DESIGN AND SIMULATION OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR TEMPERATURE AND FLOW RATE MONITORING IN RAINBOW TROUT FARMING, HUALGAYOC, 2026

Flores Nilson[2]; Estudiante Ing. Industrial2; Gutierrez-Bacon Ruth Eslid[3]; Estudiante Ing. Industrial3; Terrones-Hernandez Jhon Anthony[4]; Estudiante Ing. Industrial4
Universidad Privada del Norte, Perú, N00312230@upn.pe, N00325562@upn.pe, N00292872@upn.pe

Abstract*— Rainbow trout farming requires continuous monitoring of water quality to ensure optimal production conditions; however, manual monitoring of temperature and water flow limits the timely detection of critical variations. The main objective of this research was to design and simulate an automated system based on the Internet of Things (IoT) for real-time monitoring of these variables in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) farming. The methodology consisted of applied research with a quantitative approach based on the diagnosis, design, and simulation of the system. The specific objectives were to diagnose the existing monitoring system, design a prototype using DS18B20 and YF-S201 sensors integrated with an Arduino Uno and an ESP32, employing IoT through the MQTT protocol to transmit real-time data, and evaluate its performance using the Wokwi platform. The results showed temperatures ranging from 12.8 °C to 18.6 °C and flow rates between 5.8 and 8.5 L/min, with most values falling within the reference range for rainbow trout (Oncorhynchus mykiss), although a maximum temperature of 18.6 °C was recorded. The simulation demonstrated that the system provides real-time information, improves the detection of critical variations, and supports decision-making. It is concluded that the proposed prototype is technically feasible and provides a basis for its implementation under real operating conditions.

***Keywords*— aquaculture, automation, monitoring, temperature, flow rate.**

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL MONITOREO DE TEMPERATURA Y CAUDAL EN LA TRUCHICULTURA, HUALGAYOC 2026

Chilon-Flores Nilson[2]; Estudiante Ing. Industrial2; Gutierrez-Bacon Ruth Eslid[3]; Estudiante Ing. Industrial3; Terrones-Hernandez Jhon Anthony[4]; Estudiante Ing. Industrial4
Universidad Privada del Norte, Perú, N00312230@upn.pe, N00325562@upn.pe, N00292872@upn.pe

Resumen

La truchicultura requiere un monitoreo continuo de la calidad del agua para garantizar condiciones óptimas de producción; sin embargo, el control manual de la temperatura y el caudal limita la detección oportuna de variaciones críticas. El objetivo general de esta investigación fue diseñar y simular un sistema automatizado basado en Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo en tiempo real de estas variables en el cultivo de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss). La metodología correspondió a una investigación aplicada con enfoque cuantitativo basada en el diagnóstico, diseño y simulación del sistema. Los objetivos específicos consistieron en diagnosticar el sistema de monitoreo existente, diseñar un prototipo con sensores DS18B20 y YF-S201 integrados a un Arduino Uno y un ESP32, empleando IoT mediante el protocolo MQTT para transmitir datos en tiempo real, y evaluar su funcionamiento en Wokwi. Los resultados mostraron temperaturas entre 12.8 °C y 18.6 °C y caudales entre 5.8 y 8.5 L/min, ubicándose mayoritariamente dentro del rango de referencia para la trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss), con un valor máximo de 18.6 °C. La simulación evidenció que el sistema proporciona información en tiempo real, mejora la detección de variaciones críticas y fortalece la toma de decisiones. Se concluye que el prototipo es técnicamente viable y constituye una base para su implementación en condiciones reales.

Palabras clave- acuicultura, automatización, monitoreo, temperatura, caudal.

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura se ha consolidado como una de las actividades productivas de mayor crecimiento a nivel mundial, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria y al suministro de proteínas de alto valor nutricional [1]. Sin embargo, este crecimiento ha generado nuevos desafíos relacionados con el control de las condiciones ambientales, especialmente la calidad del agua, considerada uno de los factores más críticos para garantizar el adecuado desarrollo y supervivencia de las especies acuáticas.

Investigaciones han demostrado que variables como la temperatura del agua y el caudal influyen directamente en el metabolismo, el crecimiento y el comportamiento fisiológico de los peces [2]. En el cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) el mantenimiento de una temperatura adecuada (10–18 °C) y de condiciones de caudal de agua es esencial para garantizar su desarrollo y supervivencia [3]. Las desviaciones de estos rangos óptimos pueden provocar estrés, enfermedades y mortalidad, afectando negativamente la productividad del sistema.

