

**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2024,  
Volumen 8, Número 2.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i2](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2)

## **MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN CRIADEROS DE TILAPIAS MEDIANTE TECNOLOGÍAS LPWAN Y VPS**

**WATER QUALITY MONITORING FOR TILAPIA PONDS  
USING LPWAN AND VPS TECHNOLOGIES**

**Luis Enrique Cardozo Ramirez**  
Universidad Privada del Valle, Bolivia

**Eynar Calle Viles**  
Universidad Privada del Valle, Bolivia

**Remmy Fuentes Telleria**  
Universidad Privada del Valle, Bolivia

**Edgar Roberto Ramos Silvestre**  
Universidad Privada del Valle, Bolivia

**David Fabian Tavera Gutierrez**  
Universidad Privada del Valle, Bolivia

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i2.10975](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10975)

## Monitoreo de la Calidad del Agua en Criaderos de Tilapias Mediante Tecnologías Lpwan y VPS

**Luis Enrique Cardozo Ramirez<sup>1</sup>**

[luisenriquecardozo1r@gmail.com](mailto:luisenriquecardozo1r@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0008-0682-5413>

Universidad Privada del Valle  
Bolivia

**Eynar Calle Viles**

[ecallevi@univalle.edu](mailto:ecallevi@univalle.edu)

<https://orcid.org/0000-0003-1477-2813>

Universidad Privada del Valle  
Bolivia

**Remmy Fuentes Telleria**

[rfuentest@univalle.edu](mailto:rfuentest@univalle.edu)

<https://orcid.org/0009-0005-8460-3902>

Universidad Privada del Valle  
Bolivia

**Edgar Roberto Ramos Silvestre**

[eramoss@univalle.edu](mailto:eramoss@univalle.edu)

<https://orcid.org/0000-0001-7583-5852>

Universidad Privada del Valle  
Bolivia

**David Fabian Tavera Gutierrez**

[tgdl009169@est.univalle.edu](mailto:tgdl009169@est.univalle.edu)

<https://orcid.org/0000-0003-0870-7425>

Universidad Privada del Valle  
Bolivia

### RESUMEN

La acuicultura cuenta con sistemas de monitoreo de calidad del agua tradicionales, que recurren al control de los parámetros fisicoquímicos de forma manual, por esta razón se desarrolló e implementó una plataforma de monitoreo automático en tiempo real, la cual permite el análisis remoto de variables fisicoquímicas en criaderos de tilapias. Este sistema utiliza sensores de temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez, que están conectados a microcontroladores encargados del procesamiento de datos y la transmisión a través de redes (LPWAN). Estos datos son transmitidos a través de modulación de radiofrecuencia LoRa, y están interconectados con un Gateway, que funciona como un enlace entre el nodo final y la infraestructura de red convencional basada en TCP/IP, para retransmitirla empleando el protocolo MQTT a un Bróker, alojado en un (VPS), de tal forma que la información se presenta mediante una interfaz de usuario basada en Web, los datos son visualizados en un dashboard, con la opción de acceder a tablas y gráficos de registro históricos de los parámetros monitoreados. Este método permite que criaderos ubicados en zonas rurales lejanas, con un acceso limitado de ancho de banda a internet, puedan contar con un sistema de monitoreo en tiempo real.

**Palabras clave:** tilapia, MQTT, LPWAN, IoT, monitoreo de variables fisicoquímicas

---

<sup>1</sup> Autor principal.

Correspondencia: [luisenriquecardozo1r@gmail.com](mailto:luisenriquecardozo1r@gmail.com)

# Water Quality Monitoring for Tilapia ponds Using LPWAN and VPS Technologies

## ABSTRACT

Aquaculture relies on traditional water quality monitoring systems, which involve manual control of physicochemical parameters. For this reason, an automated real-time monitoring platform was developed and implemented, enabling remote analysis of physicochemical variables in tilapia farms. This system employs sensors for temperature, pH, dissolved oxygen, and turbidity, connected to microcontrollers responsible for data processing and transmission via networks (LPWAN). These data are transmitted using LoRa radio frequency modulation and interconnected with a Gateway, serving as a link between the end node and conventional network infrastructure based on TCP/IP, to relay it using the MQTT protocol to a Broker hosted on a VPS. Thus, information is presented through a web-based user interface, with data visualized on a dashboard, including the option to access tables and historical graphs of monitored parameters. This method enables farms in remote rural areas with limited internet bandwidth access to real-time monitoring systems.

**Keywords:** tilapia, MQTT, IoT, LPWAN, monitoring of physicochemical variables

*Artículo recibido 15 marzo 2024*

*Aceptado para publicación: 20 abril 2024*



## **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de la acuicultura se ha convertido en uno de los sectores de mayor crecimiento a nivel mundial, siendo este método el principal proveedor de la mitad del pescado que se consume a nivel mundial según informo la FAO(2022). En Bolivia la práctica de la piscicultura tomo importancia debido a la extinción de especies nativas, el 70% de la producción acuícola es de gestión privada, principalmente por empresarios de la agricultura, el sector turístico y las comunidades japonesas y menonitas de Santa Cruz. Razón por la cual el cultivo de Tilapia tomo gran importancia debido a la extinción de especies nativas, además de sus características naturales, como su resistencia física y capacidad de nutrirse a partir de una gran gama de alimentos naturales y artificiales (Tsang, 2008). El control de calidad del agua en criaderos de Tilapia es un aspecto fundamental para garantizar condiciones óptimas de crecimiento y salud de los peces. Sin embargo, los métodos tradicionales de control de calidad del agua suelen ser realizados de forma manual, lo que limita la eficiencia y precisión del proceso.

En este contexto, el presente artículo detalla el desarrollo e implementación de una plataforma Web alojada en un servidor virtual privado (VPS), como solución para automatizar el control de calidad del agua en criaderos de tilapia con foco en los parámetros fisicoquímicos considerados clave, como temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez, aplicando comunicación inalámbrica, redes de transporte LPWAN (Low Power Wide Area Network) LoRa, el protocolo de mensajería ligera MQTT para el intercambio de datos, y el uso de servicios en la nube que brinden la capacidad para un monitoreo remoto y en tiempo real.

