

# Diseño de un sistema de monitoreo de calidad de agua basado en IoT, aplicado a unidades de producción acuícola\*

Oscar Camilo Fuentes Amín<sup>a</sup> ■ Mariano Esteban Romero Torres<sup>b</sup>

**Resumen:** Uno de los factores críticos que más impacta la productividad y competitividad de las unidades de producción acuícola (UPA) es la calidad del agua. Por este motivo, controlar las variables de calidad se ha convertido en un proceso fundamental en este sector económico. En este trabajo se presenta el diseño de un sistema de monitoreo de calidad de agua, basado en las plataformas Arduino y Lora, capaz de transmitir señales a larga distancia, con el fin de ofrecer una herramienta que pueda ser implementada para el mejoramiento de la productividad y competitividad de las UPA. Se hizo una exploración bibliográfica en la que se analizó el contexto de la implementación de tecnologías de internet de las cosas en UPA. A partir del análisis realizado, se caracterizaron las tecnologías de sensores de cuatro variables de interés: temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto. A partir de las recomendaciones ofrecidas por los fabricantes, se diseñó un sistema de monitoreo en Arduino Nano, que toma señales de una muestra de agua a través de sensores y transmite los datos a larga distancia a través de un módulo de tecnología LoRa. Los resultados muestran la viabilidad del sistema, estableciendo las bases para futuras implementaciones en la industria acuícola, lo cual puede ser determinante para mejorar significativamente algunos procesos productivos de este sector.

**Palabras clave:** acuicultura; Arduino; calidad de agua; LoRa

**Recibido:** 04/06/2024 **Aceptado:** 15/11/2024 **Disponible en línea:** 26/12/2024

**Cómo citar:** O. C. Fuentes Amín y M. E. Romero Torres, «Diseño de un sistema de monitoreo de calidad de agua basado en IoT, aplicado a unidades de producción acuícola», *Rev. Fac. Cienc. Básicas*, vol. 19, n.º 1, pp. 47-58, dic. 2024.

---

\* Artículo de investigación.

**a** Especialista en Automatización y Control Industrial, ingeniero electrónico. Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingenierías, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Sahagún, Colombia.  
Correo electrónico: oscar.fuentes@unad.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9193-8947>

**b** Magíster en Dirección Estratégica en Tecnología de la Información, especialista en Seguridad Informática, ingeniero de sistemas. Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingenierías, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Sahagún, Colombia.  
Correo electrónico: mariano.romero@unad.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8211-5132>

## *Design of a Water Quality Monitoring System Based on IoT Applied to Aquaculture Production Units*

**Abstract:** One of the critical factors that most impact the productivity and competitiveness of aquaculture production units (APUs) is water quality. For this reason, controlling quality variables has become a fundamental process in this economic sector. This study presents the design of a water quality monitoring system based on Arduino and LoRa platforms, capable of transmitting signals over long distances, providing a tool to improve the productivity and competitiveness of APUs. A bibliographic review was conducted to analyze the context of implementing IoT technologies in APUs. Based on the analysis, sensor technologies for four key variables—temperature, conductivity, pH, and dissolved oxygen—were characterized. Following manufacturers' recommendations, a monitoring system was designed using Arduino Nano, which collects signals from water samples via sensors and transmits data over long distances using a LoRa module. The results demonstrate the system's feasibility, laying the foundation for future implementations in the aquaculture industry, which could significantly improve some of this sector's production processes.

**Keywords:** Aquaculture; Arduino; Water Quality; LoRa

## *Projeto de um sistema de monitoramento da qualidade da água baseado em IoT, aplicado a unidades de produção aquícola*

**Resumo:** Um dos fatores críticos que mais impactam a produtividade e competitividade das unidades de produção aquícola (UPA) é a qualidade da água. Por esse motivo, controlar as variáveis de qualidade tornou-se um processo fundamental nesse setor econômico. Este trabalho apresenta o projeto de um sistema de monitoramento da qualidade da água, baseado nas plataformas Arduino e LoRa, capaz de transmitir sinais a longa distância, com o objetivo de oferecer uma ferramenta que possa ser implementada para melhorar a produtividade e competitividade das UPAs. Foi realizada uma revisão bibliográfica na qual se analisou o contexto da implementação de tecnologias de Internet das Coisas em UPAs. A partir da análise realizada, foram caracterizadas as tecnologias de sensores para quatro variáveis de interesse: temperatura, condutividade, pH e oxigênio dissolvido. Com base nas recomendações dos fabricantes, foi projetado um sistema de monitoramento com Arduino Nano, que coleta sinais de uma amostra de água por meio de sensores e transmite os dados a longa distância por um módulo de tecnologia LoRa. Os resultados mostram a viabilidade do sistema, estabelecendo as bases para futuras implementações na indústria aquícola, o que pode ser determinante para melhorar significativamente alguns processos produtivos desse setor.