En los últimos años, la incorporación de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) ha permitido el desarrollo de soluciones accesibles de monitoreo en tiempo real para variables críticas en la acuicultura. Plataformas de bajo costo como Arduino, integradas con sensores de temperatura y caudal, así como conectividad IoT mediante protocolo MQTT y módulos ESP32, representan alternativas viables para mejorar el control de las condiciones del agua y reducir la dependencia de métodos manuales [4].

En el Perú, la truchicultura constituye una actividad económica importante en diversas zonas altoandinas, generando empleo y desarrollo local en dichas comunidades [5]. El mantenimiento de condiciones óptimas de temperatura y calidad del agua es, asimismo, un factor determinante para el desarrollo y la supervivencia de la trucha arcoíris en sistemas de cultivo [6]. Sin embargo, en muchas unidades productivas —incluyendo la de Pingullo Bajo, provincia de Hualgayoc, Cajamarca— el monitoreo de temperatura y caudal se realiza de manera manual, sin registros continuos ni mecanismos de alerta temprana, lo que limita la capacidad de respuesta oportuna ante variaciones críticas del sistema.

En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿El diseño y la simulación de un sistema automatizado basado en Internet de las Cosas (IoT) contribuyen al monitoreo en tiempo real de la temperatura y el caudal en el cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Hualgayoc, 2026?

Se plantea como hipótesis que el diseño y la simulación de un sistema automatizado basado en Internet de las Cosas (IoT) contribuyen al monitoreo en tiempo real de la temperatura y el caudal, permitiendo una detección de variaciones críticas y facilitando la toma de decisiones en el cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Hualgayoc, 2026.

En este contexto, la presente investigación propone el diseño y la simulación de un sistema automatizado basado en IoT para el monitoreo de temperatura y caudal en el cultivo de trucha,

utilizando Wokwi como entorno de simulación. El objetivo general es diseñar y simular un sistema automatizado capaz de brindar información en tiempo real para mejorar el control operativo y la toma de decisiones. Los objetivos específicos son: (i) diagnosticar las condiciones actuales del sistema de cultivo; (ii) diseñar un prototipo basado en sensores con Arduino y conectividad IoT; y (iii) evaluar mediante simulación el desempeño del sistema en el monitoreo continuo de temperatura y caudal.

II. METODOLOGÍA

A. Ubicación del Estudio

El estudio se desarrolló en Pingullo Bajo, provincia de Hualgayoc, Cajamarca, Perú, a aproximadamente 3,106 m s.n.m. La unidad de producción acuícola cuenta con siete estanques abastecidos con agua de río natural, con una población estimada de 10,000 truchas.

B. Tipo y Enfoque

La investigación corresponde a un estudio aplicado de enfoque cuantitativo, orientado al diseño y simulación de un sistema automatizado para el monitoreo de variables críticas en el cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) del cultivo. El estudio comprende el diagnóstico del sistema actual, el diseño del prototipo y la simulación del comportamiento de la temperatura y el caudal.

C. Unidad de Análisis y Datos de Simulación

Al tratarse de una investigación aplicada de nivel tecnológico basada en el modelado circuital y la validación en la plataforma Wokwi, la unidad de análisis corresponde a los registros continuos de las variables físicas del agua. La muestra quedó constituida por una sesión de monitoreo continuo de 10 horas, en la cual se programaron variaciones térmicas (12.8 °C a 18.6 °C) y fluctuaciones de caudal (5.8 a 8.5 L/min) definidas para representar escenarios de variación de las condiciones de los estanques de Pingullo Bajo, con el fin de evaluar la estabilidad algorítmica del lazo de control.