## **METODOLOGÍA**

Para este estudio, se implementó un enfoque de investigación mixto que combinó métodos experimentales y cuantitativos. Esta elección se fundamentó en el requerimiento de obtener datos empíricos sobre las variables fisicoquímicas del agua, los cuales se recopilaron mediante el uso de sensores y dispositivos de medición especializados. El enfoque experimental permitió la adquisición directa de datos numéricos precisos, los cuales se analizaron exhaustivamente para extraer conclusiones relevantes. Además, se llevó a cabo un enfoque de investigación exploratoria, motivado por el conocimiento previo sobre las tecnologías empleadas en el estudio. Este tipo de investigación

proporcionó una comprensión preliminar que facilitó la identificación del marco conceptual necesario para abordar la temática en estudio de manera efectiva.

## **Aspectos Teóricos**

### **Tilapia**

La Tilapia es un pez de aguas tropicales que posee extraordinarias cualidades para el cultivo: crecimiento acelerado, adaptación al cautiverio y aceptar una amplia gama de alimentos; No obstante, estas cualidades naturales, esta especie también es utilizada en diversas investigaciones científicas y bioquímicas. La tilapia es una especie que se cultiva a menudo en sistemas extensivos o controlados, los cuales presentan una diversidad de situaciones y desafíos. Los principales problemas en la mayoría de los cultivos de tilapia son el reducido crecimiento y mortalidad elevada, asociadas al inadecuado manejo del criadero (Ornelas-Luna et al., 2017).

### **Parámetros fisicoquímicos del agua**

Existen factores importantes en el desarrollo de los organismos acuáticos como la calidad de agua en los estanques que varían según características físicas, químicas y biológicas. Se considera que el agua es de buena calidad si presenta las concentraciones y niveles adecuados de temperatura, oxígeno, pH, compuestos nitrogenados (amonio, nitritos y nitratos), entre otros.

- **Oxígeno Disuelto**

El oxígeno disuelto en los cuerpos de agua es un indicador importante de calidad. Especies como las tilapias toleran niveles bajos de oxígeno disuelto hasta de un 1 mg/l, pero existen niveles apropiados para la crianza de esta y otras especies, en el caso de las tilapias las concentraciones apropiadas deben ser mayores a 4 mg/ l. (Campos-Pulido, 2013).

- **PH**

El Potencial de Hidrógeno (pH). Mide la acidez y la alcalinidad del agua. Niveles bajos de pH en los estanques de peces puede causar “estrés ácido” el cual coacciona una alteración en la respiración branquial de los peces y conlleva otros efectos de salud. Un pH de 4 y 11 son valores extremos que causarían la muerte de los peces, los valores están en el intervalo óptimo (6.7 a 8.4) para el cultivo de tilapia, con un promedio de 7,5 para favorecer el desarrollo de la productividad del estanque (Delgado, 2021).

- **Temperatura**

La temperatura oscila entre 28 °C y 32 °C., cuando disminuye a los 15 °C los peces dejan de comer y cuando desciende a menos de 12 °C no sobreviven por mucho tiempo. Cuando se presentan cambios repentinos con un intervalo brusco de 5 °C en la temperatura del agua, el pez se estresa y se ha observado que algunas veces muere. Cuando la temperatura es mayor a 30 °C los peces consumen más oxígeno. Las temperaturas letales se ubican entre los 10-11 °C (Coreas-Madrid et al., 2022).

- **Turbidez**

La turbidez del agua, indica la cantidad de partículas suspendidas presentes. Estas partículas pueden incluir sedimentos, microorganismos y otros contaminantes. Según las directrices de calidad del agua establecidas por Romero (1999), el rango óptimo se establece entre 25 y 35cm de visibilidad, es fundamental realizar una conversión a Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) para una evaluación precisa, las cuales representan la concentración de partículas suspendidas en el agua y sirven como medida estándar de turbidez.

### **Redes LPWAN**

Low Power Wide Area Networks (Redes de Baja Potencia y Área Extensa) son redes de comunicación inalámbrica que cumplen principalmente con las especificaciones de bajo consumo de energía, largo alcance y baja tasa de datos. (Carrasco, 2020). LPWAN proporciona comunicación de largo alcance de 10 a 40 km en zonas rurales y de 1 a 5 km en zonas urbanas. (Centenaro, 2016). Estas distancias se logran gracias a las frecuencias de radioenlace que utilizan y las modulaciones para la transmisión de la información. En el caso de la frecuencia, se suelen utilizar bandas de frecuencia por debajo de 1 GHz, ya que ofrecen una comunicación robusta y confiable sin una gran exigencia en potencia. Una menor frecuencia tiene menor atenuación y desvanecimiento por trayectorias múltiples ante obstáculos en la ciudad u otros espacios (fenómeno conocido como fading). A su vez, son frecuencias en el espectro menos congestionado ya que llegando a 2.4 GHz, el espectro es ocupado por tecnologías inalámbricas abiertas y convencionales: Bluetooth, Wifi, ZigBee u otros. Carrasco Galdame (2020).

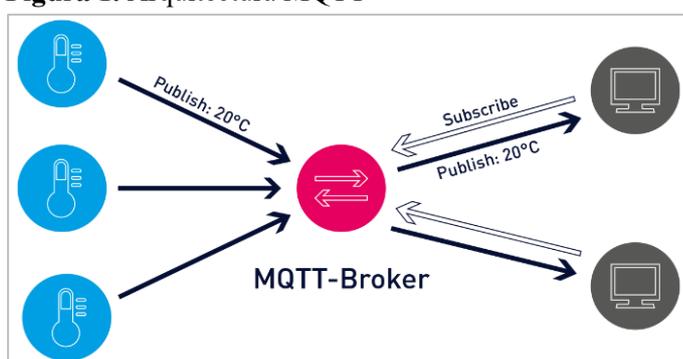
## LoRa

LoRa (acrónimo de Long Range) es una tecnología LPWAN que se basa en una modulación de espectro ensanchado (CSS) que permite una comunicación de larga distancia. LoRa utiliza una frecuencia de trabajo que puede variar entre 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz, y permite una transmisión de datos a una velocidad de hasta 50 kbps. Esta técnica de modulación de espectro extendido, o espectro ensanchado (CSS) permite la comunicación de datos a larga distancia utilizando muy poca energía, es eficiente, flexible y económica lo cual la convierte en una solución a los problemas del mundo real en casos de uso rural y en interiores, donde las redes celulares, Wifi y Bluetooth Low Energy (BLE) son ineficaces.

