones apropiadas para el desarrollo del cultivo y facilitando el monitoreo de la calidad del agua.

Palabras clave: Acuicultura multitrófica; infraestructura hidráulica; aireación; Internet de las Cosas; calidad del agua.

Abstract

This study aimed to implement the infrastructure for an integrated multi-trophic aquaculture system incorporating Internet of Things (IoT) technologies to monitor water quality variables. The infrastructure consisted of four 1,000-liter IBC tanks used to culture tilapia (*Oreochromis* sp.)

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 11 de mayo de 2026.

Fecha de aceptación: 14 de agosto de 2026.

Fecha de publicación: 21 de agosto de 2026.



and freshwater crayfish (**Procambarus clarkii**) at a density of 60 tilapia and 10 crayfish per tank. The hydraulic system utilized a network of 1/2-inch PVC piping, complemented by valves and fittings to regulate and distribute water flow among the culture units. Water circulation was driven by a 3 HP pump, while aeration was provided by a blower and independent oxygenation systems for each culture unit. As part of hydraulic management, partial water exchanges—amounting to approximately 30% of the tank volume—were performed to maintain suitable water quality and reduce organism stress during handling. To monitor system conditions, an IoT architecture was implemented using an Arduino Uno microcontroller, ESP32 modules, and a sensor network comprising DS18B20, pH 0–14, and LGDZ V1.1 sensors to record water temperature, pH, and turbidity. Data acquisition and transmission were integrated using the Arduino IDE 2.3.4 and the ThingSpeak platform. During the trials, the system maintained average pH values of 7.2 ± 0.3 and 7.4 ± 0.2 ; temperatures of 27.1 ± 0.8 °C and 27.5 ± 0.6 °C; dissolved oxygen levels of 5.8 ± 0.5 and 6.1 ± 0.4 mg/L; and turbidity levels of 18.3 ± 2.1 and 16.7 ± 1.8 NTU, respectively. These results demonstrate the functionality of the hydraulic infrastructure, aeration system, and IoT architecture implemented in an integrated manner, enabling the maintenance of appropriate conditions for crop development and facilitating water quality monitoring.

Keywords: Multitrophic aquaculture; hydraulic infrastructure; aeration; Internet of Things; water quality.

1. Introducción

La acuicultura multitrófica integrada se caracteriza por el cultivo de dos o más especies con diferentes funciones y requerimientos dentro de un mismo sistema productivo, aprovechando las interacciones generadas entre los organismos y los recursos disponibles en el sistema. En el presente estudio, esta integración se establece entre la tilapia (*Oreochromis* sp.) y la langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*), como especies que coexisten dentro de una misma infraestructura de cultivo. Según Naspirán et al. (2022), los sistemas de acuicultura constituyen una alternativa a los métodos tradicionales de producción, debido

a que ofrecen beneficios relacionados con la eficiencia productiva y el aprovechamiento de los recursos disponibles.

La implementación de este tipo de sistemas demanda una infraestructura que permita garantizar la circulación y distribución adecuada del agua, así como una aireación suficiente para mantener condiciones favorables en las unidades de cultivo. Por ello, el diseño e implementación de tanques, redes hidráulicas, sistemas de bombeo, válvulas, accesorios y dispositivos de aireación constituyen componentes esenciales para el funcionamiento y estabilidad del sistema.

La configuración modular de la infraestructura implementada, basada en tanques, redes de tuberías, sistemas de bombeo y aireación, permite aprovechar de manera eficiente espacios de superficie limitada. Esta característica facilita la adaptación de este tipo de sistemas a diferentes entornos, incluyendo áreas urbanas, donde la disponibilidad de espacio puede constituir una limitación para el desarrollo de actividades acuícolas. En este sentido, el diseño de una infraestructura compacta y funcional puede favorecer la implementación de sistemas acuícolas multitróficos en espacios urbanos.