D. Variables de Estudio

TABLA I

VARIABLES DE ESTUDIO

Tipo de Variable	Variable	Indicador
Independiente	Sistema automatizado basado en IoT	Sistema automatizado / funcionamiento del sistema
Dependiente	Temperatura del agua	Temperatura (°C)
Dependiente	Caudal del agua	Caudal (L/min)
Dependiente	Estado del actuador (Bomba de Oxigenación)	Activado / Desactivado (On/Off)

E. Descripción del Sistema

El sistema automatizado propuesto integra un Arduino Uno y un módulo ESP32 para el monitoreo y la transmisión de datos mediante Internet de las Cosas (IoT). El sensor DS18B20 mide la temperatura del agua y el sensor YF-S201 registra el caudal. La información se visualiza en una pantalla LCD y se transmite mediante el protocolo MQTT hacia una plataforma de monitoreo remoto. Cuando la temperatura supera el umbral establecido, el sistema activa automáticamente una bomba de oxigenación para contribuir a mantener condiciones adecuadas del agua. Además, un LED azul indica el funcionamiento de la bomba, un LED verde señala el estado normal del sistema, un LED rojo advierte una condición de temperatura elevada y un buzzer emite una alarma sonora para alertar al operador.

TABLA II

PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA

Componente	Función
Arduino Uno	Procesamiento y control del sistema.
Sensor DS18B20	Medición de la temperatura del agua.
Sensor YF-S201	Medición del caudal del agua.
Módulo ESP32	Conectividad IoT mediante Wi-Fi/MQTT.
Pantalla LCD	Visualización local de los datos.
Bomba de oxige-nación	Oxigena el agua cuando aumenta la temperatura.
LED verde	Indica funcionamiento normal.
LED rojo	Indica temperatura elevada.
LED azul	Indica el funcionamiento de la bomba.
Buzzer	Alarma sonora ante condiciones críti-cas.
Plataforma Wokwi	Simulación del sistema.

F. Plataforma de Simulación: Wokwi

La simulación del sistema se desarrolló en Wokwi (https://wokwi.com), una plataforma de simulación electrónica en línea que permite representar circuitos con Arduino, ESP32, sensores DS18B20 y YF-S201, entre otros componentes. Wokwi permite la ejecución en tiempo real del código de Arduino y la observación de los valores de los sensores mediante la plataforma, facilitando la validación funcional del prototipo antes de su implementación física.

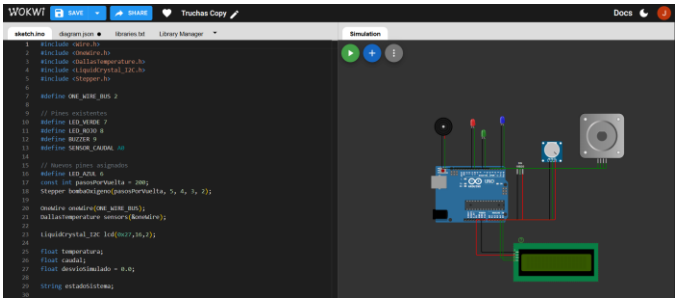


Fig. 1. Entorno de simulación del sistema en Wokwi.

G. Esquema del circuito

El circuito del sistema fue diseñado en la plataforma Wokwi, integrando un Arduino Uno, el sensor de temperatura DS18B20, el sensor de caudal YF-S201, una pantalla LCD, una bomba de oxigenación, indicadores LED y un buzzer. La interconexión de estos componentes permitió simular el

monitoreo de las variables y la activación automática de los dispositivos de alerta y control ante condiciones de temperatura elevada.

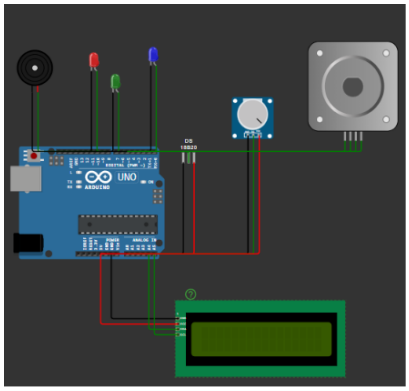


Fig. 2. Esquema del prototipo propuesto.

H. Programación del Sistema

La programación del sistema se realizó directamente en la plataforma Wokwi mediante lenguaje C/C++. El código desarrollado permite la lectura y el procesamiento de los datos de temperatura y caudal, la visualización de la información en la pantalla LCD y el control automático de la bomba de oxigenación, los indicadores LED y el buzzer. Asimismo, se implementó la comunicación MQTT para la transmisión de datos hacia la plataforma IoT.



```
// Pines existentes
#define LED_VERDE 7
#define LED_ROJO 8
#define BUZZER 9
#define SENSOR_CAUDAL A0

// Nuevos pines asignados
#define LED_AZUL 6
const int pasosPorVuelta = 200;
Stepper bombaOxigeno(pasosPorVuelta, 5, 4, 3, 2);

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

float temperatura;
float caudal;
float desvioSimulado = 0.0;

String estadoSistema;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();

  lcd.init();
  lcd.backlight();

  pinMode(LED_VERDE, OUTPUT);
  pinMode(LED_ROJO, OUTPUT);
  pinMode(BUZZER, OUTPUT);
  pinMode(LED_AZUL, OUTPUT);
```

