

# Design of a prototype system for real-time water quality monitoring in tilapia farms using IoT technology

Karens Medrano, Mag. en Gestión Integral de Seguridad, Sistemas y Redes Informáticas <sup>1</sup>, Evelyn Hernández, Mag. en Tecnología Educativa<sup>2</sup>, Rene Tejada, Mag. en Gestión Integral de Seguridad, Sistemas y Redes Informáticas <sup>3</sup>, Bruno González, Ing. en Sistemas informáticos<sup>4</sup> and Néstor Fuentes, Ing. en Automatización<sup>5</sup>  
<sup>1,4</sup> Escuela de Computación, Universidad Don Bosco, San Salvador, El Salvador, karens.medrano@udb.edu.sv, evelyn.hernandez@udb.edu.sv, rene.tejada@udb.edu.sv, bruno.gonzalez@udb.edu.sv  
<sup>5</sup> Escuela de Mecánica, Universidad Don Bosco, San Salvador, El Salvador, nestor.fuentes@udb.edu.sv

**Abstract**— *Aquaculture worldwide is one of the main productive activities, representing a great source of food and work for society in general, which is why it is important to be constantly monitoring those elements that help the health, growth and quality of aquatic species, regardless of the specific aquaculture system used, one of these being water quality. For this reason it is necessary to provide or have a solution that allows the digitization or automation of real-time monitoring of the environmental parameters involved in the development of these species and at the same time facilitates small and medium producers to have or obtain a technological solution with lower technological investments.*

*In this work we present the design of a water quality monitoring system, light and low cost, with the possibility of managing different sensors using IoT tools and technologies, for communication through TCP/IP and collection and storage in a NoSQL database.*

**Keywords**— *IoT, Aquaculture, Tilapia, Water quality, cloud storage, Embedded system.*

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la acuicultura se ha convertido en una de las principales actividades productivas en muchos países de Europa, Asia y América, debido a que proporcionan una gran fuente de alimentación y trabajo para la sociedad en general. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el año 2009 la acuicultura proporcionaba el 81% del marisco, el 76% del pescado de agua dulce, el 69% del salmón y el 42% del camarón que se consume en el mundo, generando empleo para 9 millones de personas, convirtiendo de esta manera a la acuicultura como el sector alimentario con mayor crecimiento en el mundo: un 7% por año [1].

Además la FAO, cree en el papel fundamental que juega la pesca y la acuicultura en los países, ya que constituye un soporte para la pobreza, el fomento de la salud, disminución del hambre[2], así como la posibilidad de crecer de manera sostenible, y esto se encuentra en concordancia con los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), específicamente el objetivo 14, que tiene relación con la vida submarina y define el conservar y utilizar sosteniblemente los

océanos, los mares y los recursos marinos, para el desarrollo sostenible [3].

Dado que la acuicultura aporta beneficios al desarrollo de un país, es importante estar en constante vigilancia sobre aquellos elementos que ayuden tanto a la salud, crecimiento y calidad de las especies acuáticas, independientemente del sistema acuícola específico que se utilice, uno de ellos es el agua. Dentro de los parámetros a tomar en cuenta para verificar y mantener el nivel de calidad del agua, se tienen: potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD), temperatura (TA), entre otros [4].

En la revisión de la literatura sobre la acuicultura y la calidad del agua, se encuentran estudios que han realizado sistemas de monitoreo de la calidad de agua en tiempo real de bajo costo, implementados en la acuicultura; el detalle de estos se puede consultar en las siguientes fuentes [5],[6] y [7].

