

Sistema de monitoreo de bajo costo para la optimización de la acuicultura de trucha en la vereda Chichira, Pamplona (Norte de Santander)

Low-cost monitoring system for optimizing trout aquaculture in the village of Chichira, Pamplona (Northern Santander)

Robinson Serrano Serrano¹

Carlos Alberto Vera Romero²

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia

Resumen

La acuicultura de trucha en Colombia se presenta como un sector de notable crecimiento y potencial productivo, sustentado por datos de la Federación Colombiana de Acuicultores (2023), que indican una producción de casi 200.000 toneladas de peces, de las cuales el 16 % corresponde a trucha. Sin embargo, los pequeños productores enfrentan desafíos críticos, principalmente relacionados con la calidad del agua en sus estanques, lo que afecta directamente el crecimiento y la supervivencia de los peces. Para mitigar esta problemática, se desarrolló un sistema de monitoreo de bajo costo basado en la Internet de las cosas (IoT). El proyecto, implementado en una finca truchera en la vereda Chichira de Pamplona, se enfocó en la medición en tiempo real de parámetros fundamentales como temperatura, pH y oxígeno disuelto, todos ellos cruciales para el bienestar de la trucha (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2014). La metodología aplicada incluyó una caracterización detallada de sensores de bajo costo, como el DS18B20 para temperatura, el SEN0161 para pH y el SEN0237-A para oxígeno disuelto. Se realizaron procesos de calibración rigurosos para asegurar la precisión y exactitud de las mediciones, logrando desviaciones estándar mínimas de 0.06 °C para la

¹ Tecnólogo en Ciencias Militares, ingeniero de telecomunicaciones, experto en gestión y soporte técnico de equipos especializados de comunicaciones en unidades militares. Egresado semillerista de Investigación Smart Project for Life (SIPROINT), Grupo de Investigación para el Desarrollo Tecnológico (GIDESTEC), UNAD. <https://orcid.org/0009-0004-4775-6136/> rserranose@unadvirtual.edu.co

² Ingeniero electrónico, filósofo, especialista en Pedagogía, especialista en Gestión de Proyectos Informáticos, magister en Controles Industriales, doctor en Educación, docente asociado, líder del semillero de investigación Smart Project for Life (SIPROINT), Grupo de Investigación para el Desarrollo Tecnológico (GIDESTEC) UNAD. <https://orcid.org/0000-0002-3315-858X/> carlos.vera@unad.edu.co

temperatura y un valor promedio de 3.99 para el pH. El sistema fue modelado utilizando un microcontrolador ESP32 y una fuente de alimentación de 5V y 2A, lo que demostró su viabilidad técnica y económica. Los datos recopilados se transmitieron a través de una red Wi-Fi y se visualizaron en una plataforma digital intuitiva desarrollada con Blynk IoT. Los resultados de campo confirmaron la eficacia del sistema, revelando patrones significativos en las variables monitoreadas. Se observó una correlación directa entre la alimentación de las truchas y la disminución del pH y el oxígeno disuelto, lo que valida la necesidad de un monitoreo constante para la toma de decisiones informadas. La alternativa realizada es accesible y competitiva frente a soluciones comerciales de mayor precio. Este sistema contribuye a la sostenibilidad económica y social de los productores rurales, así como posiciona a la acuicultura de trucha en la vanguardia de la agricultura de precisión y la transformación digital.

Palabras clave: acuicultura, agricultura de precisión, IoT, monitoreo de agua, sensores, trucha.

Abstract

Trout aquaculture in Colombia is a sector experiencing remarkable growth and productive potential, supported by data from the Colombian Federation of Aquaculturists (2023), which indicates a production of almost 200,000 tons of fish, of which 16 % corresponds to trout. However, small producers face critical challenges, mainly related to the quality of the water in their ponds, which directly affects the growth and survival of the fish. To mitigate this problem, a low-cost monitoring system based on the Internet of Things (IoT) was developed. The project, implemented on a trout farm in the village of Chichira de Pamplona, focused on real-time measurement of key parameters such as temperature, pH, and dissolved oxygen, all of which are crucial for the well-being of trout (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2014). The methodology applied included a detailed characterization of low-cost sensors, such as the DS18B20 for temperature, the SEN0161 for pH, and the SEN0237-A for dissolved oxygen. Rigorous calibration processes were performed to ensure the precision and accuracy of the measurements, achieving minimum standard deviations of 0.06 °C for temperature and an average value of 3.99 for pH. The system was modeled using an ESP32 microcontroller and a 5V, 2A power supply, demonstrating its technical and economic viability. The collected data was transmitted via a Wi-Fi network and displayed on