**Palavras-chave:** aquicultura; Arduino; qualidade da água; LoRa

## Introducción

La producción de alimentos es uno de los principales retos para la humanidad a nivel mundial, económica y socialmente, tanto así que la Organización de las Naciones Unidas dispuso “Hambre Cero” como el segundo Objetivo de Desarrollo Sostenible [1]. La acuicultura es un sector económico clave en este sentido, pues su productividad y competitividad son fundamentales para garantizar la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible. En los últimos años, el gobierno de Colombia ha tenido la intención de ejecutar acciones de apoyo relacionadas con la producción acuícola; muestra de esto son los programas que se han venido trabajando, tales como: 1) Programa de apoyo al transporte de productos perecederos agrícolas y pecuarios incluido el pescado refrigerado (Resolución 131 de 2020); 2) Programa de apoyo a pequeños productores para la adquisición de insumos agropecuarios (Resolución 169 de 2020); 3) Apoyo al mejoramiento de la competitividad del sector pesquero y acuícola (Convenio MADR– BMC – AUNAP); 4) Incentivos financieros a través de la estrategia “Agricultura por contrato”; 5) Incentivos financieros a través de Líneas Especiales de Crédito LEC y a toda máquina – Finagro; y 6) Incentivo al Seguro Agropecuario – ISA, “Programa de apoyo a la competitividad para la comercialización del sector pesquero y acuícola”; entre otros, con los que se han beneficiado 36 asociaciones y 561 productores que recibieron alevinos y alimento balanceado [2]. En Colombia, la producción acuícola ha aumentado considerablemente; sin embargo, este sector se ha enfrentado recientemente a diversas situaciones que han provocado la disminución de su competitividad y productividad, pues las diversas especies de peces que se siembran están expuestas a la acción de patógenos. Algunas de estas son resistentes, pero sin el debido control y manejo de factores ambientales, los peces disminuyen su resistencia y pueden hacerse susceptibles a la acción de los agentes infecciosos, manifestando signos como morbilidad y mortalidad [3].

A lo largo de los años, se ha podido comprender la importancia del monitoreo periódico de la calidad del agua en unidades de producción acuícola

(UPA) [4]. Frente al monitoreo de estas variables se presentan dificultades como: la recolección y el tratamiento de datos, la trazabilidad de la información recolectada y, en consecuencia, la dificultad en la toma de decisiones estratégicas. Los efectos mencionados se deben a las limitaciones presentes en las herramientas y métodos convencionales usados para la toma de medidas en este sector, el uso excesivo y la necesidad de conocimiento especializado en el manejo de reactivos químicos, procesos complejos y manuales, además de la poca o nula digitalización de las variables en bases de datos, entre otras. No llevar una trazabilidad de los parámetros del agua en este tipo de sistemas dificulta al productor tomar decisiones, razón por la cual se enfrenta al riesgo de pérdida por el mal manejo de su producción. Para abordar esta problemática es necesario implementar nuevas herramientas y tecnologías que permitan monitorear de manera efectiva las variables en los sistemas de acuicultura. Una posible solución es la implementación de sensores conectados a un sistema de monitoreo automatizado que permita la detección temprana de eventos altamente críticos y la toma de decisiones preventivas. Sin embargo, en su mayoría, las unidades productivas se encuentran en zonas rurales con baja conectividad a internet, lo cual dificulta los procesos de registro de datos y la trazabilidad requerida para este sector. LoRa es una tecnología ideal para aplicaciones donde se requiere comunicar señales de forma inalámbrica a largas distancias; consiste en dos tipos de dispositivos: nodos y *gateways* que generan una red de comunicación de largo alcance para facilitar la transmisión de datos a internet. LoRa aprovecha el hecho de que estos dispositivos pueden transmitir datos a varios kilómetros de distancia con un consumo energético mínimo, de manera eficiente [5]. Con base en estas plataformas tecnológicas, se propone el diseño de un sistema de monitoreo de calidad de agua para ofrecer una herramienta tecnológica que pueda ser aplicada a UPA.

## Métodos y experimentación

Para lograr el diseño de un sistema de monitoreo de calidad de agua, como el que se propone hacer,

es preciso verificar los requerimientos técnicos que permitan su aplicación en UPA. En primer lugar, se definió una etapa de exploración bibliográfica, en la cual se analizaron investigaciones experimentales relacionadas con: monitoreo de calidad de agua e internet de las cosas, seguida de una fase de caracterización de tecnologías para el análisis y pruebas de sensores y circuitos usados en la medición de variables relacionadas con la calidad de agua y, finalmente, un periodo de diseño, en el que se incluyeron actividades como elaboración de diagramas y descripción de la operación del sistema.

## Exploración bibliográfica

Se hizo una exploración en tres bases de datos, utilizando la fórmula de búsqueda avanzada (Aquaculture production) AND (Water quality) AND ((Arduino) OR (Long-range transmission)); esta

fórmula constaba de los términos “Aquaculture production”, que es el tema de interés, más el conector “AND” y el término “Water quality”, lo que conllevó a que la búsqueda se limitara a investigaciones específicas en temas sobre calidad de agua y producción acuícola. A esto se sumó otro conector “AND”, con el término “Arduino”, que es una plataforma electrónica ampliamente usada para el desarrollo de dispositivos IoT y, finalmente, se agregó el conector “OR” con el término “Long-range transmission”. De esta manera, los recursos bibliográficos encontrados se limitaron a investigaciones que usaron Arduino o tecnologías de largo alcance, cuya aplicación se relacionaba con calidad de agua y producción acuícola. En la tabla 1 se detallan los criterios que se tuvieron en cuenta para la inclusión de las investigaciones al proceso de exploración.