Actualmente se han realizado estudios que permiten llevar a cabo el monitoreo de la calidad del agua, en tiempo real, haciendo uso de Internet de las cosas (IoT). El ecosistema de IoT comprende objetos, comunicaciones, aplicaciones y análisis de datos, así como diversos dominios de aplicación como la industria, agricultura, logística, salud, seguridad ciudadana, monitoreo ambiental, ciudades inteligentes y educación. [8]

Los ecosistemas IoT nacen de una necesidad de facilitar la información, en la cadena de suministros de bienes de una empresa, ya que el hecho de que los objetos del mundo físico puedan conectarse a internet a través de sensores permite automatizar la recogida de datos, evitando así que la información que era introducida de manera manual por personas sufra de retrasos o posibles errores, mientras que según Ashton (considerado padre del IoT), si la información proviene directamente de los objetos, se puede realizar un seguimiento en tiempo real[9], analizar los datos en menor tiempo, generar respuestas y toma de decisiones más inmediatas, todo esto se traduce en tener ventaja de productividad, competitividad, sostenibilidad y reducción de costos.

Los IoT utilizan diversas tecnologías como: protocolos de comunicación, sensores, la nube, aplicaciones, entre otros para lograr una conexión inteligente de dispositivos físicos que conduce a una enorme mejora en eficiencia, al crecimiento de los negocios y a la calidad de vida [10].

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

Por lo tanto, la finalidad de los IoT es brindar una infraestructura que supere la barrera entre los objetos en el mundo físico y su representación en los sistemas de información. Esta integración de sensores y dispositivos en objetos cotidianos que quedan conectados a internet a través de redes alámbricas e inalámbricas ha alumbrado, como apunto Puyol Montero, un nuevo modo de interacción en el mundo físico, inspirado en la idea de ubicuidad y facilitado para el desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) y la industria electrónica. De esta manera, se crea una malla de conexiones en el planeta que establecería una suerte de “sistema nervioso mundial”, donde la aldea global alcanzará a los objetos cotidianos. [9]

Según Suciú (2022), el potencial de IoT específicamente en la acuicultura incluye “dispositivos que recopilan datos de sensores, envían información en tiempo real al usuario y pueden usarse para activar el cambio de agua, la adición de oxígeno, la dispensación de alimentos o ajustar la temperatura o ventilación” [11].

En este artículo se presenta el diseño de un prototipo de sistema de monitoreo de la calidad del agua en tiempo real, relativamente de bajo costo, usando una plataforma tecnológica de hardware y software libre, con el fin de obtener datos precisos acerca de los siguientes parámetros físico-químicos que están presentes en el agua: pH, OD y TA.

En el diseño del sistema se ha considerado la parte de hardware para realizar las lecturas de los valores de estos parámetros por medio de sensores, incluyendo el uso de una batería y un panel solar que permite el funcionamiento de forma autónoma utilizando modo sleep para ahorrar energía. También se presenta el diseño de software y el protocolo de comunicación para que los parámetros puedan ser transmitidos de forma inalámbrica a través de una red WiFi (protocolo 802.11 b/g/n) a una base de datos alojada en la nube [12], para luego ser incorporados a una interfaz web que permitirá procesar y presentar los resultados por medio de reportes gráficos a los encargados de las estaciones de supervisión y monitoreo. Es importante mencionar que las implementaciones de los diseños propuestos estarán integradas con tecnología y protocolo IoT.

## II. PROPUESTA DE DISEÑO

En la propuesta de diseño se toman en cuenta tres componentes o elementos básicos que interactúan entre sí: el hardware que es el dispositivo que controla los datos dentro del sistema, el middleware que son los softwares que permiten el intercambio y almacenamiento de información entre aplicaciones, y la herramienta web que permite una fácil visualización e interpretación de la información.

### A. Plataforma de hardware

El sistema IoT para el monitoreo de calidad del agua está compuesto por distintos dispositivos que permiten la toma de mediciones a través de los sensores de oxígeno, potencial de hidrógeno y temperatura, así como una pantalla LCD que

permite visualizar la lectura de los parámetros. Todos ellos son alimentados por una fuente de batería con panel solar incluida. En la Tabla I, se presenta un resumen de los sensores y protocolos de comunicación que han sido utilizados.