Tradicionalmente, el manejo de los sistemas acuícolas se ha sustentado en prácticas como el recambio parcial de agua, la remoción de sedimentos y la observación de parámetros básicos del cultivo (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria, 2017). Si bien estas estrategias contribuyen al mantenimiento de las condiciones del sistema, presentan limitaciones relacionadas con la frecuencia, precisión y oportunidad en la detección de cambios en la calidad

del agua. En este sentido, el desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido incorporar sensores y sistemas de monitoreo que facilitan el seguimiento de variables fisicoquímicas relevantes, entre ellas la temperatura, el oxígeno disuelto, el potencial de hidrógeno (pH), el amonio, los nitritos, los nitratos y la salinidad (Flores Mollo & Aracena Pizarro, 2018).

Dentro de estas tecnologías, el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés, Internet of Things) constituye una alternativa para mejorar la adquisición y gestión de información en los sistemas acuícolas. El IoT permite conectar dispositivos físicos a una red para recopilar, transmitir e intercambiar datos con otros dispositivos o plataformas digitales, reduciendo la necesidad de intervención humana constante (Cevallos et al., 2023). Esta tecnología integra componentes de hardware y software que permiten desarrollar procesos específicos de adquisición y transmisión de datos. Asimismo, una arquitectura IoT puede integrar entidades físicas, entidades digitales, plataformas de monitoreo y usuarios, facilitando la interacción

entre los elementos que conforman el sistema (Sugiharto & Kaburuan, 2023).

En el ámbito acuícola, la integración de sensores, microcontroladores y plataformas de monitoreo permite complementar la infraestructura física del cultivo con herramientas para el seguimiento de las condiciones del agua. De esta manera, el monitoreo de variables como temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez puede realizarse de forma sistemática, generando información que contribuya al manejo de las unidades de cultivo y a la identificación oportuna de posibles variaciones en las condiciones del sistema. Por tanto, la incorporación de tecnologías IoT, articulada con una infraestructura hidráulica y un sistema de aireación adecuados, constituye una alternativa para fortalecer el monitoreo y manejo de sistemas acuícolas multitróficos.

2. Metodología

Tipo y enfoque del estudio

El estudio presentó un enfoque aplicado y descriptivo, orientado a la implementación de la infraestructura de un sistema de cultivo acuícola

multitrófico integrado con tecnologías del Internet de las Cosas (IoT). El trabajo se centró en el diseño, montaje e integración de la infraestructura hidráulica, el sistema de aireación y la arquitectura tecnológica para el monitoreo de variables de calidad del agua.

Implementación de la infraestructura acuícola

La infraestructura del sistema estuvo conformada por cuatro tanques tipo IBC, con una capacidad de 1000 L cada uno. Este tipo de contenedor se caracteriza por su resistencia a diferentes condiciones ambientales y por facilitar las actividades de manipulación y transporte, características que favorecen su utilización como unidades de cultivo acuícola (Canela, 2022). En el presente estudio, los tanques fueron acondicionados y destinados al cultivo de tilapia (*Oreochromis sp.*) y langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*), estableciendo una densidad de 60 tilapias y 10 langostas por cada unidad de cultivo.

Los tanques fueron acondicionados para permitir la entrada, circulación y salida del agua, conformando las unidades principales del sistema hidráulico. La interconexión entre los

tanques se realizó mediante una red de tuberías de PVC de 1/2 pulgada, complementada con válvulas y accesorios hidráulicos destinados a

regular y distribuir el flujo de agua entre las diferentes unidades de cultivo.

Figura 1. Estanques de la Facultad de Ciencias Naturales



Como medida de protección de la infraestructura, se instaló una cubierta sobre el área destinada al sistema acuícola, con el propósito de reducir el ingreso directo de agua lluvia a los tanques y evitar posibles alteraciones en las condiciones del agua. Asimismo, el prototipo IoT fue dispuesto dentro de una cubierta plástica, con el fin de proteger sus componentes electrónicos frente a la humedad y posibles salpicaduras de

agua durante el funcionamiento del sistema.