**Tabla 1.** Criterios de selección

|                           | IEEE Explore | ProQuest | ScienceDirect | Total |
|---------------------------|--------------|----------|---------------|-------|
| No. Recursos              | 1631         | 2029     | 4396          | 8056  |
| Últimos 5 años            | 767          | 1452     | 2362          | 4581  |
| Artículos                 | 227          | 320      | 1256          | 1803  |
| Investigaciones empíricas | 70           | 35       | 74            | 179   |
| Idoneidad                 | 7            | 12       | 8             | 27    |

**Fuente:** elaboración propia.

## Caracterización de tecnologías

Algunas de las variables de mayor importancia en sistemas productivos en acuicultura son pH, oxígeno disuelto OD, conductividad eléctrica CE, temperatura, nitritos y nitratos. Para esta investigación, se propuso un sistema multisensor, que cuenta con medida de temperatura, CE, pH y OD. A partir de la exploración realizada, se ha podido verificar que estas variables, además de ser medidas a través de métodos convencionales, también se pueden calcular con dispositivos de tecnologías emergentes basados mayormente en Arduino, ESP32 y Raspberry.

Dentro de las características analizadas, cabe anotar que el sensor de temperatura no requiere una board externa para su funcionamiento, puede

ser conectado a un pin digital de Arduino y se gestiona a partir de una librería del mismo fabricante. Los sensores de CE, pH y OD son fabricados por una misma compañía; cada sensor cuenta con una board externa para la adquisición y tratamiento de sus señales y también con una librería para la gestión de calibración y monitoreo.

## Diseño

El sistema que se diseñó se basa en Arduino Nano, desde el cual se controlan y automatizan los procesos de medida y calibración de los sensores. Aunque en una gran mayoría de investigaciones se usaron plataformas como Node mcu o ESP32 para transmitir señales a internet, en este caso se propuso Arduino Nano, porque cuenta con seis puertos

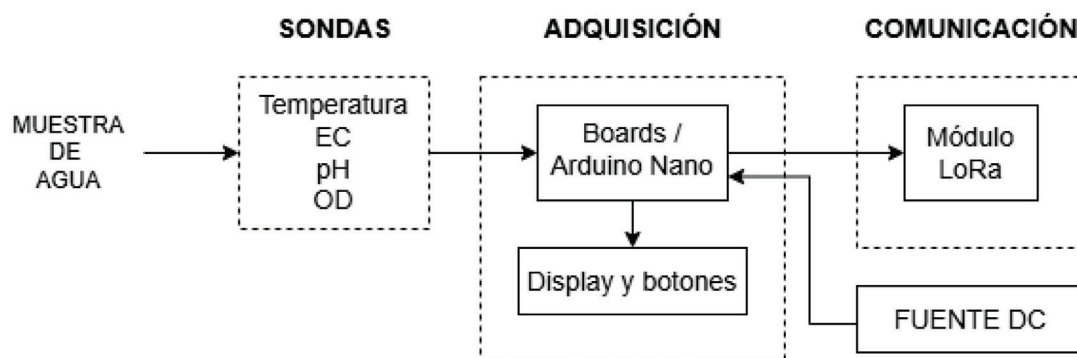
analógico-digital ADC y las librerías ofertadas por el fabricante han sido diseñadas para operar con mayor precisión con plataformas Arduino. Otra razón por la que no se incluyeron microcontroladores con comunicación por wifi es porque en muchas zonas rurales no se cuenta con acceso a internet; esto hace necesario transmitir las señales con otras tecnologías como el caso de LoRa, para el cual no es necesario que el microcontrolador encargado del registro cuente con wifi. El sistema se divide en tres etapas, que se describen a continuación:

- Etapa 1: se integró una red de sensores de temperatura, pH, OD y CE cuyas ondas transmiten señales eléctricas hacia los puertos de entrada del Arduino Nano.
- Etapa 2: se incluyó una pantalla táctil Nextion de 2,4 pulgadas para que el usuario pudiera gestionar las acciones de adquisición y transmisión de señales.
- Etapa 3: comprende un módulo LoRa RYLR998, que se conecta al puerto serial del Arduino

Nano para recibir los valores de las variables y transmitirlos de forma inalámbrica hacia un dispositivo conectado a internet. Para establecer la comunicación entre el sistema de monitoreo y el dispositivo se configuró una red LoRa con banda de 915 MHz y se usó el canal 18.