Fig. 3. Fragmento del código implementado

I. Procedimiento de Simulación

El procedimiento se desarrolló en cinco etapas: (1) diseño del esquema del circuito en Wokwi con los sensores DS18B20 y YF-S201, la pantalla LCD, la bomba de oxigenación, los indicadores LED y el buzzer conectados al Arduino Uno y al módulo ESP32; (2) programación para la lectura, procesamiento y visualización de los datos de temperatura y caudal, así como el control automático de la bomba de oxigenación y las alarmas; (3) configuración de la comunicación MQTT para la transmisión de datos a una plataforma IoT remota; (4) ejecución de la simulación y registro de las variables monitoreadas durante el funcionamiento del sistema; y (5) análisis del comportamiento de las variables y de la respuesta del sistema automatizado ante condiciones de temperatura y caudal.

J. Análisis estadístico

Los datos obtenidos durante la simulación fueron organizados y procesados mediante Microsoft Excel. Para el análisis de las variables temperatura (°C) y caudal (L/min) se empleó estadística descriptiva, calculándose medidas como el promedio, el valor mínimo, el valor máximo y la desviación estándar. Los resultados fueron representados mediante tablas y gráficos para facilitar la interpretación del comportamiento del sistema automatizado y comparar las mediciones obtenidas con los rangos recomendados para el cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). La hipótesis de investigación se contrastó de manera descriptiva, comparando los resultados obtenidos en la simulación con los objetivos planteados y evaluando si el sistema automatizado permitió el monitoreo en tiempo real de la temperatura y el caudal, así como la detección de variaciones críticas y el apoyo en la toma de decisiones.

III. RESULTADOS

A. Diagnóstico del Sistema Actual

El diagnóstico realizado en la unidad acuícola de Pingullo Bajo reveló que el monitoreo de las condiciones del agua se realiza de manera manual, sin supervisión continua. La ausencia de registros sistemáticos dificulta la detección oportuna de variaciones en la temperatura y el caudal, incrementando el riesgo de pérdidas por condiciones adversas no detectadas. Los principales hallazgos se presentan en la Tabla III.

TABLA III

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE MONITOREO ACTUAL

Variable Evaluada	Situación Identificada
Monitoreo de temperatura	Manual, sin registro continuo
Monitoreo de caudal	Manual, sin registro continuo
Registro de datos	No disponible
Sistema de alertas	No disponible
Control en tiempo real	No disponible
Oxigenacion	No disponible
Toma de decisiones	Reactiva, sin datos en tiempo real

B. Diseño del Prototipo Propuesto

El prototipo integra los sensores DS18B20 y YF-S201 con un microcontrolador Arduino Uno para la adquisición y el procesamiento de datos, y un módulo ESP32 para la conectividad IoT mediante MQTT. La arquitectura del prototipo se organiza en tres niveles funcionales: (1) adquisición, donde los sensores capturan los datos de temperatura y caudal; (2) procesamiento, a cargo del Arduino Uno; y (3) visualización y transmisión, mediante el monitor serial y la capa IoT (ESP32/MQTT).



Fig. 4. Representación conceptual del prototipo de monitoreo IoT propuesto para su futura implementación física.

La Figura 4 presenta una representación conceptual del ensamblaje físico del sistema, desarrollada como referencia para una futura implementación. Esta representación no corresponde a un prototipo físico construido ni validado experimentalmente, sino a una propuesta de diseño para la etapa posterior de implementación en condiciones reales.

C. Resultados de la Simulación en Wokwi

C.1) Simulación de la Temperatura del Agua

La simulación de monitoreo de temperatura en Wokwi evaluó el comportamiento del sistema frente a variaciones térmicas representativas. Los resultados mostraron un incremento progresivo durante las horas centrales del día, alcanzando un máximo de 18.6 °C a las 16:00 h, con una disminución posterior (Tabla IV). La mayoría de los valores registrados se ubicaron dentro del rango de 10–18 °C reportado para *O. mykiss* [3], aunque a las 16:00 h se alcanzó un valor de 18.6 °C, ligeramente superior al límite superior de referencia. La Fig. 5 muestra el comportamiento simulado de la temperatura.

