

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**TESIS**

**Prototipo para el monitoreo remoto de calidad del agua para mejorar la seguridad alimentaria en la piscigranja Ticuy, Ferreñafe, 2024.**

**Para optar el Título Profesional de:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**AUTORES:**

**Bach. Jaramillo Ramírez, Angel Alfredo  
Bach. Gil Vasquez, Hoiler Antony**

**ASESOR:**

**Mg. Ing<sup>o</sup> Nombera Lossio Martin A.  
ORCID: 0000000324598951**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**20/05/20**

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**TESIS**

**Prototipo para el monitoreo remoto de calidad del agua para mejorar la seguridad alimentaria en la piscigranja Ticuy, Ferreñafe, 2024.**

**Para optar el Título Profesional de:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:**

---

**Dr. Ing. Franck Richar Rodríguez Chirinos**  
Presidente

---

**Mg. Ing. Lucia Isabel Chaman Cabrera**  
Secretario

---

**Mg. Ing.° Hugo Javier Chiclayo Padilla.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**TESIS**

**Prototipo para el monitoreo remoto de calidad del agua para mejorar la seguridad alimentaria en la piscigranja Ticuy, Ferreñafe, 2024.**

**Para optar el Título Profesional de:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADA POR:**

\_\_\_\_\_  
Bach. Jaramillo Ramírez, Angel Alfredo

\_\_\_\_\_  
Bach. Gil Vasquez, Hoiler Antony

**ASESOR:**

\_\_\_\_\_  
Mg. Ing° Nombera Lossio Martin A.



0080

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DECANATO

Ciudad Universitaria – Lambayeque

LICENCIADA - RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 015 -2023-SUNEDU / CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 44.-2026.-D/FACFyM

Siendo las 07:30 horas del día 20 de mayo del 2026, se reunieron los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

Prototipo para el monitoreo remoto de calidad del agua para mejorar la seguridad alimentaria en la Piscigranja TICUY Ferreñale 2024

Designados por Resolución N° 1112 - 2024 D/FACFyM de fecha 11 de noviembre de 2024

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

Dr. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos	Presidente
Dra. Ing. Lucía Isabel Chamán Cabrera	Secretario
M. Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla	Vocal

La tesis fue asesorada por (el) (la) Mg. Ing. Martín Augusto Nambere Lasso nombrado por Resolución N° 1112 - 2024 D/FACFyM de fecha 11 de noviembre de 2024

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 367 - 2026 D/FACFyM de fecha 12 de mayo de 2026

La Tesis fue presentada y sustentada por (el) (los) Bachiller (es): Jaromillo Ramírez, Angel Alfred y Gil Viquez Haider Antony y tuvo una duración de minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de diecinueve (19) en la escala vigesimal, mención (Muy buena).

Por lo que queda(n) apto(s) para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 08:35 horas se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

DR. ING. FRANK RICHARD RODRÍGUEZ CHIRINOS  
Presidente

LUCÍA ISABEL CHAMÁN CABRERA  
Secretario

HUGO JAVIER CHICLAYO PADILLA  
Vocal

Mg. Ing. Martín Augusto Nambere Lasso  
Asesor

## CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, MARTIN AUGUSTO NOMBERA LOSSIO, usuario Revisor Del Documento Titulado: **“Prototipo Para El Monitoreo Remoto De Calidad Del Agua Para Mejorar La Seguridad Alimentaria En La Piscigranja Ticuy, Ferreñafe, 2024”**. Cuyos autores (son): Bachiller en Ingeniería Electrónica Ángel Alfredo Jaramillo Ramírez y por el Bachiller en Ingeniería Electrónica Hoiler Antony Gil Vasquez, Identificado con Documento de Identidad 16688697; declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de 12 %, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 21 de abril de 2026



Mg. Ing° Martin A. Nombera Lossio

DNI: 16688697

Asesor

Se adjunta:

- Resumen de reporte automatizado de similitudes

Prototipo para el monitoreo remoto de calidad del agua para mejorar la seguridad alimentaria en la Piscigranja TICUY, Ferreñafe, 2024.