## Protocolo de comunicación MQTT

Según el sitio oficial MQTT.ORG (2022) donde se encuentra la documentación y recursos asociados, MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es un protocolo de mensajería estándar desarrollado por OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards). Es utilizado como transporte de mensajes bajo el modelo publicación/suscripción, extremadamente ligero, ideal para conectar dispositivos remotos con un espacio de código pequeño y un ancho de banda de red mínimo. En 2019, OASIS lanzó la versión 5 de MQTT actualizada. Ahora MQTT ya no es un acrónimo, sino que se considera el nombre oficial del protocolo. MQTT significa Transporte de telemetría de mensajes en cola. La arquitectura de MQTT se basa en un modelo de publicación/suscripción. Como se muestra en la Figura 1. Los dispositivos se dividen en publicadores (que envían mensajes) y suscriptores (que reciben mensajes). Un Bróker actúa como intermediario entre ellos, enrutando los mensajes. MQTT es eficiente y ligero, ideal para dispositivos con recursos limitados en redes IoT.

**Figura 1.** Arquitectura MQTT



Fuente: Paessler. (2022)

## Procedimiento

Se detallan los pasos seguidos para la implementación de la plataforma de monitoreo de las variables físicoquímicas del agua. Se abordan aspectos cruciales relacionados con la configuración de dispositivos, la implementación de la red LoRa y las pruebas realizadas para validar el funcionamiento del sistema.

## Recipiente de muestras

En el diseño de la estructura del recipiente de muestras, se evaluaron diversos aspectos como los materiales a emplear, la disposición, las conexiones con los tanques de tilapias y los sensores. Se optó por la impresión 3D como la solución más adecuada, dada su capacidad de adaptación y versatilidad en el diseño. En particular, se seleccionó el filamento TPU para la impresión 3D, dado que sus características como su flexibilidad, resistencia a los productos químicos, y al ser un material gomoso permite la retención de líquidos, se ajustan de manera óptima a los requisitos necesarios para la construcción del recipiente de muestras de agua. Se realizó la impresión con las dimensiones que se especifican en la Tabla 1.

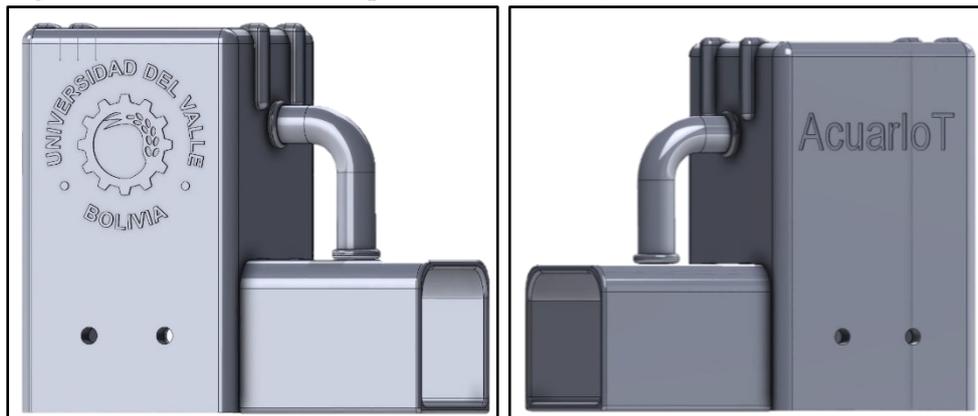
**Tabla 1.** Especificaciones métricas para la construcción del recipiente de muestras

Altura total	30 cm
Ancho total	18 cm
Profundidad	28 cm
Ancho interno	16 cm
Redondeo	Ø 1 cm
Diámetro orificio tubería	Ø 1 cm
Volumen de agua	250 ml
Altura conexión cableado	12 cm

Fuente Elaboración Propia, 2023

La pieza central en la que se recolectaran las muestras provenientes de los tanques de tilapias incluye en su interior un espacio destinando a la retención de líquido que será obtenido de los tanques de tilapias y transportado a este mediante tuberías las cuales cuentan con aperturas en los lateres de la pieza, así como también se cuenta una apertura extra en la parte inferior, para el desecho de las muestras hacia un tanque externo.

**Figura 2.** Vista isométrica recipiente diseño (CAD)



Fuente: Elaboración Propia, 2023

### Configuración LoRa

La tecnología LoRa facilitó la comunicación entre el nodo final y el Gateway LoRa, siendo necesario configurar los parámetros de transmisión y recepción para asegurar una conexión exitosa y segura. La frecuencia de funcionamiento, se estableció en 915MHz lo cual cumple con la normativa de radio vigente para América Latina. La potencia de transmisión se expresa en decibelios milivatio (dBm) y determina la energía de radiofrecuencia utilizada. El ancho de banda indica la cantidad de ancho de banda utilizado para enviar señales de radiofrecuencia, con opciones de configuración de 125KHz, 250KHz y 500KHz. El factor de propagación (SF), que varía de SF7 a SF12, determina la cantidad de difusión utilizada para transmitir la señal. Un SF bajo aumenta la capacidad del receptor para demodular el mensaje, mientras que un SF más alto aumenta el alcance de la transmisión a costa de la cantidad de datos transmitidos. Este factor afecta la velocidad de transmisión de datos y el alcance de la señal. Las configuraciones que se aplicaron se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Parámetros LoRa

Parámetro	Valor
Frecuencia (Hz)	915900000
Factor de dispersión	SF8
Coding Rate (CR)	4/5
Preamble Length	8
RF. Power (dBm)	20
RF-Bandwidth (Hz)	125 KHz
LORa Syc Word	52

Fuente Elaboración Propia, 2023

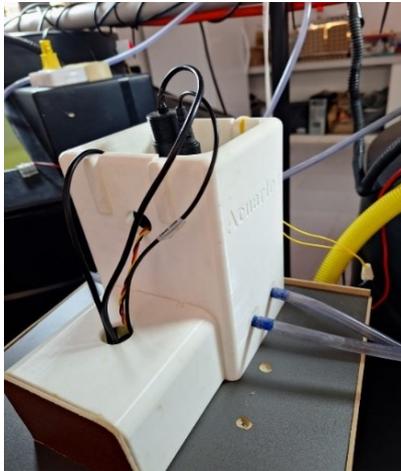
## Nodo Final

El nodo final, también conocido como dispositivo final, constituye un elemento fundamental en la arquitectura de una red LoRa encargado de recopilar y transmitir datos de manera inalámbrica. Una vez que el nodo final recopila los datos pertinentes, los transmite utilizando la tecnología LoRa hacia el Gateway el cual actúa como punto de acceso a la red, recibiendo los datos del nodo final y retransmitiéndolos a través de una conexión de red convencional o Internet, hacia el servidor o Bróker. El diseño del dispositivo final según la Figura 3. Incorpora un módulo de transmisión LoRa, una placa de desarrollo, Sensores, bombas de agua y fuente de alimentación.