Para la alimentación del sistema se propone el uso de dos baterías de Litio 18650 en serie, cada una proporciona un voltaje de 3,7V y una capacidad de corriente de hasta 2900mAh; de esta forma se tiene un voltaje total de 7,4 con capacidad de 5,8Ah, suficiente para todas las etapas propuestas. Estas baterías suministran energía a un módulo de regulación con salida de 3,3V y 5V, con esto, la pantalla y el Arduino Nano se recargan con 5V, mientras que los sensores lo hacen con 3,3V. Desde los pines de salida de voltaje del Arduino se distribuye la energía al resto de las etapas. En la Figura 1 se presenta el diagrama del sistema propuesto.

**Figura 1.** Esquema del circuito propuesto



Fuente: elaboración propia.

## Resultados

### Resultados de la exploración bibliográfica

Se encontraron 27 investigaciones idóneas, es decir, con información útil, resultados experimentales y análisis sobre las tecnologías de interés. A

continuación, se muestran detalles tecnológicos sobre 10 de estas investigaciones, que identifican aspectos como variables ambientales, módulos de adquisición y tratamiento de señales, así como tecnologías de comunicación y plataformas web.

Xiang *et al.* [6] desarrollaron un dispositivo para oxigenar cuerpos de agua como lagos y ríos. En su investigación estos autores tuvieron en

cuenta la medición de parámetros como OD, valor de pH, turbidez, nivel de agua, temperatura y PM<sub>2,5</sub> en el agua, con envío de datos a la nube.

En el trabajo realizado por Dwi Susanti *et al.* [7], estos autores desarrollaron un sistema IoT de bajo costo que puede monitorear parámetros de un sistema de acuaponía, las variables utilizadas fueron temperatura, pH y TDS, las cuales se pueden gestionar a través de la plataforma Android. El diseño de hardware utiliza varios sensores integrados, por ejemplo, el sensor de temperatura de agua tipo DS18B20, el de pH SKU: SEN0161, un sensor TDS tipo SKU: SEN0244. El sistema utiliza un NodemCU ESP8266 adicional, que puede transmitir datos a un teléfono inteligente mediante una conexión a internet, en el que finalmente se puede acceder a los datos, utilizando Android con la aplicación Blynk.

D. Molato [8] fue más allá del monitoreo; realizó un sistema de análisis en el que utilizó la lógica difusa para generar un modelo que pueda analizar y generar resultados con respecto a la calidad general del agua que se utiliza en la acuicultura de tilapia. Los parámetros del agua considerados en este trabajo fueron la temperatura, OD y el nivel de pH.

En [9] se muestra un sistema alimentado por baterías que mide periódicamente la temperatura, el pH y el OD, transmitiendo la información por medio de la tecnología LoRa a una puerta de enlace conectada a un servicio en la nube para el almacenamiento y visualización de datos. Cuenta con un diseño de boya novedoso que se puede construir fácilmente con materiales disponibles en el mercado, lo que proporciona un flotador anclado estable para el dispositivo IoT y las sondas sumergidas en el estanque de agua. El prototipo se probó en una piscifactoría en funcionamiento y mostró resultados prometedores para una herramienta de monitoreo remoto, de bajo costo, y que permite la adquisición y el almacenamiento automático de datos en escenarios de piscicultura.

Ya'acob [10] trabajó en un dispositivo capaz de detectar la presencia de peces mediante un sensor ultrasónico, sumado al monitoreo de pH y temperatura. El sistema utiliza un sensor de pH y temperatura, factores que afectan la calidad del agua y el crecimiento de los peces, un sensor ultrasónico

para detectar la presencia de peces, una aplicación Blynk a través de un teléfono inteligente para notificaciones y un módulo NodemCU ESP8266 como controlador central.

En [11], Tayo presenta una tecnología de red de sensores inalámbricos (WSN) de bajo costo para monitorear la calidad del agua en estanques de acuicultura de camarón. Consta de una red de sensores inalámbricos entre un dispositivo central y tres nodos de sensores para cubrir toda el área de la granja. El sistema muestra los datos recopilados en una pantalla TFT Pi. Los nodos, sensores y receptores se comunican de manera eficiente a través de módulos de comunicación Bluetooth de largo alcance HC-12.

Suganthi *et al.* [12] desarrollaron un módulo de sensores para medir pH, temperatura, OD, amoníaco, nitrato, sal y carbonatos. Estos sensores se gestionan en una Raspberry Pi con el fin de tomar decisiones sobre las múltiples facetas de la calidad del agua.

En [13], se presenta una plataforma desarrollada por Catini para ensayos químicos automáticos. Se muestra la detección de nitritos basada en la conocida reacción colorimétrica de grises. La plataforma se centra en una tecnología conocida como Lab on Chip - Laboratorio en un Chip, donde se mezclan reactivos y muestras de agua para medir el color resultante; el color del producto de la reacción se mide con componentes optoelectrónicos de bajo costo. Los resultados muestran la viabilidad del enfoque con una concentración mínima detectable de aproximadamente 0,1 mg/L, que está por debajo del nivel de tolerancia para las granjas acuícolas.