an intuitive digital platform developed with Blynk IoT. Field results confirmed the effectiveness of the system, revealing significant patterns in the monitored variables. A direct correlation was observed between trout feeding and decreases in pH and dissolved oxygen, validating the need for constant monitoring to make informed decisions. The alternative developed is accessible and competitive compared to higher-priced commercial solutions. This system contributes to the economic and social sustainability of rural producers, as well as positioning trout aquaculture at the forefront of precision agriculture and digital transformation.

Keywords: Aquaculture, precision agriculture, iot, water monitoring, sensors, trout.

1. Introducción

La acuicultura en Colombia experimenta un crecimiento constante y la producción de trucha, en particular, se ha consolidado como una fuente económica importante para diversas comunidades rurales. De acuerdo con la Federación Colombiana de Acuicultores (2023), la industria piscícola del país ha mostrado un crecimiento sostenido, con la trucha representando un porcentaje significativo de la producción total. Sin embargo, la optimización de los cultivos a menudo se ve limitada en los pequeños productores por la falta de herramientas de monitoreo adecuadas y accesibles para evaluar la calidad del agua. La temperatura, el pH y el oxígeno disuelto son parámetros vitales que impactan directamente en el crecimiento, la salud y la supervivencia de las truchas, las cuales carecen de la capacidad de termorregulación y demandan altos niveles de oxígeno para su desarrollo (FAO, 2014). La falta de control sobre estas variables puede resultar en pérdidas económicas considerables.

El presente documento aborda esta problemática mediante la implementación de un sistema de monitoreo de bajo costo para la supervisión en tiempo real de estas variables clave en estanques de trucha, ubicado en la vereda Chichira de la ciudad de Pamplona, Norte de Santander. El proyecto se estructuró en tres objetivos específicos: 1) caracterizar sensores de bajo costo para el monitoreo remoto, 2) modelar un sistema de medición en tiempo real, y 3) diseñar una plataforma digital que integre y presente la información de manera intuitiva a los productores. La investigación se fundamenta en un enfoque cuantitativo, utilizando un diseño experimental para manipular y analizar las variables

(temperatura, pH y oxígeno) y sus efectos en el ambiente del cultivo (Hernández Sampieri *et al.*, 2014). A través de este trabajo, se demuestra la viabilidad técnica y económica de una solución tecnológica que contribuye a la sostenibilidad y eficiencia de la acuicultura, posicionándola dentro del marco de la Internet de las cosas (IoT) y la agricultura de precisión.

2. Metodología

La investigación se fundamenta en un enfoque cuantitativo y se adoptó una perspectiva epistemológica positivista, asumiendo que la realidad del sistema es objetiva y mensurable (Creswell, 2014). Esta aproximación permitió la cuantificación precisa de las variables críticas del agua (temperatura, pH y oxígeno disuelto) mediante la observación sistemática y la experimentación rigurosa. El método de investigación experimental permitió la manipulación de las variables para establecer relaciones de causa y efecto, analizando los datos mediante métodos estadísticos como el análisis de varianza y el análisis de correlación (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

La metodología se desarrolló en varias fases:

Inicialmente se realizó la caracterización de sensores y hardware seleccionando sensores de bajo costo aptos para el entorno acuícola: el sensor de temperatura DS18B20, el sensor de oxígeno disuelto SEN0237-A y el sensor de pH SEN0161. Se llevaron a cabo rigurosos procesos de calibración bajo condiciones controladas para cada sensor. Para el sensor de temperatura DS18B20, se utilizó el método de dos puntos (ebullición y congelación del agua), obteniendo una desviación estándar de 0.06, lo que confirma su alta precisión. El sensor de oxígeno disuelto se calibró con una solución patrón de NaOH 0.5 M, siguiendo las indicaciones del fabricante (DFRobot, s.f.), obteniendo un valor promedio de 8 mg/L en la calibración, lo que se acerca a las mediciones esperadas. Para el sensor de pH, se realizó la calibración con una tensión de 2.5V para un pH neutro (7), y se validó la lectura con una solución de cloruro de potasio (KCl) de pH nominal 4, resultando en un promedio de 3.99, lo que valida su exactitud. La frecuencia de muestreo de cada sensor se estableció en 5 segundos para la temperatura y el oxígeno, y 500 milisegundos para el pH, lo que permitió una caracterización precisa de la estabilidad de las mediciones.

Además, se modeló el sistema en torno a una arquitectura IoT de bajo costo. Se seleccionó el microcontrolador ESP32 como cerebro del

sistema debido a su capacidad para la adquisición de datos, su procesamiento y su conectividad Wi-Fi integrada. El sistema se alimentó con una fuente de 5V y 2A, suficiente para operar todos los componentes, y el consumo de energía del circuito se midió en un máximo de 1.38 A, lo que confirma su eficiencia. Las conexiones se realizaron siguiendo un diagrama específico para cada sensor, integrándolos en una única tarjeta impresa.

Adicionalmente como diseño de la plataforma digital, se utilizó la plataforma *Blynk* IoT, una solución de bajo código, para la visualización y gestión de los datos. Se creó una plantilla personalizada denominada "Truchas" y se configuraron los flujos de datos a través de pines virtuales para cada sensor, permitiendo la transmisión y visualización en la nube en tiempo real. Esta interfaz intuitiva, accesible desde un teléfono móvil o un navegador web, facilita la interpretación de los datos para los productores.

Por otra parte, las pruebas de campo del sistema se implementaron en un estanque de la finca Truchas Pamplona, ubicada en la vereda Chichira, para recolectar datos en condiciones reales. Se tomaron mediciones con una frecuencia de muestreo de una hora durante un día, lo que permitió observar las variaciones de las variables en respuesta a factores externos, como la alimentación de las truchas y los cambios climáticos.



Figura 1. Estanques finca Truchas Pamplona. *Nota.* Ubicación de los estanques de truchas. (Serrano, 2024).

3. Resultados

La implementación del sistema de monitoreo en la finca Truchas Pamplona arrojó resultados significativos que validan la eficacia y la utilidad del prototipo desarrollado. Los datos obtenidos en las pruebas de campo (Tabla 1) revelaron patrones claros en la calidad del agua a lo largo del día.

Tabla 1. *Resultados obtenidos*

Hora	Temperatura	pH	Oxígeno	Alimentación
7:00	10 °C	7	14 mg/L	NO
8:00	11 °C	7	14 mg/L	NO
9:00	12 °C	6	15 mg/L	SI
10:00	13 °C	7	15 mg/L	NO
11:00	14 °C	6	11 mg/L	SI
12:00	14 °C	7	15 mg/L	NO
13:00	14 °C	6	11 mg/L	SI
14:00	14 °C	7	15 mg/L	NO
15:00	13 °C	6	10 mg/L	SI

16:00	13 °C	7	14 mg/L	NO
17:00	12 °C	6	10 mg/L	SI

Nota. Se puede observar en el análisis de resultados la relación existente entre las tres variables, al suministrar alimento a las truchas el pH y el oxígeno disminuyen, y la temperatura varía de acuerdo con la hora del día teniendo en cuenta la intensidad del sol. Cada dos horas se suministró alimento, iniciando a las 09:00 y 11:00 de la mañana, luego 1:00 pm, 3:00 pm y 5:00 pm, observando la disminución del oxígeno disuelto en el agua el cual disminuye cuando se suministra el alimento (Serrano, 2024).

La temperatura del agua fluctuó en un rango de 10 °C a 14 °C, alcanzando su valor máximo en las horas de mayor intensidad solar (11:00 am a 2:00 pm). Aunque la temperatura óptima para la trucha se encuentra entre 13 °C y 18 °C (FAO, 2014), el sistema permitió observar y registrar las variaciones diarias, alertando al productor sobre la necesidad de tomar medidas si la temperatura se desviara de los rangos aceptables.