- Módulo de Transmisión T-Deer Pro Mini LoRa, es un dispositivo compacto y de bajo consumo está equipado con un módulo LoRa de 915MHz, lo que le permite establecer conexiones de largo alcance con otros dispositivos LoRa, Gateway y servidores de red. Integra una variedad de componentes, cuenta con una unidad de procesamiento (microcontrolador) que permite la ejecución de lógica de aplicación y la gestión de los datos recopilados por los sensores.
- Placa de desarrollo ESP8266, se encarga de la gestión y control de las bombas de agua utilizadas para la recolección de muestras de agua en los tanques de tilapias, además de recibir los datos desde los sensores de nivel de agua. Gracias a su capacidad de conexión WiFi, el ESP8266 puede recibir comandos de control remoto a través de la red, lo que permite activar o desactivar las bombas según sea necesario.
- Sensor de temperatura ds18b20, usa un protocolo especial llamado 1-Wire que proporciona mediciones de temperatura en grados Celsius de 9 a 12 bits y dispone de una función de alarma con puntos de activación superior e inferior programables por el usuario.
- Sensor de pH SEN0169-v2, utiliza electrodos industriales, tiene una entrada de voltaje amplio de 3,3 V a 5,5 V y la señal de salida filtrada por hardware.
- Sensor oxígeno disuelto SEN0237, con placa de adecuación de señal plug-and-play, funciona de 3,3 a 5 V con una sonda galvánica, no necesita tiempo de polarización. La solución de llenado y la tapa de la membrana son reemplazables, bajo costo de mantenimiento.
- Sensor de turbidez del agua SEN0189, detecta la calidad del agua midiendo los niveles de turbidez u opacidad. Este dispositivo utiliza luz para detectar partículas suspendidas en el agua midiendo la

transmisión de luz y la tasa de dispersión, la cual cambia con la cantidad de sólidos suspendidos totales (TSS) en el agua.

**Figura 3.** Vista Nodo Final

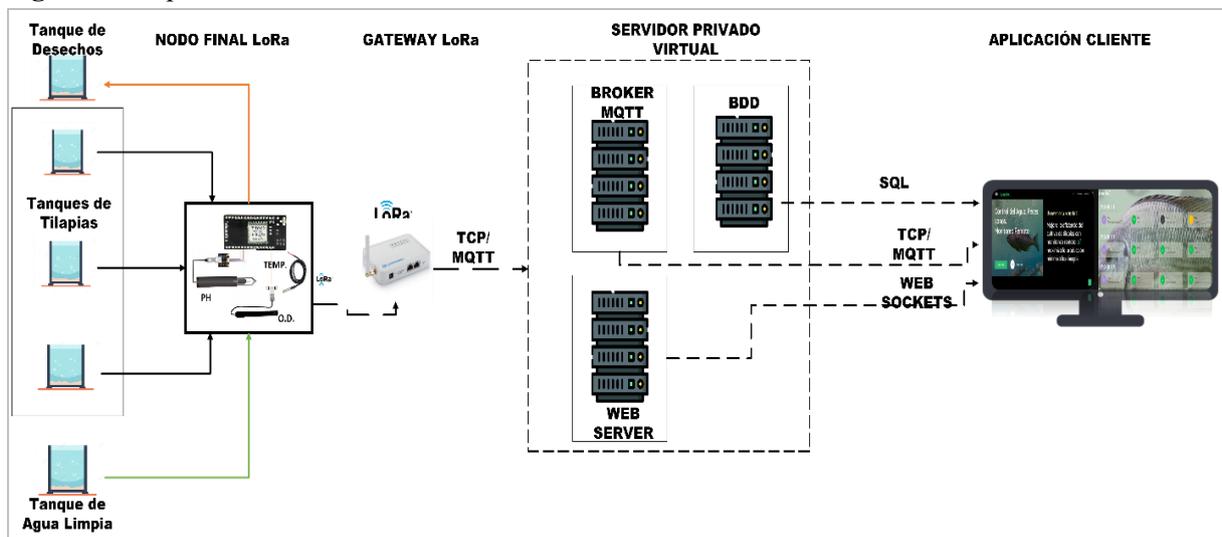


Fuente: Archivo Fotográfico Persona, 2023

### Arquitectura de Red

Teniendo en cuenta las tecnologías y protocolos descritos, se diseñó la arquitectura de red tomando en cuenta un servidor privado, debido a las ventajas significativas que proporcionan, como ser un mayor control sobre los datos y evitar la dependencia de servicios de terceros en la nube, básicamente consiste en conectar directamente el Gateway LoRa con el servidor Bróker MQTT, este último se instaló en un servidor privado virtual(VPS), esta configuración garantiza una red completamente privada y segura, con una transmisión de datos hacia la plataforma web lo más directa posible. En la Figura 4. Se muestra el esquema funcional para la arquitectura que se empleó en el desarrollo del proyecto.

**Figura 4.** Arquitectura de Red.



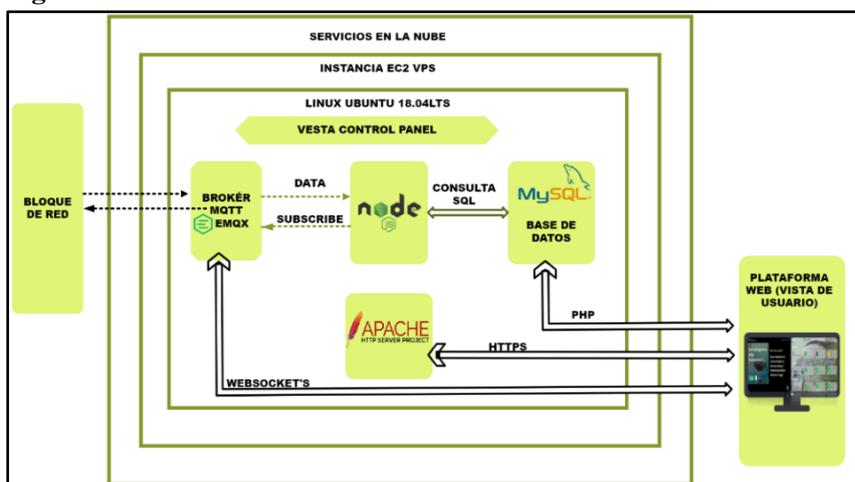
Fuente: Elaboración Propia, 2023

Esta etapa contemplo el desarrollo de los bloques de comunicación, red de acceso, red de transporte, aplicando los protocolos de comunicación, tiene la función de ser el puente entre los nodos finales LoRa con el Bróker MQTT el cual se encuentra alojado en un servidor privado virtual de Amazon Web Services. Esta etapa es crucial en el desarrollo del proyecto debido a que los datos que se obtienen de los dispositivos finales LoRa pasaran necesariamente por esta etapa para realizar un proceso de reconversión de protocolos para su posterior envío a la etapa de servicios y lograr la visualización por parte del usuario final.