TABLA I  
TABLA RESUMEN DE ELEMENTOS DE HARDWARE

Dispositivo	Características
Fuente de alimentación: cargador solar	30000 mAh de alta capacidad con cables de entrada USB C y USB integrados, con carga rápida de 3 A.
ARDUINO MKR1000	802.11 b/g/n (Wi-Fi, WiFi, WLAN) para uso con ATSAMW25, funcionando a 5V, 8 pines de E/S digital, 4 pines de E/S digital PWM, 6 pines de entrada analógica y 1 pin de salida analógica. Memoria flash: 256 KB, SRAM de 32 KB y velocidad de reloj de 48 MHz
Sensor de Temperatura de Agua DS18B20	Voltaje: entrada de 3,0-5,5 V, rango de temperatura de -55 °C a +125 °C con una precisión de ±0,5 °C de -10 °C a +85 °C. La resolución del termómetro es programable de 9 a 12 bits
Sensor de oxígeno del agua 426-SEN0237-A	Rango de detección: 0 ~ 20 mg/L, con tiempo de respuesta completa de hasta 98% en 90 segundos (25 °C). Rango de presión: 0 ~ 50 PSI y vida útil del electrodo: 1 año. Voltaje de funcionamiento: 3,3 ~ 5,5 V con señal de salida analógica entre 0 ~ 3,0 V. Conector de Cable: BNC
Sensor de potencial de hidrógeno del agua GAOHOU PH0-14	Rango de concentración detectable: 0 ~ 14. Tensión de alimentación: 5V con corriente de trabajo 5 ~ 10 mA. La sonda del electrodo debe calibrarse con una solución amortiguadora estándar antes de cada uso
Pantalla Arduino LCD 16x2	Presentación de lectura de datos Keypad Shield de 16 x 2 caracteres (16 columnas, 2 filas) con iluminación de fondo y configuración de contraste

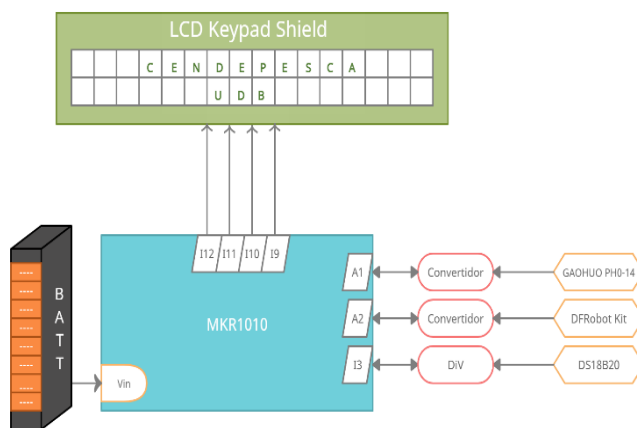


Fig. 1 Diagrama de bloques de elementos de hardware.

La base fundamental del hardware del prototipo es el microprocesador Arduino MKR1010. Con este se lograría establecer una conexión inalámbrica que, con ayuda de los sensores, se realizarán enlaces entre las variables naturales del ambiente que se convierten en variables eléctricas. Esta transición permite que estos valores eléctricos se conviertan en datos comprensibles para cualquier usuario.

Todos los sensores iniciarán su lectura al mismo tiempo, pero cada toma de datos es independiente, es decir, cada sensor está conectado en pines específicos en la tarjeta del microprocesador, con su propia programación de código fuente.

Los 3 sensores utilizados para medir temperatura, oxígeno disuelto y potencial de hidrógeno, respectivamente, enviarán la información a la nube utilizando un servidor web, permitiendo así una comunicación rápida con el usuario para que este tome las acciones necesarias, para que el agua mantenga las condiciones ideales en la crianza de tilapia. También se considera una pantalla LCD que estará instalada en el chasis mostrando la misma información enviada a la nube, en casos que falle la red inalámbrica WiFi, permitiendo en todo momento visualizar la información del sistema.