El pH del agua se mantuvo en un rango aceptable para la trucha (6-7), que se alinea con el rango ideal de 6.5 a 8.5 (FAO, 2014). No obstante, se observó una disminución del pH inmediatamente después de cada suministro de alimento, lo que se atribuye a la acidificación del agua por la descomposición de la materia orgánica. El sistema detectó esta fluctuación, lo que permite al productor ajustar el momento y la cantidad de alimento para mitigar este efecto.

El nivel de oxígeno disuelto fluctuó entre 10 mg/L y 15 mg/L, manteniéndose dentro del rango ideal (7.5 a 12 ppm) y en ocasiones superándolo, gracias al sistema escalonado de estanques que promueve la oxigenación (Tabla 1). Al igual que con el pH, se observó una disminución del oxígeno disuelto tras la alimentación de los peces, debido al aumento del consumo de oxígeno por parte de las truchas y los procesos de descomposición. La capacidad del sistema para mostrar este comportamiento es crucial para la prevención de enfermedades y mortandad.

El sistema de monitoreo demostró su viabilidad técnica y económica. El costo total de implementación fue de \$1.193.000 pesos colombianos (Tabla 3), un valor considerablemente menor que el de las soluciones comerciales integradas. Esta optimización de costos se logró, en parte, al utilizar componentes de bajo costo como el microcontrolador ESP32 y una fuente de alimentación de teléfono celular, lo que lo hace una solución accesible para pequeños productores.

Tabla 2. Costos del sistema

Elemento	Cantidad	Valor unidad	Valor Total
SEN0237-A	1	\$ 991.151	\$ 990.000
DS18B20	1	\$ 11.000	\$ 11.000
SEN0161	1	\$ 150.000	\$ 150.000
ESP 32	1	\$ 35.000	\$ 35.000
Baquela	1	\$ 5.000	\$ 5.000
Cables	1	\$ 2.000	\$ 2.000
VALOR TOTAL			\$ 1.193.000

Nota. La inversión total para la implementación del sistema fue de \$1.193.000. Es relevante mencionar que se logró optimizar los recursos al utilizar un adaptador de teléfono celular como fuente de alimentación, evitando así costos adicionales y contribuyendo a la eficiencia del proyecto (Serrano, 2024).

La plataforma Blynk IoT demostró ser una herramienta eficaz y de fácil manejo para la visualización en tiempo real de los datos. La interfaz intuitiva, accesible tanto en la web como en una aplicación móvil, permitió a los productores monitorear las condiciones del agua de forma constante, un gran avance en comparación con la medición empírica o esporádica que se realizaba anteriormente.

4. Conclusiones

Los resultados de esta investigación demuestran la viabilidad técnica y económica de un sistema de monitoreo de bajo costo para la acuicultura de trucha. Este proyecto cumple con los objetivos propuestos y sienta las bases para la modernización y sostenibilidad de la industria acuícola en comunidades rurales.

El sistema de monitoreo de temperatura, pH y oxígeno disuelto posiciona a los pequeños productores en la vanguardia de la agricultura inteligente. La capacidad de monitorear en tiempo real permite una gestión más eficiente, reduciendo las pérdidas económicas y optimizando la producción al asegurar que las condiciones del agua se mantengan dentro de los rangos óptimos.

La implementación de esta tecnología contribuye a la sostenibilidad ambiental al optimizar el uso de recursos. La identificación de la correlación entre la alimentación y la disminución de los parámetros de

calidad del agua permite la implementación de estrategias para una gestión más eficiente del cultivo, lo que reduce la huella ambiental.

El costo de implementación en pesos colombianos es bajo, lo que lo convierte en una solución accesible y competitiva, adaptada a las necesidades de los pequeños productores. A diferencia de las soluciones comerciales, este sistema ofrece una integración completa y funcionalidades adicionales, como la conectividad IoT, que le otorgan una ventaja competitiva significativa.