### Diseño Cloud

Esta fase hace referencia al diseño de servicios en la nube, la planificación y los procedimientos para implementar los servicios basados en la nube. Comprende la estructura, componentes, interacciones y políticas de la aplicación o servicio que se ejecutan en un entorno de nube. Se enfoca especialmente en el diseño del servidor privado virtual, su dimensionamiento y componentes, incluyendo herramientas como Vesta PC, servicios Node.JS y las tecnologías mencionadas anteriormente. Contar con un VPS permitió la instalación de servicios de bases de datos mediante el motor MySQL, un Bróker bajo la plataforma de mensajería MQTT de código abierto y escalable EMQX, el frontend basado en tecnologías y programación web para la visualización del dashboard y el backend para el procesamiento y almacenamiento de los datos recibidos. El servidor virtual privado proporcionó un entorno de trabajo aislado y permitió un control preciso sobre el rendimiento del servidor. En la Figura 5 se observa a modo de diagrama de servicios, las capas de tecnologías implementadas para el proyecto.

**Figura 5.** Diseño Cloud



Fuente: Elaboración Propia, 2023

## Dimensionamiento del VPS

Se requirió la implementación de un servidor virtual privado alojado en una plataforma que ofrece servicio de cloud computing, como AWS. Un servidor virtual privado proporciona un entorno de alojamiento robusto, seguro y flexible que es fundamental para garantizar el funcionamiento óptimo y seguridad del proyecto. El dimensionamiento del VPS, toma en cuenta los atributos, capacidades y compatibilidad de servicios, características que definen y distinguen al servidor virtual que se empleó en el proyecto, garantizando eficiencia, rendimiento, escalabilidad, seguridad y flexibilidad. La Tabla 3 presenta las tecnologías y Servicios Cloud que se emplearon.

**Tabla 3.** Tecnologías y Servicios Cloud

Tecnología o Servicio	Nombre
Instancia	T2 micro
Tecnología de virtualización	HVM
Arquitectura	64 bits (x86)
Sistema operativo	Linux Ubuntu 18.04LTS
Servicio WEB	Apache
Servicio BDD	MySQL
Lenguajes de lado del servidor	PHP, JavaScript
Nombre de dominio	GoDaddy
Bróker MQTT	EMQX
Transferencia de Archivos	FTP

Fuente: Elaboración Propia, 2023

Para el desarrollo del proyecto se hizo uso de los puertos TCP para lograr la comunicación y el intercambio de datos entre diferentes dispositivos y servicios en una red como se detallan en la Tabla 4

**Tabla 4.** Descripción de puertos

Puerto	Servicio	Descripción
11883	EMQX	Protocolo MQTT / TCP.
80	WEB	HTTP para la comunicación WEB
18083	EMQX	Acceso al Dashboard WEB de EMQX.
443	HTTPS	Navegación WEB protocolo HTTPS.
8090	HTTP	EMQX lo utiliza para el protocolo HTTP.
8083	VESTA	Panel de administración de Vesta CP.
8883	MQTT	Protocolo MQTT sobre SSL.
21	FTP	Protocolo FTP.

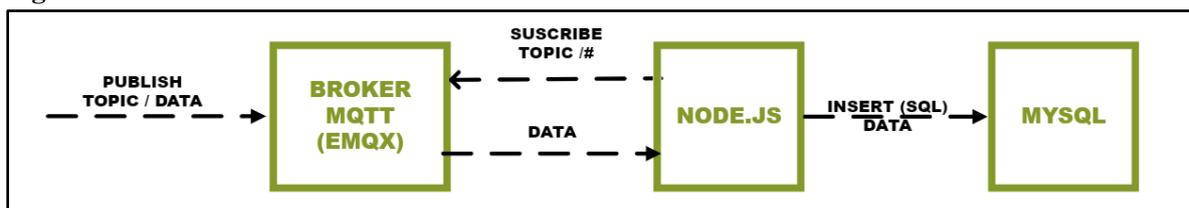
12000-12100	FTP	FTP pasivo.
1883	MQTT	MQTT / TCP comunicación sin cifrado.
8093	MQTT	MQTT sobre WebSocket's.
8094	MQTT	MQTT sobre WebSocket's Seguro.
3306	MySQL	MySQL base de datos.

Fuente: Elaboración Propia, 2023

### Bases de datos en tiempo real

El servicio de Node.js es el encargado de facilitar la comunicación entre el Bróker EMQX y la base de datos MySQL, además de proporcionar una interfaz de programación de aplicaciones (API) para acceder y manipular los datos almacenados. Node.js al ser un entorno de ejecución de JavaScript con naturaleza asíncrona y basada en eventos permite implementar controladores y rutas para recibir los datos enviados por EMQX, procesarlos y almacenarlos en MySQL de manera eficiente y escalable, lo cual permite la suscripción a un tópic establecido en el Bróker MQTT, como se observa en la Figura 6

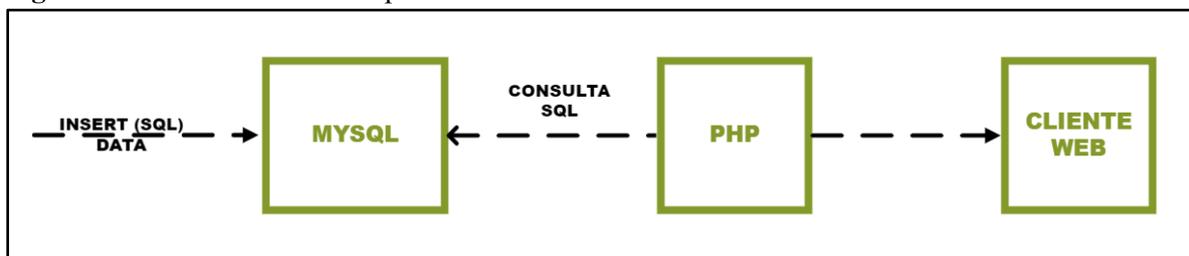
**Figura 6.** Servicios de almacenamiento de datos.