Observando la Figura 1, correspondiente al ensamble de hardware, el sensor de potencial de hidrógeno GAOHOU PH0-14 utiliza su propia tarjeta de calibración, contando con dos recortadores en la placa del circuito. El recortador de nuestro interés de calibración es el de umbral límite superior para el pin de salida digital, logrando ajustar el parámetro inicial de lectura con el kit de medición de buffer de pH. El pin conectado en el Arduino para este sensor es el pin A1. El sensor de temperatura DS18B20 es utilizado para enviar una señal digital con interfaz directa al microprocesador, utilizando una resistencia eléctrica como divisor de voltaje para evitar posibles cortocircuitos, en caso de llegar a valores mínimos y máximos del sensor. El pin utilizado para este sensor es el pin I3. El sensor 426-SEN0237-A permite medir el oxígeno disuelto en el agua y reflejar la calidad de esta. Debido a que la interfaz de la placa convertidora de señal es del tipo plug and play, la sonda galvánica utilizada no necesita calibración y permite tener disponibilidad inmediata para obtener las lecturas de oxígeno. El pin conectado en el Arduino para este sensor es el pin A2.

### B. Desarrollo de software y protocolo de comunicación

En esta propuesta de diseño se desarrollará un sistema para el monitoreo de procesos IoT, utilizando tecnologías distribuidas, lo cual implica que la información adquirida pueda provenir de diferentes lugares y, al mismo tiempo, ser procesada por servidores hosting. La arquitectura del sistema IoT está conformada por la parte lógica y la física; que, a su vez, se clasifican en cuatro capas: capa de interfaz (página web), capa de datos (base de datos), capa de acceso (protocolos de comunicación) y la capa de dispositivos que integra los sensores, ver Figura 2

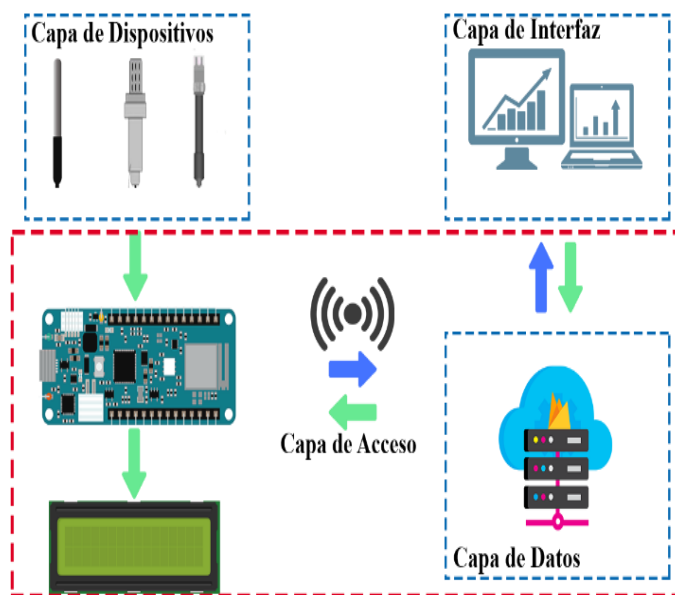


Fig. 2 Sistema de comunicación entre los diversos componentes del sistema.

Los sensores de la capa de dispositivos se encargan de enviar los valores de las medidas de los parámetros físico-químicos hacia el microprocesador, para que este último los envíe por medio de comunicación inalámbrica hacia el servidor hosting en la nube.

La capa de acceso se encarga de transmitir la información entre la capa de interfaz, capa de datos y capa de dispositivos. Es, básicamente, el conjunto de protocolos que permiten la comunicación interna entre los dispositivos del sistema y que este mantenga un funcionamiento correcto.

La capa de acceso se implementa por medio de la codificación en lenguaje C del diseño del sistema de monitoreo de la calidad del agua, a través de la Interfaz de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino, la cual lleva a cabo la toma de mediciones de los parámetros Ph, TA y OD.

Se utiliza la librería WIFININA [13], para llevar a cabo la transmisión WiFi de la lectura de los datos obtenidos de los sensores hacia la plataforma de Firebase Real Time, que se encuentra en un servidor web disponible en la nube.