Otro trabajo, realizado por Wan *et al.* [14], muestra el diseño de un sistema de monitoreo con características de miniaturización, modularización y bajo costo, para la investigación de la relación cultivo-mejora. El sistema puede realizar monitoreo remoto y control inteligente de los parámetros necesarios para mantener peces y plantas en condiciones óptimas. Se utilizó un chip de 32 bits como unidad de microcontrolador para desarrollar la unidad de detección inteligente, que puede realizar 16 adquisiciones de datos diferentes a partir de módulos extensibles autónomos. Cuenta

con una Raspberry Pi integrada con algoritmos de procesamiento de imágenes para realizar computación de borde. Finalmente, todos los datos recopilados se almacenan en Ali-cloud a través de wifi y un mini programa WeChat, que muestra datos y controla dispositivos.

En [15], Lin *et al.*, se propone un sistema multi-sensor inalámbrico mediante la integración de sensores de temperatura, pH, OD y CE con un módulo wifi ESP 32 para monitorear la calidad del agua de la acuicultura de agua dulce, que adquiere los datos de detección y la información de salinidad directamente derivados del nivel de la conductividad. La información de la temperatura del agua, pH, OD, CE y niveles de salinidad se pudieron registrar en la

plataforma ThingSpeak y se visualizaron de manera fácil mediante la aplicación ThingView.

### Resultados de la caracterización de tecnologías

En la tabla 2, se describen algunas características técnicas correspondientes a los sensores escogidos de acuerdo a las hojas de características compartidas por los fabricantes.

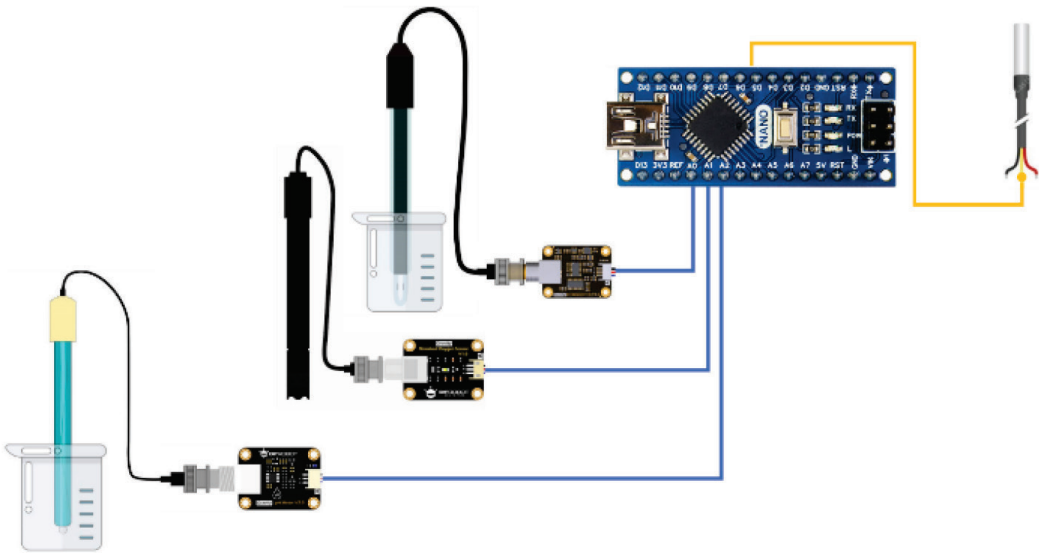
A los sensores de CE, pH y OD se les hizo un proceso de calibración, utilizando sustancias de control; después se realizaron conexiones con un Arduino Nano para realizar medidas sobre diferentes muestras, ver figura 2.

**Tabla 2.** Características de los sensores

|                         | Temperatura | Conductividad    | pH               | Oxígeno disuelto |
|-------------------------|-------------|------------------|------------------|------------------|
| Referencia              | DS18B20     | Gravity EC meter | Gravity pH meter | Gravity OD meter |
| Voltaje de alimentación | 3 a 5,5     | 3 a 5,5          | 3 a 5,5          | 3 a 5,5          |
| Señal de salida         | Digital     | Análoga          | Análoga          | Análoga          |
| Board externa           | NO          | SI               | SI               | SI               |
| Conexión                | Cable       | BNC              | BNC              | BNC              |

Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.** Conexión de Arduino Nano con sensores

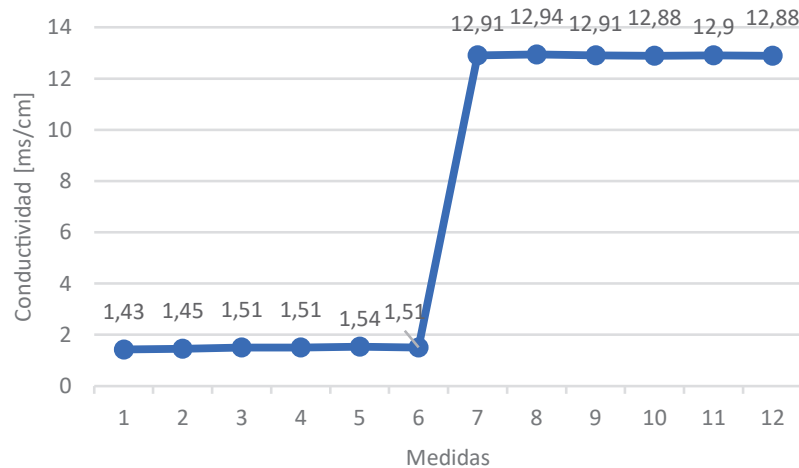


Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura 2, se conectó la sonda de temperatura al pin digital D5, mientras que las sondas de pH, OD y EC fueron conectadas a los pines analógicos A0, A1 y A2, respectivamente. El Arduino Nano fue programado para devolver una medida específica, siempre que sea solicitada a través del puerto serial UART. Este proceso se hizo con el uso de caracteres: si Arduino