TABLA IV

LECTURAS SIMULADAS DE TEMPERATURA DEL AGUA

Hora	Temperatura (°C)
08:00	12.8
10:00	14.2
12:00	15.9
14:00	17.8
16:00	18.6
18:00	16.4

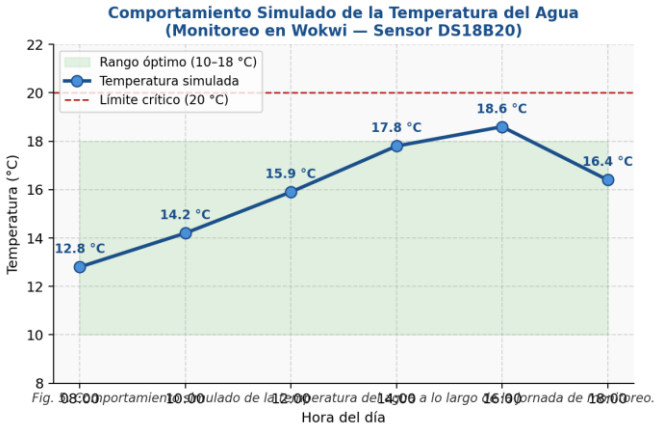


Fig. 5. Comportamiento simulado de la temperatura del agua durante la sesión de monitoreo.

C.2) Simulación del Caudal del Agua

La simulación de monitoreo de caudal reveló una disminución progresiva durante las horas de mayor demanda de agua, alcanzando un mínimo de 5.8 L/min a las 16:00 h, con una recuperación parcial posterior (Tabla V). El sistema detectó estos cambios de manera continua, demostrando su capacidad para identificar variaciones que podrían afectar la renovación del agua en los estanques de cultivo. La Fig. 6 presenta el comportamiento simulado del caudal.

TABLA V

LECTURAS SIMULADAS DE CAUDAL DEL AGUA

Hora	Caudal (L/min)
08:00	8.5
10:00	8.1
12:00	7.4
14:00	6.6
16:00	5.8
18:00	6.9

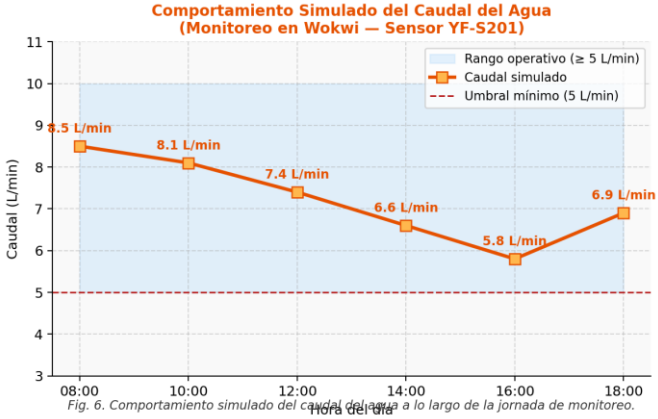


Fig. 6. Comportamiento simulado del caudal de agua durante la sesión de monitoreo.

C.3) Análisis estadístico de las variables simuladas

Con el propósito de describir el comportamiento de las variables monitoreadas durante la simulación, se realizó un análisis estadístico descriptivo de la temperatura y el caudal registrados en la plataforma Wokwi. Se calcularon medidas de tendencia central y dispersión, como el promedio, el valor mínimo, el valor máximo y la desviación estándar, permitiendo resumir el comportamiento de las variables y comparar los valores obtenidos con los rangos de referencia establecidos para el cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Los resultados se presentan en la Tabla VI.

TABLA VI

ESTADISTICOS DESCRIPCTIVOS DE LAS VARIABLES SIMULADAS

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
Temperatura (°c)	15.95	12.80	18.60	2.18
Caudal (L/min)	7.22	5.80	8.50	1.03

La temperatura presentó un promedio de 15.95 °C con una desviación estándar de 2.18 °C, mientras que el caudal alcanzó un promedio de 7.22 L/min con una desviación estándar de 1.03 L/min, describiendo la variabilidad observada durante la simulación.