El proceso de lectura/escritura de los datos tomados de los sensores a través del microprocesador, se realiza a través de dos métodos. El primero es el Setup, el cual debe realizar los siguientes pasos para ajustes de tiempos de lectura en los dispositivos, ver Figura 3.

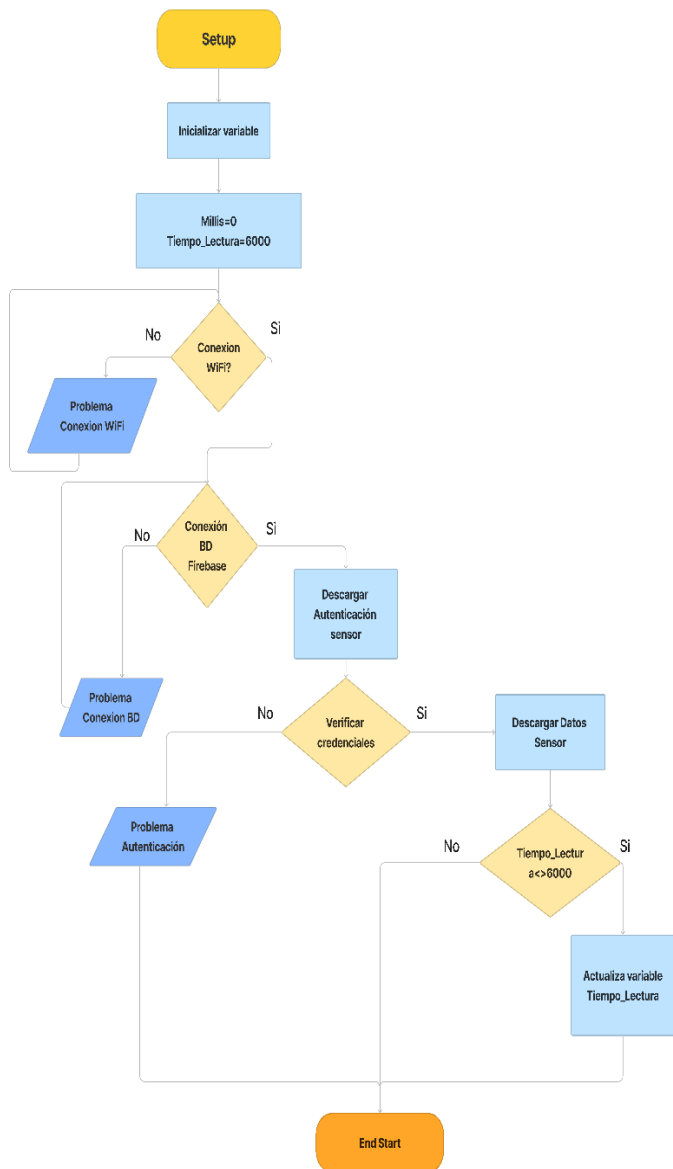


Fig. 3 Algoritmo de método de Setup, para cambio de tiempo de lectura en el microprocesador.

En el método Setup, se ejecuta al momento en que el microprocesador se enciende. Este nos permite inicializar variables para descargar las credenciales de la base de datos y del Arduino, las cuales nos ayudan en el sistema para la configuración de los intervalos de tiempos de consulta que deben de tener nuestros sensores.

Este método verifica primero la conexión a WiFi, que es una parte esencial para la extracción de las credenciales de autenticación de nuestro sensor. Si estas son válidas, se procede a realizar la descarga de datos de lectura almacenados previamente en nuestra base de datos y si la variable de tiempo almacenada en la base de datos es diferente a los 6000 ms que nosotros inicializamos en el microprocesador, este procederá a actualizarlo con el valor de tiempo, descargado desde la base de

datos. Al finalizar este proceso se ejecuta el siguiente método denominado Loop, ver Figura 4.