La circulación del agua fue proporcionada mediante una bomba de 3 HP, encargada de impulsar el agua a través de la red hidráulica. La configuración de las tuberías y accesorios permitió establecer el recorrido del agua entre las unidades y facilitar las actividades de mantenimiento y manejo del sistema.

Figura 2. Infraestructura del cultivo multitrófico



Sistema de aireación

Para mantener condiciones adecuadas de oxigenación en las unidades de cultivo se implementó un sistema de aireación mediante un blower. La distribución del aire se realizó mediante sistemas de oxigenación independientes para las unidades de cultivo, permitiendo proporcionar aireación de manera continua y favorecer la disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua.

La implementación del sistema de aireación se realizó de manera complementaria a la infraestructura hidráulica, considerando la necesidad de mantener condiciones adecuadas para el desarrollo de los organismos cultivados.

Manejo y recambio de agua

Como parte del manejo de la infraestructura, se efectuaron recambios parciales de agua equivalentes aproximadamente al 30% del volumen de cada tanque. Esta actividad tuvo como finalidad contribuir al mantenimiento de las condiciones de calidad del agua y reducir posibles alteraciones asociadas a la acumulación de materia orgánica y otros compuestos

generados durante el proceso de cultivo.

El recambio se efectuó como una actividad de manejo del sistema, procurando mantener condiciones adecuadas para los organismos y minimizar el estrés durante las actividades de mantenimiento.

Figura 3. Recambio parcial de agua



Implementación de la arquitectura IoT

Para el monitoreo de las condiciones del agua se implementó una arquitectura basada en tecnologías del Internet de las Cosas (IoT), conformada por un microcontrolador Arduino Uno, un módulo ESP32 y sensores destinados a la adquisición de variables fisicoquímicas del agua.

La programación y configuración de los dispositivos se realizó mediante Arduino IDE 2.3.4. El

microcontrolador Arduino Uno no viene con acceso a internet por ello se realizó la conexión con el ESP32 como se observa en la línea 19 de la figura 4, el cual se considera uno de los mejores microcontroladores del

mercado para su uso en IoT debido a sus capacidades de conexión tanto de Bluetooth como de Wi-Fi a un bajo coste energético y económico (Madariaga, 2022).

Figura 4. Comunicación con Arduino Uno usando puerto UART2 del ESP32

```
19 HardwareSerial SerialArduino(2); // UART2: RX = GPIO16, TX = GPIO17
20
21 void setup() {
22   Serial.begin(115200);
23   SerialArduino.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);
24   setupWiFi();
25   client.setServer(mqtt_server, mqtt_port);
26   Serial.println("ESP32 inicializada y esperando datos...");
27 }
28
29 void loop() {
30   if (!client.connected()) {
31     reconnectMQTT();
32   }
33   client.loop();
34
35   if (SerialArduino.available()) {
36     String mensaje = SerialArduino.readStringUntil('\n');
37     Serial.println("Datos recibidos del Arduino:");
38     Serial.println(mensaje);
39     enviarThingSpeak(mensaje);
40   }
41 }
```

Se utilizó el protocolo de mensajería ligero para la comunicación entre dispositivos de IoT, MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), que según Quiñónez y otros (2020) concluyen que los dispositivos IoT tienen un mejor rendimiento bajo el protocolo MQTT, en comparación

con HTTP; mediante la librería WiFi.h se estableció la conexión del ESP32 a una red inalámbrica y la librería ThingSpeak.h para conectar los módulos de los sensores, asociándolos al número del canal y a la API KEY correspondiente como se observa en la figura 5.