D. Comparación: Sistema Tradicional vs. Sistema Automatizado Propuesto

La Tabla VII presenta una comparación entre las condiciones actuales de monitoreo manual y el sistema automatizado basado en IoT diseñado. El sistema propuesto incorpora funciones de monitoreo continuo, registro de datos, visualización en tiempo real y conectividad remota, que no están disponibles en el método tradicional.

TABLA VII

MONITOREO TRADICIONAL VS. SISTEMA AUTOMATIZADO

Aspecto Evaluado	**Tradicional**	**Automatizado (IoT)**
Monitoreo de temperatura	Manual	Automático (DS18B20)
Monitoreo de caudal	Manual	Automático (YF-S201)
Registro de datos	No disponible	Tiempo real
Sistema de alertas	No disponible	MQTT/ESP32
Monitoreo remoto	No disponible	Disponible (IoT)
Detección de variaciones	Retardada	Inmediata
Soporte a la decisión	Limitado	Disponible

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos durante la simulación evidenciaron que el sistema automatizado mantuvo la temperatura del agua entre 12.8 °C y 18.6 °C, con un promedio de 15.95 °C. La mayoría de los valores se ubicaron dentro del rango de referencia de 10–18 °C para el cultivo de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), aunque se registró un máximo de 18.6 °C, ligeramente superior al límite establecido. Este comportamiento permitió verificar que el prototipo fue capaz de monitorear continuamente las variaciones térmicas y generar alertas preventivas ante el acercamiento al umbral crítico establecido, favoreciendo un control oportuno de las condiciones del cultivo. Estos resultados son consistentes con estudios que indican que temperaturas comprendidas entre 10 °C y 18 °C favorecen el crecimiento, el metabolismo y la supervivencia de la especie, mientras que valores superiores incrementan el estrés fisiológico y el riesgo de mortalidad [9]. Asimismo, la respuesta automática del sistema mediante la activación de la bomba de oxigenación y las alertas visuales y sonoras permitió simular una intervención inmediata frente a incrementos de temperatura, reduciendo el tiempo de respuesta en comparación con los métodos de monitoreo manual, aspecto que también ha sido reportado en investigaciones sobre sistemas automatizados aplicados a la acuicultura [17]. La ligera aproximación al límite superior registrada durante la simulación, con un valor máximo de 18.6 °C, permitió verificar el funcionamiento del algoritmo de control y la respuesta del sistema ante escenarios de riesgo.

Los resultados obtenidos durante la simulación mostraron que el caudal del agua osciló entre 5.8 y 8.5 L/min, con un promedio de 7.22 L/min, permitiendo identificar oportunamente disminuciones que podrían comprometer la renovación del agua y, en consecuencia, las condiciones de cultivo de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). El comportamiento registrado evidencia que el sensor YF-S201 proporcionó un monitoreo continuo del flujo de agua, facilitando la detección temprana de variaciones que podrían afectar el funcionamiento del sistema. Estos resultados coinciden con investigaciones que destacan la importancia del monitoreo permanente del caudal para prevenir eventos asociados a una reducción del suministro de agua y mejorar la eficiencia en la gestión de los sistemas acuícolas [19]. Asimismo, la integración del sensor de caudal con el sistema de control automatizado permitió generar alertas y activar la bomba de oxigenación de forma inmediata ante condiciones críticas, reduciendo la dependencia de la supervisión manual y favoreciendo una respuesta más rápida frente a posibles fallas operativas, comportamiento que también ha sido reportado en sistemas de monitoreo inteligente aplicados a la acuicultura [10].

En conjunto, los resultados evidenciaron que la integración de tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT) permitió desarrollar un sistema automatizado capaz de monitorear en tiempo real la temperatura y el caudal del agua, así como generar alertas y activar la bomba de oxigenación cuando las variables superaron los umbrales establecidos. Estas características

permiten considerar al prototipo como una alternativa tecnológica de bajo costo para optimizar el monitoreo de las condiciones de cultivo y apoyar la toma de decisiones en unidades acuícolas con recursos limitados. Este comportamiento es consistente con investigaciones que destacan que la incorporación de plataformas IoT mejora la eficiencia del monitoreo y facilita la automatización de los procesos de producción acuícola [11]. Asimismo, futuras investigaciones deberán validar el prototipo en condiciones reales e incorporar sensores para el monitoreo de pH y oxígeno disuelto, debido a que estas variables influyen directamente en la calidad del agua y en la supervivencia de la trucha arcoíris. Diversos estudios indican que un pH entre 6.5 y 8.5 y concentraciones de oxígeno disuelto superiores a 6 mg/L favorecen el crecimiento, reducen el estrés fisiológico y mejoran las condiciones de producción de la especie [12].