Fuente: Elaboración Propia, 2023

Para lograr la visualización de la información de MySQL en una aplicación WEB se requiere de procedimientos escritos en lenguaje PHP y ejecutados en el lado del servidor, como se muestra en la figura 7.

**Figura 7.** Información de BDD para visualización



Fuente: Elaboración Propia, 2023

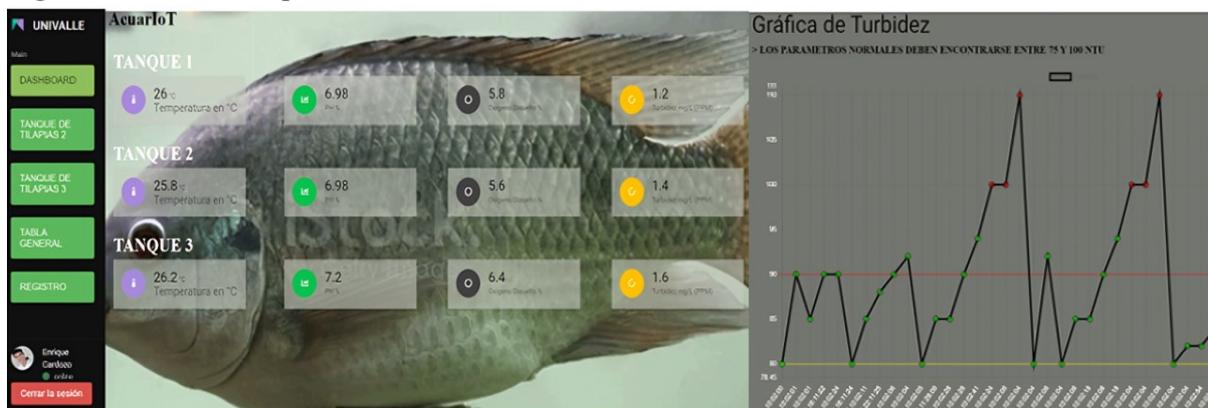
### Interfaz de usuario

El desarrollo de la página Web comprende dos componentes fundamentales: Backend y Frontend. El Backend opera en el lado del servidor y es responsable de la lógica de negocio, el manejo de datos y la

interacción con las bases de datos. Por otro lado, el Frontend se ejecuta en el navegador del cliente y se encarga de presentar la interfaz y facilitar la interacción con el usuario final.

La página principal, accesible mediante un dominio Web, es la vista por defecto que el usuario encuentra al ingresar al sitio mediante un navegador Web. Esta página presenta información sobre los servicios ofrecidos por el proyecto. Posteriormente, al iniciar sesión, el usuario accede al Dashboard como se observa en la Figura 8. Esta sección muestra una representación visual de los datos en forma de panel o pantalla, proporcionando una vista resumida y rápida de la información relevante.

**Figura 8.** Información para visualización



Fuente: Elaboración Propia, 2023

Así como también se tiene acceso a las distintas pestañas para visualizar la información con mayor detalle.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente apartado se detallan los procesos de evaluación a través de las distintas pruebas que se realizaron, para verificar el correcto funcionamiento de la implementación de los servicios y tecnologías empleados en el desarrollo del proyecto.

### Test de alcance y transmisión LoRa

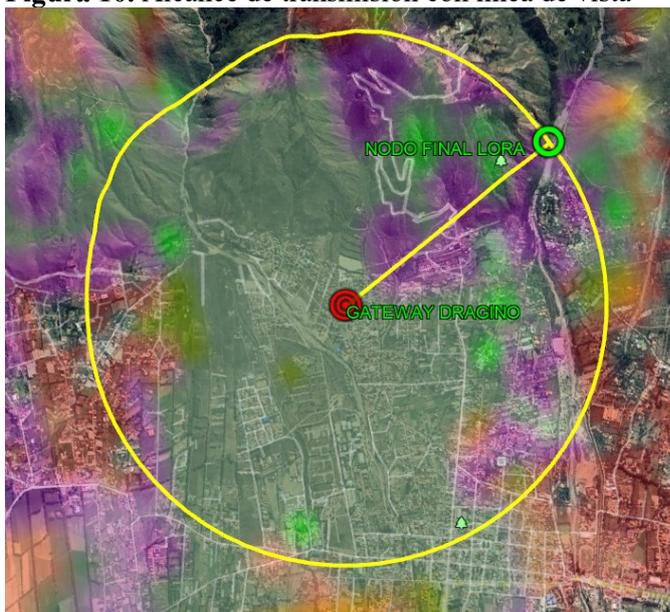
Se llevó a cabo una evaluación de alcance (distancia) en la transmisión de datos utilizando la tecnología de comunicación de larga distancia de bajo consumo (LoRa), para lo cual se realizaron pruebas en un entorno controlado, con línea de vista y sin línea de vista entre el transmisor y receptor. Se hizo uso de un microcontrolador equipado con módulos transceptores, antenas LoRa, para este caso se empleó un TTGO LoRa Promini, el cual se configuró para operar en la banda de frecuencia autorizada. Siendo este módulo el que actúa como Transmisor, del lado del receptor se utilizó un Gateway DRAGINO, mismo

que actúa como nodo central y traductor de protocolos, adecuara las señales provenientes de la red LoRa a una WAN que para nuestro caso, Internet . El objetivo principal de la prueba fue determinar la distancia máxima a la que los dispositivos LoRa pueden comunicarse de manera confiable y evaluar la influencia de factores ambientales y de interferencia en la calidad de la señal, los resultados se analizaron estadísticamente para determinar el alcance medio máximo de transmisión y evaluar la influencia de obstáculos, interferencia y atenuación de la señal.

### Test con línea de vista (LoS)

Se estableció como entorno de pruebas un área abierta con poca vegetación, y con la menor cantidad de obstáculos y reflexiones de señal. Se estableció una estación base y un nodo sensor a distancias variables. Para lo cual se realizaron múltiples pruebas de transmisión de datos a diferentes distancias, registrando la efectividad de la comunicación, tasa de errores y consumo de energía.