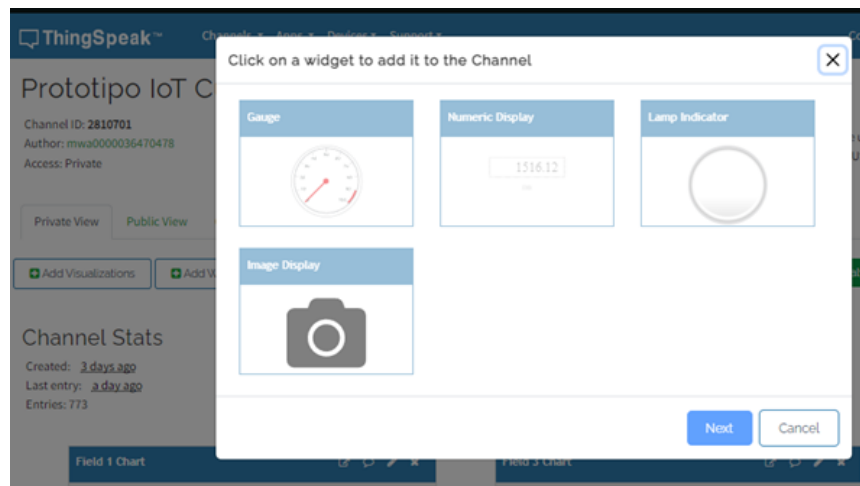
Figura 5. Configuración MQTT para ThingSpeak

```
1 #include <WiFi.h>
2 #include <PubSubClient.h>
3
4 const char* ssid = "Note10";
5 const char* password = "rafa2023";
6
7 const char* mqtt_server = "mqtt3.thingspeak.com";
8 const int mqtt_port = 1883;
9
10 const char* mqtt_client_id = "Ig4lDx0pGy0WFSgMBD0VOSw"; // Client ID
11 const char* mqtt_username = "Ig4lDx0pGy0WFSgMBD0VOSw"; // Username
12 const char* mqtt_password = "wvw0gWHEFsVuAA+pG7Iz1K6J"; // Password
```

La presentación y visualización de los datos es fundamental, por ello, se hizo necesario personalizar los gráficos en ThingSpeak para una adecuada toma de decisiones. En la

figura 6 consta cuando se va a seleccionar un widget, luego de eso se debe configurar correctamente los colores, fondo, títulos, indicadores, entre otros parámetros.

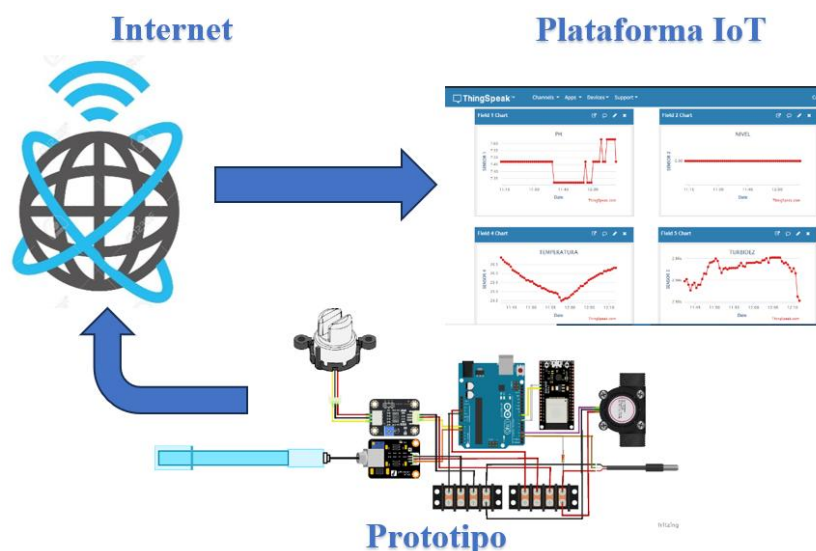
Figura 6. Widgets y personalización de gráficos



La temperatura fue registrada mediante el sensor DS18B20, mientras que el potencial de hidrógeno (pH) se determinó mediante un sensor con rango de medición de 0 a 14. Para el registro

de la turbidez se utilizó el sensor LGDZ V1.1. Los sensores fueron integrados al sistema de adquisición de datos para obtener información de las condiciones del agua en las unidades de cultivo.