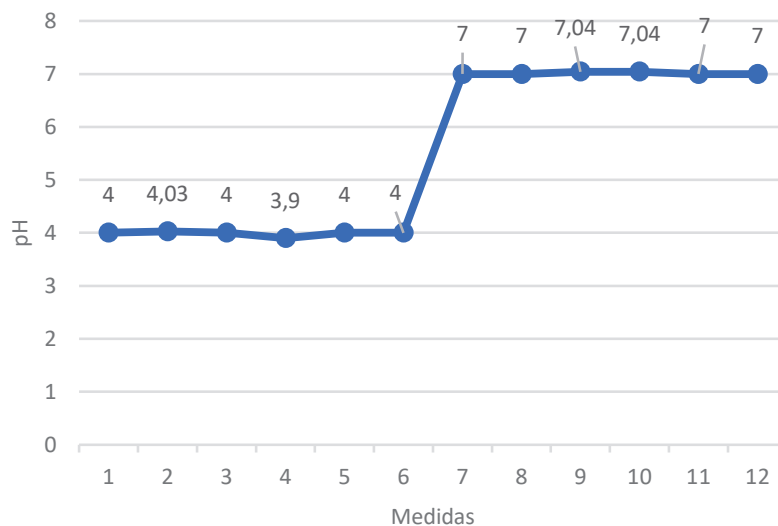
recibe “C”, éste retorna el valor de EC leído, si recibe “H”, retorna el valor de pH leído, si recibe “O”, retorna el valor del OD leído y si recibe “T”, retorna el valor de temperatura leído. Para ponerlo a prueba, se tomaron medidas a dos sustancias con conductividad diferente, ver figura 3, asimismo, se tomaron medidas a dos sustancias con pH diferente, ver figura 4.

**Figura 3.** Medidas de conductividad en las muestras de 1,41 ms/cm y 12,88 ms/cm



Fuente: elaboración propia.

**Figura 4.** Medidas de pH en las muestras con pH 4 y 7 respectivamente



Fuente: elaboración propia.

La figura 3 muestra doce medidas tomadas por el dispositivo a una muestra de 1,41 ms/cm y otra de 12,88 ms/cm. Por su parte, la figura 4 muestra doce medidas tomadas por el dispositivo a una muestra con pH de 4 y otra con pH de 7. En ambas pruebas se puede evidenciar que el dispositivo responde con valores similares a los esperados.

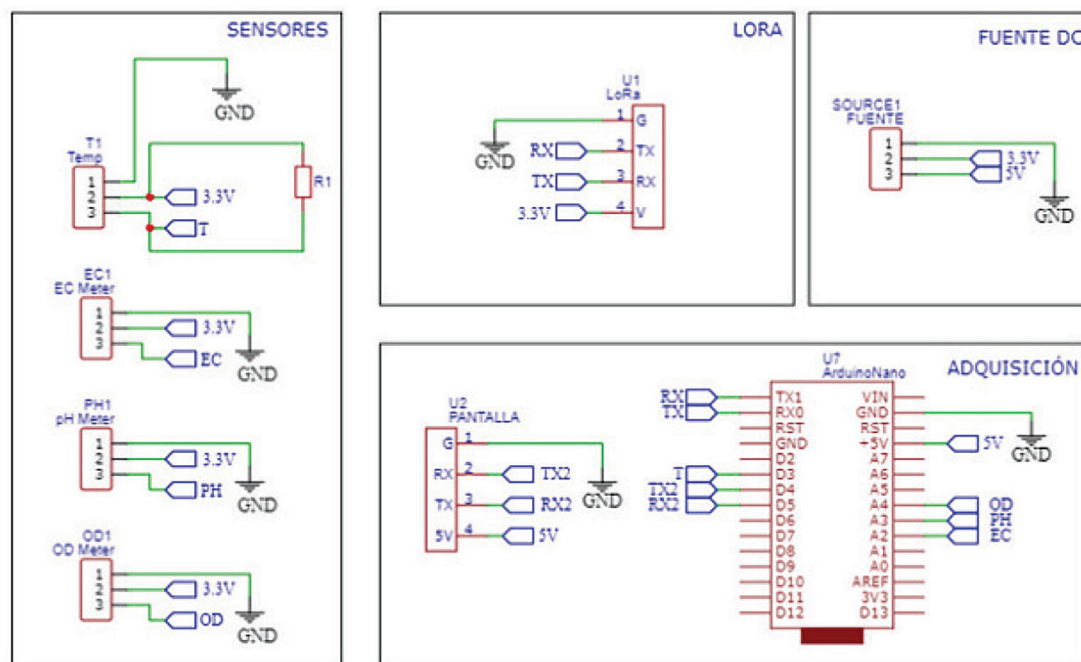
Por otro lado, se usaron dos módulos LoRa RYLR998 para hacer pruebas de comunicación con el Arduino Nano; estos módulos cuentan con un puerto UART que facilita la comunicación hacia cualquier microcontrolador como Arduino a través de sus pines “Rx” y “Tx”. Se hicieron pruebas en campo entre los dos módulos, en las que se pudo obtener un alcance de 1,6 km. Cabe resaltar que estas pruebas se realizaron en zona rural del departamento de Córdoba, Colombia, con condiciones de poca cobertura de internet.