No obstante, la principal limitación de este estudio corresponde a su carácter virtual de lazo cerrado lógico. La simulación en Wokwi permitió evaluar la consistencia del código C++ y el disparo de las alarmas MQTT, pero no reproduce fenómenos físicos propios del entorno acuícola real de Hualgayoc. Entre estos factores no modelados se encuentran la atenuación de la señal Wi-Fi por condiciones atmosféricas altoandinas, la acumulación de sedimentos fluviales que pueden obstruir la turbina del sensor YF-S201, los procesos de bioincrustación (biofouling) que pueden alterar la transferencia térmica en la cápsula de acero inoxidable del sensor DS18B20, así como las variaciones ambientales y estacionales que podrían afectar el comportamiento de las variables monitoreadas. Por ello, los resultados obtenidos deben interpretarse como una validación funcional en un entorno virtual controlado y no como una validación experimental en condiciones reales.

A diferencia de los monitores comerciales de mayor costo o de sistemas industriales basados en PLC, la propuesta plantea una arquitectura distribuida de bajo costo que independiza las tareas de procesamiento y comunicación. En esta arquitectura, el Arduino Uno se encarga del procesamiento local de las interrupciones generadas por el caudalímetro, mientras que el ESP32 gestiona la conectividad de red y el protocolo MQTT de manera asíncrona. Esta distribución permite separar las funciones de adquisición y comunicación, reduciendo la carga de procesamiento sobre el microcontrolador encargado de las lecturas de flujo y contribuyendo a mantener la continuidad de los registros críticos de caudal.

V. CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado en la unidad acuícola de Pingullo Bajo evidenció que el monitoreo de la temperatura y el caudal del agua se desarrolla de forma manual, sin registros continuos ni mecanismos de alerta temprana. Estas condiciones limitan la identificación oportuna de variaciones en las variables monitoreadas y generan una dependencia de la supervisión del operador. A partir de esta situación, se identificó la necesidad de diseñar una alternativa automatizada que permita disponer de información continua para apoyar el control operativo del cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

El sistema automatizado propuesto integró los sensores DS18B20 y YF-S201 con un Arduino Uno y un módulo ESP32, incorporando comunicación IoT mediante el protocolo MQTT. La arquitectura diseñada permitió simular la adquisición y el procesamiento de datos de temperatura y caudal, así como su visualización y la respuesta de los dispositivos de alerta y actuación programados. De esta manera, la integración de los componentes permitió validar funcionalmente la lógica de monitoreo planteada para el prototipo.

Durante la simulación en Wokwi, la temperatura presentó valores entre 12.8 °C y 18.6 °C, con un promedio de 15.95 °C y una desviación estándar de 2.18 °C. Por su parte, el caudal varió entre 5.8 y 8.5 L/min, alcanzando un promedio de 7.22 L/min. El sistema permitió registrar las variaciones de ambas variables durante el escenario simulado e identificar el incremento de la temperatura y la disminución del caudal, evidenciando la capacidad funcional del prototipo para realizar un monitoreo continuo de las condiciones programadas.

La simulación permitió comprobar el funcionamiento del sistema automatizado en un entorno virtual controlado, evidenciando su capacidad para integrar sensores, procesar las variables monitoreadas y ejecutar las respuestas definidas en la lógica de programación. En consecuencia, el prototipo constituye una base técnicamente viable para continuar con una etapa de implementación y validación experimental en condiciones reales de cultivo. Para futuras investigaciones, se recomienda evaluar el sistema durante periodos prolongados de operación e incorporar variables como pH y oxígeno disuelto, con el propósito de ampliar el monitoreo de la calidad del agua en la producción de trucha arcoíris.

REFERENCIAS

[1] Food and Agriculture Organization (FAO), The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Rome, Italy: FAO, 2022.