Figura 7. Arquitectura del Prototipo



Monitoreo de las variables de calidad del agua

Para evaluar las condiciones del agua y verificar el funcionamiento del prototipo IoT, se consideraron las variables de temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez. La temperatura, el pH y la turbidez fueron registradas mediante los sensores integrados a la arquitectura IoT, mientras que el oxígeno disuelto fue determinado mediante mediciones manuales.

De manera complementaria, todas las variables fueron medidas mediante métodos convencionales, con el propósito de contrastar estos valores con los datos registrados por el prototipo IoT. Este procedimiento permitió comprobar la correspondencia de las lecturas obtenidas y verificar el adecuado funcionamiento de los sensores durante los ensayos.

Los datos obtenidos mediante ambos métodos fueron registrados y organizados para su posterior análisis, utilizando las mediciones convencionales como referencia para el seguimiento del comportamiento de las variables monitoreadas mediante el sistema IoT.

Integración de los componentes

Finalmente, se integraron los componentes físicos y tecnológicos del sistema, considerando cuatro elementos principales: unidades de cultivo, infraestructura hidráulica, sistema de aireación y arquitectura IoT. La integración permitió establecer un sistema acuícola en el que la circulación y oxigenación del agua se complementaron con la adquisición y transmisión de información relacionada con su calidad.

La funcionalidad de la infraestructura implementada se valoró mediante el seguimiento de las variables de calidad del agua registradas durante los ensayos, considerando los valores obtenidos para temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez.

3. Resultados y discusión

Implementación de la infraestructura acuícola

La implementación de la infraestructura permitió establecer un sistema de cultivo acuícola multitrófico conformado por cuatro tanques tipo IBC, con una capacidad de 1000 L cada uno. Las unidades fueron acondicionadas para el cultivo

de tilapia (*Oreochromis* sp.) y langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*), con una densidad de 60 tilapias y 10 langostas por tanque. La configuración de las unidades permitió disponer de espacios independientes para el desarrollo de los organismos y facilitó las actividades de manejo y seguimiento de las condiciones del cultivo.

El sistema hidráulico fue implementado mediante una red de tuberías de PVC de 1/2 pulgada, complementada con válvulas y accesorios para regular y distribuir el flujo de agua. La circulación se realizó mediante una bomba de 3 HP, mientras que la oxigenación fue proporcionada mediante un blower y sistemas de aireación independientes para las unidades de cultivo. La integración de estos componentes permitió establecer un sistema de circulación y aireación funcional, manteniendo el movimiento del agua y favoreciendo la disponibilidad de oxígeno en las unidades de cultivo.

Como parte de las actividades de manejo, se realizaron recambios parciales equivalentes aproximadamente al 30% del

volumen de los tanques. Esta operación permitió mantener las condiciones del agua durante los ensayos y constituyó una actividad complementaria al funcionamiento de la infraestructura hidráulica y del sistema de aireación.

La configuración modular de los tanques, tuberías, bombeo y aireación permitió disponer de una infraestructura adaptable a espacios de superficie limitada. Esta característica resulta relevante para sistemas acuícolas que requieren optimizar el espacio disponible, particularmente en contextos donde la superficie destinada a la producción puede constituir una limitación.

Implementación y funcionamiento de la arquitectura IoT

La arquitectura IoT implementada permitió integrar los componentes físicos de adquisición de datos con herramientas destinadas a su procesamiento, transmisión y visualización. El sistema estuvo conformado por un Arduino Uno, un módulo ESP32 y sensores DS18B20, pH con rango de 0 a 14 y LGDZ V1.1, destinados al monitoreo de temperatura, pH y turbidez del agua, respectivamente.