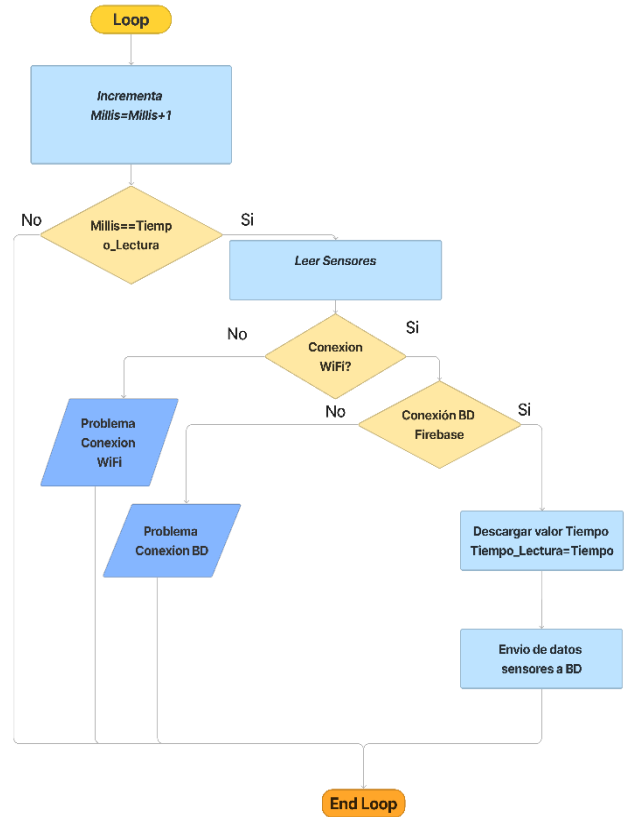


Fig. 4 Algoritmo de método de Loop para lectura de tiempo y ejecución de lectura de datos de sensores y su envío a la nube desde el microprocesador.

El método Loop se repite cíclicamente cada 1ms. Cada vez que se ejecuta, este incrementa nuestro contador de tiempo denominado Millis. Cuando esta variable coincide con el intervalo de tiempo establecido para realizar la lectura de los sensores, este realiza la lectura de valores obtenidos por los sensores, luego verifica si hay conexión a internet. Si hay conexión activa, se intenta conectar a la base de datos Firebase. Si la base de datos responde, descarga el valor de intervalo de tiempo de lectura de los sensores y envía los datos obtenidos de los sensores a la base de datos.

La capa de datos se encuentra alojada en la nube y esta se encarga de la recepción y almacenamiento de los parámetros obtenidos por los sensores de la capa de dispositivos, y enviados vía internet por la capa de acceso. Posteriormente, estos datos acceden por la capa de interfaz para generar a los usuarios del sistema informes específicos, relacionados al estado de la calidad del agua de los estanques en donde están instalados nuestros sensores.

La capa de interfaz se encarga de brindar al usuario la interacción con todo el sistema, permitiéndole consultar los registros de datos físico-químicos almacenados en tiempo real en

la base de datos. De igual manera, permite a los usuarios modificar el parámetro de intervalo de tiempo de lectura de los dispositivos, previamente registrados en el sistema. Desde esta interfaz también podemos realizar el registro de nuevos sensores a integrarse a nuestro sistema de monitoreo de calidad del agua; además brinda reportes diarios y mensuales por dispositivos individuales registrados en el sistema, según sus parámetros físico-químicos recolectados.

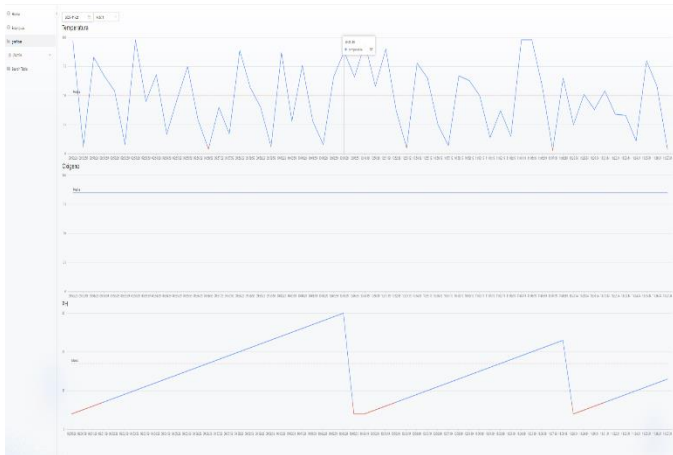


Fig. 5 presentación de reportes diarios de un dispositivo registrado.