[2] F. Akhter, M. H. Siddiquei, M. A. Alahi, and S. Mukhopadhyay, "Recent advancement of sensors for monitoring water quality parameters in smart fisheries farming," Computers, vol. 10, no. 3, p. 26, 2021.

[3] S. Kumar, R. Gupta, and A. Sharma, "Monitoring water quality metrics using IoT sensors: A smart aquaculture approach," Microprocessors and Microsystems, vol. 98, Art. 104930, 2023.

[4] J. García, D. Rodríguez, and L. Martínez, "Sistema IoT para monitoreo de variables en acuicultura," Rev. Fac. Ciencias Básicas, vol. 18, no. 2, pp. 45–56, 2022.

[5] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), Producción acuícola y cultivo de trucha en el Perú. Lima, Perú, 2023.

[6] Food and Agriculture Organization (FAO), Rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) aquaculture and water quality management. Rome, Italy, 2021.

[7] A. Kumar and P. Kumar, "Arduino based automated monitoring system for water quality management," Int. J. Engineering Research and Technology, vol. 9, no. 5, pp. 102–106, 2020.

[8] M. O. Olatinwo and T. Joubert, "Water quality monitoring systems using IoT in aquaculture: A review," Sensors, vol. 22, no. 12, p. 4479, 2022.

[9] A. K. Saha, M. Rahman, and S. Hossain, "Internet of Things for smart aquaculture monitoring and management: A review," Aquacultural Engineering, vol. 99, 2023.

[10] T.-M. Piamba-Mamian, L. E. Zambrano, L. A. Montaño-Rúales, and F. A. Rojas-Gonzales, "Implementación de un sistema de monitoreo IoT aplicado a una piscicultura de trucha," Informador Técnico, vol. 85, no. 1, pp. 3–19, 2020.

[11] C. A. Vera Romero and R. Serrano, "Sistema de monitoreo de bajo costo para la optimización de la acuicultura de trucha," Documentos de Trabajo ECBTI, vol. 5, no. 1, 2025.

[12] G. J. Cárdenas Chambilla, V. A. J. Alarcón Quispe, and H. J. Rivera Herrera, "Sistema de monitoreo remoto y control automatizado del sistema acuapónico," Ingeniería Investiga, vol. 7, art. e1164, 2025.

[13] R. P. Shete, A. M. Bongale, and D. Dharrao, "IoT-enabled effective real-time water quality monitoring method for aquaculture," MethodsX, vol. 13, art. 102906, 2024.

[14] R. Silva-Abanto et al., "Diseño y evaluación de un contenedor de basura automatizado para gestión de residuos hospitalarios," in 23rd LACCEI Int. Multi-Conf., 2025. https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1227

[15] L. Petkovski, B. Corizzo, and G. Pavlovski, "IoT Sensors for Water Quality Monitoring in Aquaculture: A Systematic Review and Bibliometric Analysis," Smart Agricultural Technology, vol. 7, no. 3, art. 78, 2025.

[16] R. Carmona-Torres, A. Silva-Abanto, and C. Delgado-Zegarra, "Recirculating Aquaculture Systems for Cultivating Oncorhynchus mykiss and IoT Integration: A Systematic Review," Sustainability, vol. 17, no. 15, art. 6729, 2025.

[17] J. E. Alva Saccatoma y J. E. Ramos Ruiz, "Diseño de un sistema de monitoreo en tiempo real de la calidad del agua utilizando internet de las cosas (IoT) para mejorar la producción en la piscigranja de truchas de la empresa 'Acuicultura del Sur S.A.C.'", Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Humanidades, Lima, Perú, 2022.

[18] C. Álvarez-Gómez y F. Martínez-Cordero, "Modelado del estrés térmico y flujo hidráulico en el cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en zonas altoandinas", *Revista Iberoamericana de Acuicultura*, vol. 14, no. 2, pp. 88–97, 2023.

[19] R. D. Cueva Villavicencio, "Sistema automatizado de control de caudal y temperatura para optimizar la crianza de trucha arcoíris utilizando sensores industriales y lógicos difusos", Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú, 2021.

[20] M. Estévez y I. Valdebenito, "Efectos del monitoreo automatizado de la temperatura ambiental y del agua sobre los índices de supervivencia en estadios tempranos de salmónidos", *Archivos de Medicina Veterinaria*, vol. 48, no. 1, pp. 115–122, 2016.