La programación y configuración del sistema se realizó mediante Arduino IDE 2.3.4, mientras que el módulo ESP32 permitió la transmisión de los datos hacia la plataforma ThingSpeak. Esta integración permitió disponer de los registros de las variables monitoreadas y facilitó su seguimiento durante el funcionamiento de las unidades de cultivo.

De manera complementaria, las variables registradas mediante el prototipo fueron medidas utilizando métodos convencionales. Estas mediciones se realizaron con el propósito de contrastar los datos obtenidos mediante los sensores y comprobar la correspondencia de las lecturas durante los ensayos. El procedimiento permitió verificar el funcionamiento de la adquisición y registro de datos del prototipo sin realizar un análisis estadístico de validación.

El oxígeno disuelto no fue registrado mediante la arquitectura IoT, sino que fue determinado mediante mediciones manuales. Estos registros fueron incorporados al seguimiento de las condiciones de calidad del agua para complementar

la información obtenida mediante los sensores.

Comportamiento de las variables de calidad del agua

Los resultados del monitoreo evidenciaron un comportamiento relativamente estable de las variables de calidad del agua durante los dos ensayos. En el primer ensayo se obtuvo un pH promedio de $7,2 \pm 0,3$, mientras que en el segundo ensayo se registró un valor de $7,4 \pm 0,2$. La diferencia entre ambos valores fue reducida, lo que evidencia una estabilidad del pH durante el funcionamiento del sistema.

La temperatura presentó valores promedio de $27,1 \pm 0,8$ °C en el primer ensayo y $27,5 \pm 0,6$ °C en el segundo. Los registros muestran una variación reducida entre ambos ensayos y permiten evidenciar condiciones térmicas relativamente estables durante el periodo de evaluación.

En cuanto al oxígeno disuelto, las mediciones manuales registraron valores promedio de $5,8 \pm 0,5$ mg/L en el primer ensayo y $6,1 \pm 0,4$ mg/L en el segundo. El incremento observado entre ambos ensayos

estuvo acompañado por el funcionamiento del sistema de aireación implementado, compuesto por un blower y sistemas de oxigenación independientes para las unidades de cultivo. Estos valores evidencian que el sistema de aireación permitió mantener una disponibilidad adecuada de oxígeno durante el desarrollo de los ensayos.

Por otra parte, la turbidez presentó valores promedio de $18,3 \pm 2,1$ NTU en el primer ensayo y $16,7 \pm 1,8$ NTU en el segundo, observándose una reducción en el segundo periodo. Esta disminución representa una diferencia de aproximadamente 8,7 % respecto al primer ensayo y puede estar relacionada con las condiciones de operación y manejo del sistema, incluyendo los recambios parciales de agua.

En conjunto, los resultados muestran que la infraestructura hidráulica y el sistema de aireación implementados permitieron mantener condiciones relativamente estables durante los dos ensayos. A su vez, la arquitectura IoT facilitó el registro y seguimiento de temperatura, pH y turbidez, mientras que las mediciones convencionales permitieron contrastar las lecturas

obtenidas mediante los sensores. La integración de ambos componentes permitió disponer de una infraestructura funcional para el cultivo y de una herramienta tecnológica orientada al monitoreo de las condiciones del agua.

4. Conclusiones

La implementación de la infraestructura permitió establecer un sistema de cultivo acuícola multitrófico conformado por cuatro unidades de cultivo tipo IBC, una red hidráulica de PVC, sistemas de regulación y distribución del flujo, bombeo y aireación, logrando integrar los diferentes componentes necesarios para el funcionamiento del sistema. La configuración modular de la infraestructura permitió organizar las unidades de cultivo y facilitar las actividades de manejo y mantenimiento.

La infraestructura hidráulica y el sistema de aireación implementados permitieron mantener la circulación y oxigenación del agua durante los ensayos. Los valores registrados de temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez presentaron un comportamiento relativamente

estable entre los dos ensayos, lo que evidencia condiciones adecuadas de funcionamiento de las unidades de cultivo y el aporte de los sistemas de bombeo y aireación implementados.