## Resultados del diseño

Con base en las necesidades del entorno en el que se pretende emplear este sistema, las características técnicas de los dispositivos propuestos en cada etapa y los experimentos realizados a cada sensor, se estableció un diseño con los siguientes detalles.

El sistema cuenta con una fuente de alimentación de voltaje conformada por dos baterías de Litio 18650 en serie que alimentan a un módulo de regulación con salida de 3,3V y 5V, una red de sensores de temperatura, CE, pH y OD, una etapa de adquisición y tratamiento de señales controlada por un Arduino Nano y una etapa de transmisión de largo alcance basada en un módulo LoRa RYLR998, configurado a una banda de 915MHz. El diagrama esquemático se muestra en la figura 7.

**Figura 5.** Diagrama esquemático del circuito



**Fuente:** elaboración propia.

En la figura 5 se pueden ver las tres etapas definidas, alimentadas con la fuente de DC. Los sensores se alimentan con 3,3V y transmiten las señales eléctricas al Arduino Nano, el cual se conecta con

la etapa de transmisión del módulo LoRa a través del puerto serial y a la pantalla táctil a través de un segundo puerto serial. El diseño del interfaz elaborado para la pantalla se muestra en la figura 6.

**Figura 6.** Interfaz del sistema

**Fuente:** elaboración propia.

La pantalla que se muestra en la figura 6 cuenta con cuatro elementos tipo texto, nombrados EC, pH, OD y T; en estos elementos se mostrará información en tiempo real de las medidas de los sensores de CE, pH, OD y temperatura, respectivamente. Cada vez que el usuario ejecute un toque en el botón táctil “Enviar” los cuatro valores serán enviados a través de la red LoRa hacia un nodo conectado a internet. Este dispositivo facilitará la gestión y trazabilidad de la información para mejorar la toma de decisiones estratégicas por parte de los productores acuícolas y, de este modo mejorar la competitividad y productividad del sector.

## Discusión

En la exploración bibliográfica se identificaron las variables de calidad de agua más importantes de monitoreo en el sector acuícola. En las investigaciones señaladas se utilizaron tecnologías basadas en wifi, que son útiles para aplicaciones específicas donde se pueden aprovechar este tipo de redes; sin embargo, de acuerdo a las condiciones del entorno donde se pretende implementar el sistema propuesto, las redes wifi presentan limitaciones, ya que en zonas rurales hay poco acceso a internet.

El uso de módulos LoRa es fundamental para aumentar el alcance a varios kilómetros, por lo que el sistema propuesto puede tener una cobertura suficiente para aplicarse en UPA.

En la caracterización de tecnologías, se pudo verificar que los sensores de conductividad, pH y OD requieren de una calibración periódica; además, no se recomienda que sus sondas estén constantemente expuestas a los cuerpos de agua. La calibración se realiza a través de un programa específico para los sensores de pH, OD y CE así que, cuando se pretenda calibrar un sensor, es preciso resetear el firmware del Arduino Nano e instalarle el código especial para su calibración, seguidamente volver a instalar el firmware de adquisición de señales. Debido a esta condición en la operación del sistema, es preciso contar con un operario que durante el día ejecute la acción de registro y limpie las sondas para guardarlas nuevamente.

Respecto al procedimiento de monitoreo, el sistema dispone de una pantalla táctil, de manera que podría mejorarse el sistema para que el operario pueda diligenciar información de cada medida como, por ejemplo, identificación de la unidad productora, del estanque, hora y fecha, entre otras, y así llevar una trazabilidad más precisa.

## Conclusiones

Se realizó una exploración bibliográfica, en la que se pudo analizar con detalle el contexto de la implementación de tecnologías IoT en UPA. Algunas de las variables de importancia en este tipo de sistemas son: temperatura, conductividad, pH, OD, nitritos, nitratos, entre otras. Estas variables se miden de forma convencional con instrumentos de medidas electroquímicas y métodos como colorimetría, lo cual se ejecuta de forma manual.