En caso de que el microprocesador pierda conexión a internet, por alguna razón, este seguirá mostrando el último dato tomado desde la base de datos a través de pantalla, hasta lograr nuevamente conexión.

### III. IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA MONITOREO DE AGUA Y SU ENTORNO DE APLICACIÓN

En la propuesta del diseño del sistema, se definió que para la calidad del agua en donde se crían tilapias, deben estar presentes las siguientes características físico-químicas: TA, pH y OD, según los autores [15] y [16]. En la Tabla II se presentan los rangos de medidas de las condiciones ideales de la calidad del agua sugeridas para la especie tilapia.

TABLA II  
TABLA PARÁMETROS Y RANGOS

Parámetro	Rangos	
Oxígeno Disuelto (OD)	Oxígeno(ppm)	Efectos
	0.0 a 0.3	Peces pequeños sobreviven en cortos periodos
	0.3 a 2.0	Letal en exposiciones prolongadas
	3.4 a 4	Los peces sobreviven, pero crecen lentamente
	> 4.5	Rango deseable para el crecimiento de pez

Temperatura (TA)	Temperatura (°C)	Efectos
	8 a 18	no sobreviven mucho tiempo
	18 a 22	Los peces dejan de comer
	22 a 30	El rango optimo es de 28° a 32 °
PH	PH	Efectos
	6.5 a 9.0	Este es el rango optimo valores por debajo o por encima disminuyen el crecimiento y retrasan la reproducción.

Tabla resumen parámetros físico-químicos ideales en la calidad del agua para los cultivos de tilapia [14].

Estas mediciones permiten determinar el grado de acidez o alcalinidad del agua de los estanques o si esta es neutra, por ejemplo, si utilizamos el papel de PH en donde la “graduación va del 1 al 14, siendo el 1 lo más ácido y 14 lo más alcalino” [17]. Ver Figura 6.

Cuando un pH es inferior a 7 el agua es ácida y cuando el pH es superior a 7 el agua es neutra (Ulloa 2015)[18].



Fig. 6 Tubo de tiras para medir PH utilizado en las mediciones diarias de la calidad del agua en los estanques de tilapia.

Lo mismo sucede con la toma de medidas del oxígeno disuelto del agua, donde se utiliza el equipo YSI Pro20 para medir la conductividad, salinidad, conductancias específicas, sólidos disueltos y temperatura en los estanques. Ver Figura 7.



Fig. 7 Equipo utilizado para realizar mediciones manuales de oxígeno disuelto en estanques de tilapia.

Además de la utilización de los equipos se debe considerar los entornos acuícolas con referencia a los sistemas intensivos de sus estanques, que pueden ser construidos en tierra, recubiertos con geomembrana o en cemento. Su construcción va de acuerdo con el tipo y al entorno climático.

#### IV. CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS

En este trabajo se diseñó un prototipo de sistema de monitoreo para la calidad del agua en tiempo real, utilizando tecnología y protocolos IoT.

La aplicación de nuestro diseño de sistema de monitoreo de calidad de agua podría mejorarse utilizando redes neuronales e inteligencia artificial en el área de machine learning, para ir desarrollando predicciones y estimaciones con los datos con respecto al tratamiento del agua en determinados periodos del tiempo y entorno.

Nuestro diseño de sistema de monitoreo de calidad del agua desarrollado es una solución con capacidad de comunicación en red estandarizada TCP/IP, siendo una aplicación liviana y de bajo costo, con gran escalabilidad al usar sistema de almacenamiento de datos en la nube.

El diseño de nuestro sistema tiene la capacidad de conexión con otras soluciones existentes para Bussines Intelligence, con lo que las industrias acuícolas pueden expandir los servicios y prestaciones de soluciones.