**Figura 10.** Alcance de transmisión con línea de vista



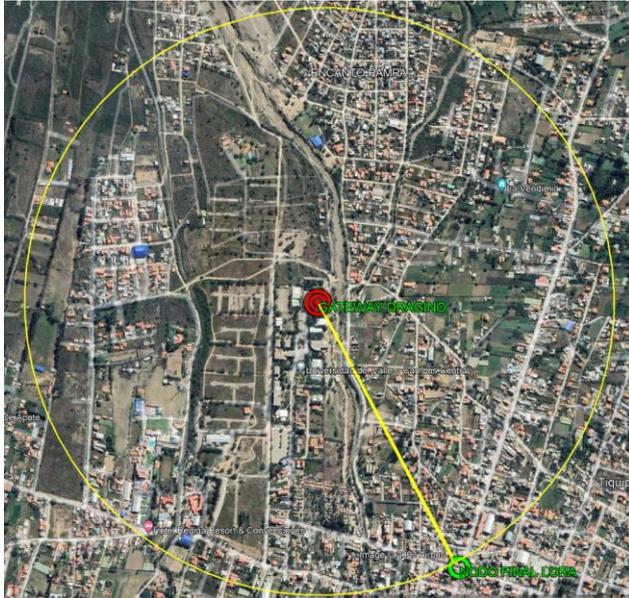
Fuente: Elaboración Propia, 2023

Los resultados indicaron que, en el entorno de pruebas planteado, la tecnología LoRa fue capaz de alcanzar distancias de hasta [1.6] kilómetros con una tasa de error baja. Se observó una atenuación baja de la señal debido a la falta de obstáculos como edificios o vegetación densa, lo cual tuvo un impacto significativo en el alcance. Además, se identificaron diferencias en el rendimiento en función de la interferencia electromagnética presente en la banda de frecuencia.

## Test sin línea de vista (NLoS)

Se estableció como entorno de pruebas un área urbana abierta con vegetación densa, con obstáculos y reflexiones de señal. Se estableció una estación base y un nodo sensor a distancias variables. Para lo cual se realizaron múltiples pruebas de transmisión de datos a diferentes distancias, registrando el éxito de la comunicación, la tasa de errores y el consumo de energía.

**Figura 9.** Alcance de transmisión sin línea de vista.



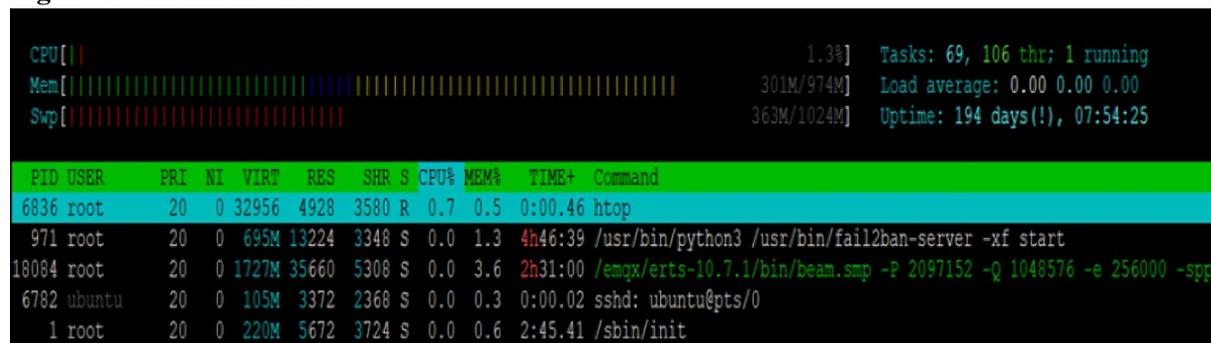
Fuente: Elaboración Propia, 2023

Los resultados indicaron que en el entorno de pruebas planteado, la tecnología LoRa fue capaz de alcanzar distancias de hasta [0.9] kilómetros con una tasa de error baja. Se observó que la atenuación de la señal debido a obstáculos como edificios o vegetación densa tuvo un impacto significativo en el alcance. Además, se identificaron diferencias en el rendimiento en función de la interferencia electromagnética presente en la banda de frecuencia.

## Funcionamiento de VPS

Se realizó el test de funcionalidad del VPS (Servidor privado virtual ) para garantizar que los servicios se encuentran en un estado óptimo y puedan satisfacer las necesidades de los usuarios finales. Para lo cual se verificaron los recursos asignados al VPS, como porcentaje de uso de CPU, cantidad de RAM y espacio en disco que este utiliza, como se muestra en la Figura 11. Verificando que estos recursos sean suficientes para las aplicaciones que se ejecutan en el VPS.

**Figura 11.** Recursos VPS.



Fuente: Elaboración Propia, 2023

## DISCUSIÓN, DESARROLLO Y ANÁLISIS

Sé presenta el análisis que se realizó en base a los resultados obtenidos a partir de la implementación del sistema de monitoreo remoto de las variables fisicoquímicas del agua en los criaderos de tilapia.

### Comunicación inalámbrica y transmisión de datos

Se estableció una comunicación inalámbrica de baja potencia y largo alcance entre el sistema de monitoreo y el Gateway. Lo cual permitió la transmisión de los datos recopilados por los sensores de manera eficiente y confiable. La tecnología LoRa demostró ser adecuada para este propósito, garantizando una conexión estable y una cobertura suficiente para los criaderos de tilapia.

### Ajuste de precisión y eficiencia de sensores

Se realizó la contraposición de sensores pH y oxígeno disuelto, lo cual fue un proceso esencial que garantizó la precisión y fiabilidad de las mediciones. En este contexto, los sensores de temperatura y turbidez tienden a mantener una estabilidad inherente, por lo que no requieren que las lecturas sean contrapuestas. Para el procedimiento se siguió un protocolo que incluye la preparación de soluciones que sirven como patrón de referencia, el ajuste de los sensores para asegurar mediciones precisas. Se utilizaron soluciones de pH conocido y soluciones saturadas de oxígeno para establecer puntos de referencia confiables. La eficiencia de los sensores, en términos de su capacidad para proporcionar mediciones precisas y consistentes, se evaluó mediante la comparación de las mediciones de referencia en el registro histórico del monitoreo, tomados de forma manual, gracias a ello se comprobó que los valores obtenidos con el prototipo muestran una tendencia coherente con los registros históricos, lo que confirma el correcto funcionamiento del sistema.

El análisis realizado sugiere que la implementación de un sistema de monitoreo remoto de variables fisicoquímicas del agua en criaderos de tilapia es viable desde el punto de vista técnico, funcional y económico. La combinación de tecnologías adecuadas, una interfaz de usuario intuitiva y mediciones precisas respaldadas por la calibración adecuada de sensores, sugieren un alto potencial para mejorar la eficiencia y calidad de la gestión de criaderos de tilapia mediante este sistema. Sin embargo, se recomienda llevar a cabo estudios adicionales para evaluar aspectos económicos y ambientales que puedan influir en la viabilidad general del proyecto.