Las variables de interés también pueden ser medidas por sensores compatibles con plataformas como Arduino, lo cual se pudo constatar a través de la caracterización de tecnologías propuestas. Se verificó que la temperatura se puede monitorear a través de un sensor digital que cuenta con librería para Arduino, mientras que las variables de CE, pH y OD también pueden ser medidas con Arduino a través de librerías que ofrece uno de los fabricantes de estos sensores.

Las pruebas preliminares realizadas con los sensores de CE y pH muestran que el sistema adquiere las señales y devuelve valores muy cercanos a los esperados, y aunque se notan variaciones en rangos decimales, las medidas son altamente confiables.

La tecnología LoRa es fundamental para este tipo de aplicaciones, pues se pudo comprobar que, en ambientes rurales con poca cobertura de internet, los dispositivos fueron capaces de transmitir información en distancias mayores a 1 km, lo cual es una ventaja para conectar sensores donde no hay cobertura de redes.

El diseño propuesto se basó en características técnicas ofrecidas por el fabricante de los sensores, cuya operación también se propuso acorde a sus recomendaciones. La implementación se ve condicionada a una operación semiautomática, ya que requiere la intervención de un operador para ejercer algunos procedimientos. La operación propuesta es viable, ya que podría mejorar la trazabilidad de las variables al hacer registros en internet, y esto optimizaría la toma de decisiones, impactando la productividad y la competitividad de las productoras acuícolas.

## Agradecimientos

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, por el apoyo académico y los recursos brindados para la exploración bibliográfica.

## Referencias

- [1]. Organización de las Naciones Unidas, “Objetivos de desarrollo sostenible”, 2015. [En línea]. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [2]. Ministerio de Agricultura, “Acuicultura en Colombia”, 2021. [En línea]. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- [3]. FAO, *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*, Roma, 2020.
- [4]. T. Khaoula, R. Abdelouahid, I. Ezzahoui y A. Marzak, “Architecture design of monitoring and controlling of IoT-based aquaponics system powered by solar energy”, *International Workshop on Edge IA-IoT for Smart Agriculture (SA2IoT)*, vol. 191, pp. 493-498, 2021.
- [5]. J. Zhang, D. Teck y N. Huang, “A Long Range Reliable Precise Irrigation System Based on LoRaP2P Protocol”, *International Conference on Information Networking (ICOIN)*, Jeju-si, 2023.
- [6]. Y. Xiang, L. Cai, L. Xinwei, S. Yingwen y G. Yongyan, “A Study and Design of Photovoltaic Water Monitoring Management Oxygenation System Based on Internet of Things”, *Image Processing, Computer Science and Information Technology*, pp. 60-62, 2022.
- [7]. N. Dwi Susanti, D. Sagita, I. Fajar, C. E. Wahyu, D. A. Darmajana y A. Rahayuningtyas, “Design and Implementation of Water Quality Monitoring System (Temperature, pH, TDS) in Aquaculture Using IoT at Low Cost”, *Advances in Biological Sciences Research*, vol. 16, pp. 7-11, 2021.
- [8]. M. R. D. Molato, “AquaStat: An Arduino-based Water Quality Monitoring Device for Fish Kill Prevention in Tilapia Aquaculture using Fuzzy Logic”, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 13, núm. 2, pp. 557-562, 2022.

- [9]. J. D. Medina, A. Arias, J. M. Triana, L. F. Giraldo, F. Segura, A. Gonzalez, A. F. Zambrano, J. Quimbayo y E. Castillo, “Open-source low-cost design of a buoy for remote water quality monitoring in fish farming”, *PLoS ONE*, vol. 17, núm. 6, pp. 1-14, 2022.
- [10]. N. Ya’acob, N. Dzulkefli, A. Yusof, M. Kassim, F. Naim y S. Aris, “Water Quality Monitoring System for Fisheries using Internet of Things (IoT)”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, pp. 1-13, 2021.
- [11]. C. Tayo, N. Perez y J. Villaverde, “Design and Development of a WSN for Water Quality Monitoring System of Shrimp Aquaculture”, *Proc. of the International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies*, pp. 1-6, 2022.
- [12]. J. Suganthi, V. Rajasekar y S. Sivaranjani, “Surveillance System for Aquaculture Farming”, *Proceedings of the 7th International Conference on Computing Methodologies and Communication*, pp. 1626-1629, 2023.
- [13]. A. Catini, R. Capuano, G. Tancredi, G. Dionisi, D. Di Giuseppe, J. Filippi, E. Martinelli y C. Di Natale, “A Lab-on-a-Chip Based Automatic Platform for Continuous Nitrites Sensing in Aquaculture”, *sensors*, vol. 22, pp. 1-10, 2022.
- [14]. S. Wan, K. Zhao, Z. Lu, J. Li, T. Lu y H. Wang, “A Modularized IoT Monitoring System with Edge-Computing for Aquaponics”, *Sensors*, pp. 1-18, 2022.
- [15]. J-Y. Lin, H-L. Tsai y W-H. Lyu, “An Integrated Wireless Multi-Sensor System for Monitoring the Water Quality of Aquaculture”, *Sensors*, vol. 21, núm. 24, pp. 1-20, 2021.