#### AGRADECIMIENTOS

Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador (MAG), a través del Centro de Desarrollo de Pesca y Acuicultura (CENDEPESCA) por su asesoría y acceso a las instalaciones.

#### REFERENCIAS

[1] Visión General del sector acuícola nacional El Salvador, Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. <https://www.fao.org/common->

[pages/search/en/?q=Visi%C3%B3n%20general%20del%20sector%20acu%C3%ADcola%20nacional%20-%20El%20Salvador](https://www.fao.org/common-)

[2] Plan Nacional de desarrollo sustentable de la pesca y la acuicultura de El Salvador 2015-2030, FAQ y MAG. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/els166270.pdf>

[3] La Agenda 2030 y los objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681 -P/Rev. 3), Naciones Unidas. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf)

[4] Calidad del agua/biorremediación. BIOMIN (s.f.). <https://www.biomin.net/mx/especies/acuicultura/calidad-del-agua/-/biorremediacion/>

[5] C. Contreras, J. Molina, P. Osmá, and D. Zambrano, "Development of a system for the acquisition and remote transmission of water quality based on the Internet of Things (IoT) for aquaculture", *16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Innovation in Education and Inclusion"*, Peru, July 2018.

[6] L. Kumar, M. Jayashree, A. Abhishek, A. Abhinav, and G. Prasad, "Aquaculture Monitoring System using IoT", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 8, pp. 194-197, April 2021

[7] Y. Bertel, and F. Martínez, *Prototipo electrónico de medición y monitoreo remoto, de la calidad del agua en criaderos de Tilapia en estanques de tierra*, Cundinamarca, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2021

[8] J. Rueda. El reto del desarrollo seguro de aplicaciones IoT en un mercado acelerado. *Revista Ingenio* 18(1), pp. 54-61, 2021. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2667/3391>

[9] A. Barrio. Internet de las cosas REUS editorial 2018. [https://www.editorialreus.es/media/pdf/primeraspaginas\\_9788429020380\\_internetdelascosas.pdf](https://www.editorialreus.es/media/pdf/primeraspaginas_9788429020380_internetdelascosas.pdf)

[10] J. Paredes, and J. Rodríguez, *Monitoreo de los parámetros de temperatura y pH para evaluar su efecto en la producción de camarón blanco (Litopenaeus vannamei Boone, 1931) en San Luis La Herradura, La Paz, San Vicente, El Salvador: Universidad de El Salvador, 2020*

[11] Un proyecto de la UOC digitaliza la acuicultura sin necesidad de conocimiento técnico complejo, Universitat Oberta de Catalunya. <https://www.uoc.edu/portal/es/news/actualitat/2022/122-acuicultura-tecnologia.html>

[12] T. Hunter, and S. Porter, *Google Cloud Platform for Developers: Build highly scalable cloud solutions with the power of Google Cloud Platform*, 1<sup>ra</sup> ed., Packt Publishing, 2018, pp. 280-313.

[13] WiFinINA, ARDUINO. <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/wifinina/>

[14] K. Raju, and G. Varma, "Knowledge Based Real Time Monitoring System for Aquaculture Using IoT," *2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC)*, India, July 2017, pp. 318-321, doi: 10.1109/IACC.2017.0075.

[15] L. Chuan-Bi, Y. Kai-Cheng, and W. Ching-Chuan, *Aquaculture Monitoring System Based on Internet of Things by Mesh Wi-Fi Access*, Chaoyang, China: Chaoyang University of Technology Institutional Repository, 2017

[16] Indicadores de Producción – Parámetros Físicos y Químicos del agua para Tilapias, Piscicultura Global. <https://www.pisciculturaglobal.com/indicadores-de-produccion-parametros-fisicos-y-quimicos-del-agua-para-tilapias/>

[17] Papel PH, Materiales de Laboratorio. <https://materialeslaboratorio.com/papel-ph/>

[18] M. López. Internet de las cosas. Rama editorial 2019. <https://www.digitaliapublishing.com/viewpub/?id=110136>