La integración de la arquitectura IoT, conformada por Arduino Uno, ESP32 y sensores para el monitoreo de temperatura, pH y turbidez, permitió incorporar el seguimiento tecnológico de las condiciones del agua a la infraestructura acuícola. La utilización de ThingSpeak facilitó la transmisión, almacenamiento y visualización de los datos, mientras que las mediciones realizadas mediante métodos convencionales permitieron contrastar las lecturas obtenidas por los sensores y comprobar el funcionamiento del sistema de adquisición de datos.

En conjunto, la infraestructura hidráulica, el sistema de aireación y la arquitectura IoT fueron implementados de manera integrada, conformando un sistema funcional para el cultivo acuícola multitrófico y el seguimiento de las condiciones de calidad del agua. La configuración modular de los componentes constituye una alternativa adaptable a espacios de superficie limitada y puede favorecer

el desarrollo de sistemas acuícolas en diferentes entornos, incluyendo aquellos con restricciones de espacio.

Bibliografía

- Canela, E. (22 de Septiembre de 2022). Haladjian Industrial Solutions. Obtenido de https://www.haladjian-industrial.es/que-es-un-contenedor-ibc-y-para-que-sirve#Ventajas_de_los_contenedores_IBC
- Cardozo Ramirez, C. V. (2024). Monitoreo de la Calidad del Agua en Criaderos de Tilapias Mediante Tecnologías Lpwan y VPS. *Ciencia Latina*, 8(2), 5609-5629. doi: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10975
- Cevallos, J., Valle, C., Posligua, R., & Vera, M. (2023). El Internet de las Cosas (IoT) en la acuaponía: estándar, hardware y software. *Polo del Conocimiento*, 8(12), 166-182.
- FAO. (2022). La acuicultura y las pesquerías basadas en el cultivo. <https://www.fao.org/4/y5751s/y5751s08.htm>
- Flores Mollo, S., & Aracena Pizarro, D. (2018). Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para

- la crianza de camarones. Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 26, 55-64. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052018000500055>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s. f.). Prevención y tratamiento de enfermedades de los peces [Capítulo 15]. https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s15.htm
- Luna-Imbacuán, Mónica Alexandra, Campos-Bermúdez, Francisco, & Medina-Gutiérrez, Obeimar. (2016). Evaluación de las aguas residuales del lavado de estanques multipropósito con cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 17(2), 191-202. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062016000200004&lng=en&tlng=es.
- Madariaga, A. (20 de 09 de 2022). Domotización de un puesto de trabajo usando el microcontrolador ESP32. <https://riunet.upv.es/handle/10251/187621>
- Naspirán Jojoa, D. C., Fajardo Rosero, A. G., Ueno Fukura, M., & Collazos Lasso, L. F. (2022). Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA). Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, 69(1), 75-97. doi: <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101539>
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. (2017). Manual de buenas prácticas acuícolas. <https://www.oirsa.org/contenido/biblioteca/Manual%20Buenas%20Pr%C3%A1cticas%20Acu%C3%ADcolas%20-%20OIRSA%20.pdf>
- Quiñones, M., Pachar, H., Martínez, J., Quiñones, L., & Torres, R. (2020). Desarrollo y evaluación de un gateway móvil IoT para redes 4G LTE. Enfoque UTE, 16-26. doi: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v11n4.634>
- Sugiharto, F., & Kaburuan, E. (2023). Architecture design of IoT-based system using ISO/IEC 30141:2018 for indoor agriculture. ICIC Express Letters Volume 17, Number 4, 397–408. doi:10.24507/icicel.17.04.397
- Universo de la Salud Animal. (2022, 3 de marzo). Guía para limpiar eficazmente un estanque acuícola. <https://www.universodelasaludanimal.com/acuicultura/limpieza-estanques-peces/>