La efectividad del sistema en la finca Truchas Pamplona subraya su potencial para ser replicado en otros entornos acuícolas, con la posibilidad de futuras mejoras. La implementación de una fuente de alimentación autosostenible basada en energía solar y el desarrollo de una estructura física más robusta para proteger los componentes de la humedad se plantean como pasos necesarios para optimizar aún más el proyecto y asegurar su durabilidad a largo plazo.

En definitiva, este sistema representa una herramienta indispensable para la toma de decisiones informadas, garantizando un crecimiento sostenible y una mejora en la calidad de vida de las comunidades rurales a través de la innovación tecnológica aplicada.

Referencias

- Alcaldía Municipal de Pamplona. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Pamplona*. Alcaldía Municipal de Pamplona. <https://www.pamplona-nortedesantander.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionYControl/MEMORIA%20JUSTIFICATIVA%20PBOT%20PAMPLONA.pdf>
- Creswell, J. W. (2014). The Selection of a Research Approach. En *Research Design*. Sage. <https://doi.org/45593:01>
- Creswell, J. W., & Plano, V. L. (2018). *Designing and Conducting Mixed Methods Research*. Sage.
- DFRobot. (s.f.). *SKU:SEN0237*. DFRobot. Recuperado 1 de enero de 2025, de https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_Dissolved_Oxygen_Sensor_SKU_SEN0237

Federación Colombiana de Acuicultores. (2023). Acuicultores: la celebración de nuestros 25 años. *Revista Acuicultores*, 1. https://fedecua.org/files/acuicultores_12_.PDF

Google Earth. (2023). *Inicio*. Google Earth. <https://www.google.com/intl/es/earth/>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6.a ed.). Mc Graw Hill.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1292/1/Hernández-Metodología de la investigación.pdf>

Martínez, F. L., & Bertel, Y. Y. (2021). *Prototipo electrónico de medición y monitoreo remoto, de la calidad del agua en criaderos de Tilapia en estanques de tierra*. [Trabajo de investigación]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/42726>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoíris*. FAO.

Piamba-Mamian, T.-M., Zambrano, L. E., Montaña-Rúales, L. A., & Rojas-González, F. A. (2021). Implementación de un sistema de monitoreo IoT aplicado a una piscicultura de trucha. *Informador Técnico*, 85(1), 3-19. <https://doi.org/10.23850/22565035.2937>

Plazas, L. A., & Paz, N. E. (2019). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de parámetros de calidad de agua en cultivo de tilapia en una granja piscícola del departamento del Cauca. *Publicaciones e Investigación*, 13(2), 11-22. <https://doi.org/10.22490/25394088.3255>

Ramírez, I. (2016). *Diseño hardware y desarrollo de librerías para la implementación de una plataforma open source basada en un microcontrolador PIC como alternativa a la plataforma Arduino UNO*. Universitat de les Illes Balears. <http://dspace.uib.es/xmlui/handle/11201/151533>

Serrano, R. (2024). *Diseño e implementación de un sistema para la supervisión de las variables temperatura, ph y oxígeno en estanques de truchas (Oncorhynchus mykiss) de la vereda Chichira, del municipio de Pamplona Norte de Santander*. [Proyecto aplicado]. UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/65848>

Sigma Electrónica. (2018). *Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor SKU:SEN0237*. Sigma Electrónica.

Sigma Electrónica. (2025a). *ESP-32*. Sigma Electrónica. <https://www.sigmaelectronica.net/producto/esp-32/>

Sigma Electrónica. (2025b). *ESP32-WROOM-32D*. Sigma Electrónica. <https://www.sigmaelectronica.net/producto/esp32-wroom-32d/>

Sigma Electrónica. (2025c). *SEN DS18B20 1M*. Sigma Electrónica. <https://www.sigmaelectronica.net/producto/sen-ds18b20-1m/>

Sigma Electrónica. (2025d). *SEN0161*. Sigma Electrónica. <https://www.sigmaelectronica.net/producto/sen0161/>

Tovar, J. E. (2024). *Repotenciación de un módulo interactivo a través de Arduino con comunicación de Radioenlace a IOT y Node Red para integración a Django en la visualización y almacenamiento de datos (SQL SERVER)*. [Trabajo de grado]. Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28131>