## CONCLUSIONES

La implementación del sistema de monitoreo remoto de variables fisicoquímicas del agua en los criaderos de tilapia ha demostrado ser una herramienta valiosa para mejorar la gestión de estos sistemas acuícolas. La combinación de tecnologías avanzadas, una interfaz de usuario intuitiva y mediciones precisas respaldadas por una calibración meticulosa de los sensores, ofrece un enfoque integral y efectivo para el monitoreo y la gestión de la calidad del agua en los criaderos de tilapia. Las conclusiones derivadas del análisis y la implementación del sistema de monitoreo remoto de las variables fisicoquímicas del agua en los criaderos de tilapia destacan varios puntos.

Se logró contraponer sensores de parámetros fisicoquímicos y se implementó un sistema de comunicación inalámbrica de baja potencia y largo alcance entre el sistema de monitoreo y el Gateway, la exitosa conexión entre nodos sensores y un Gateway utilizando modulación de radiofrecuencia LoRa (Long Range) implicó una serie de pasos técnicos, estudio profundo de la tecnología y consideraciones particulares, como la correcta configuración de los parámetros de transmisión, para lo cual los nodos sensores y el Gateway deben utilizar la misma configuración de modulación, que incluye la elección de frecuencia, ancho de banda (BW), factor de dispersión (SF) y potencia de transmisión, igualmente la ubicación estratégica del Gateway es fundamental para maximizar el alcance de la red, así como la correcta configuración de este, que permite comunicar el nodo final con el bróker EMQx.

La integración del protocolo MQTT con el bróker EMQX para lograr la transmisión de datos entre el Gateway LoRa y el VPS ofrece una solución robusta y escalable. La implementación del bróker EMQX como intermediario entre el transmisor LoRa y el servidor VPS demostró ser una elección acertada gracias a su capacidad de clustering y distribución de carga. Mientras que MQTT como protocolo de

comunicación resalto por su capacidad para gestionar la comunicación y permitir una transferencia eficiente de datos entre el Gateway LoRa y el servidor VPS. El diseño liviano y el enfoque basado en publicación/suscripción de MQTT resultan ideales para la optimización del ancho de banda y una latencia mínima.

El protocolo de modulación LoRa demostró ser altamente eficiente para transmitir datos a distancias significativas, incluso en entornos con obstáculos físicos y condiciones adversas. El diseño de modulación de espectro ensanchado de LoRa permitió tener un alcance superior a redes convencionales, lo que es esencial para aplicaciones que pueden requerir comunicación a través de edificios, vegetación densa o áreas rurales. La implementación del Gateway en una ubicación mas alta al nivel del suelo (3ra planta de un edificio) ha demostrado ser efectiva para expandir el alcance de la red.

La implementación efectiva de un Servidor Privado Virtual (VPS) en Amazon Web Services (AWS) requirió una planificación meticulosa, desde la elección de instancias y sistemas operativos hasta la configuración de interfaces de red, seguridad y soluciones de monitoreo, seleccionando el núcleo de la infraestructura, una instancia EC2 (Elastic Compute Cloud) de capa gratuita, permitió alojar los servicios web necesarios como Apache Web server, MySQL, Node JS, Vesta CP y el Broker EMQx, que demostraron celeridad y estabilidad en el alojamiento del sitio Web. La implementación de una página WEB implicó la gestión de nombres de dominio, el uso de HTML, CSS y JavaScript para la estructura, diseño y creación de las interfaces de usuario final o Frontend. Lenguajes de programación del lado del servidor como PHP, Node.js para la funcionalidad dinámica del Backend.

El desarrollo de una plataforma de monitoreo en tiempo real de variables de calidad del agua en criaderos de tilapias aplicando tecnologías LPWAN y servicios en la nube, una vez culminado y en base a los resultados que se obtuvieron en la etapa de pruebas, son una solución eficiente y automatizada para aportar en la gestión y mejora de la eficiencia de los cultivos de tilapia. Se evidencia la viabilidad de utilizar tecnologías emergentes de bajo costo, como sensores, microcontroladores y comunicación inalámbrica, para implementar un sistema tecnológico y contribuir a mejorar la producción de tilapia y garantizar un ambiente óptimo para su crecimiento, logrando adecuarse a aplicaciones de piscicultura y acuaponía particularmente en regiones con significativas capacidades de producción y con limitaciones de ancho de banda en conexiones a la red de Internet. Lo cual demuestra que esta es una

solución robusta y eficiente a situaciones en la que se requiera el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua, logrando así el objetivo principal inicialmente planteado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Campos-Pulido, R. (2013). Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponía. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342013000900007&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342013000900007&script=sci_arttext)

Carrasco Galdame, E. E. (2020). Metodología para selección de tecnologías LPWAN para diversas aplicaciones de internet de las cosas. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/179720>.

CEAM. Elisa canal-beeby (2012). *Piscicultura Rural*. Centro de Estudios de la Amazonia. Piscicultura rural.

Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2016). Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications*, 23(5), 60–67. <https://doi.org/10.1109/MWC.2016.7721743>.

Coreas-Madrid, A., Gutiérrez-Salguero, J., Rodríguez-Urrutia, E., & Flores-Tensos, J. (2022).

Evaluación de diferentes densidades de siembra de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en estanques artesanales de agua dulce en San Luis Talpa, La Paz, El Salvador. *Revista Agrociencia*, 5(21), 16–23. Recuperado de

<https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/10>

Delgado Tapia, C. E., & Valencia Astudillo, W. G. (2021). Diseño e implementación de prototipo IOT para el monitoreo remoto de la calidad del agua para la crianza de tilapias en estanques [BachelorThesis]. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21427>.

FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>

LoRa Alliance. (2023). Homepage. LoRa Alliance®. Recuperado de <https://lora-alliance.org/>

Ornelas-Luna, R., Aguilar-Palomino, B., Hernández-Díaz, A., Hinojosa-Larios, J. Á. & Godínez-Siordia, D. (2017). Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta Universitaria*, 27(5), 19-25. doi: 10.15174/au.2017.1231

Paessler. (2022). ¿Qué es MQTT? Definición y detalles. Recuperado de

<https://www.paessler.com/es/it-explained/mqtt>



Romero R, JA. (1999). Calidad del agua, análisis físico, químico y microbiológico del agua, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, grupo editor alfa y omega México, 2da edición, México D. F. p 61-156.

Tsang, S., Quintanilla, M., & Aguilón, C. G. (2008). Manual sobre reproducción y cultivo de tilapia. El Salvador: Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), CENDEPESCA.