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	11%	8%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://ciencialatina.org">ciencialatina.org</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="http://repositorio.upsc.edu.pe">repositorio.upsc.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es">www.investigacion.biblioteca.uvigo.es</a> Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Bahcesehir University Trabajo del estudiante	<1%
6	<a href="http://cdn.www.gob.pe">cdn.www.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://repositorio.umsa.bo">repositorio.umsa.bo</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://revistas.unsm.edu.pe">revistas.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1%
10	"El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2022 Publicación	<1%

11 Submitted to Universidad Cesar Vallejo

MG. ING. MARTIN A. NOMBERA LOSSIO  
ASESOR

	Trabajo del estudiante	<1 %
12	fondoeditorial.unat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to UNIBA Trabajo del estudiante	<1 %
15	Submitted to University of Southern Queensland Trabajo del estudiante	<1 %
16	www.aquahoy.com Fuente de Internet	<1 %
17	www.vaisala.com Fuente de Internet	<1 %
18	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Vaal University of Technology Trabajo del estudiante	<1 %
20	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	view.genially.com Fuente de Internet	<1 %
24	www.veeam.com Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

  
 MG. ING. MARTIN A. NOMBERA LOSSIO  
 ASESOR

26	<a href="http://www.winboard.org">www.winboard.org</a> Fuente de Internet	<1 %
27	Ton Duc Thang University Publicación	<1 %
28	Submitted to Universiti Tun Hussein Onn Malaysia Trabajo del estudiante	<1 %
29	<a href="http://ik4.es">ik4.es</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://www.senado.es">www.senado.es</a> Fuente de Internet	<1 %
31	Silvia Marzal Romeu. "Concepción e integración de arquitecturas y protocolos de comunicación dentro de sistemas de supervisión y control de microrredes inteligentes", Universitat Politècnica de Valencia, 2019 Publicación	<1 %
32	Submitted to Vellore Institute of Technology Trabajo del estudiante	<1 %
33	<a href="http://www.iksadamerica.org">www.iksadamerica.org</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://qiita.com">qiita.com</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://www.solixbiosystems.com">www.solixbiosystems.com</a> Fuente de Internet	<1 %
36	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
37	Submitted to uceva Trabajo del estudiante	<1 %

  
 MG. ING. MARTIN A. NOMBERA LOSSIO  
 ASESOR

38	Submitted to The Cooperative University of Kenya Trabajo del estudiante	<1 %
39	dspace.unila.edu.br Fuente de Internet	<1 %
40	www.denodo.com Fuente de Internet	<1 %
41	Submitted to Middle East College Trabajo del estudiante	<1 %
42	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	<1 %
43	Submitted to Usuario Web Trabajo del estudiante	<1 %
44	duikt.edu.ua Fuente de Internet	<1 %
45	www.frontiersin.org Fuente de Internet	<1 %
46	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1 %
47	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
48	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
49	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
50	ri.uagro.mx Fuente de Internet	<1 %
51	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %



MG. ING. MARTIN A. NOMBERA LOSSIO  
ASESOR



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Ángel Alfredo / Hoiler Antony Jaramillo Ramírez / Vasquez Gil  
Título del ejercicio: Quick Submit  
Título de la entrega: Prototipo para el monitoreo remoto de calidad del agua para ...  
Nombre del archivo: Jaramillo\_Ramirez\_Angel\_Alfredo-Gil\_Vasquez\_Hoiler\_Antony\_1...  
Tamaño del archivo: 6.99M  
Total páginas: 113  
Total de palabras: 21,443  
Total de caracteres: 128,740  
Fecha de entrega: 20-abr-2026 11:24p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2938951977

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIDAD DE INVESTIGACION

**INFORME FINAL**

**Prototipo para el monitoreo remoto de calidad del agua para mejorar la seguridad alimentaria en la Piscigranja TICUY, Ferreñafe, 2024.**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico.**

Bachiller (1)   
F I R M A  
Jaramillo Ramirez Angel Alfredo

Bachiller (2).   
F I R M A  
Vasquez Gil Hoiler Antony

ASESOR   
F I R M A  
Mg. Ing. Nombera Lessie Martin A.

Lambayeque - Perú  
marzo 2026



MG. ING. MARTIN A. NOMBERA LOSSIO  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser mi guía, fortaleza y fuente de sabiduría durante cada etapa de mi formación profesional. Gracias por brindarme salud, perseverancia y la oportunidad de alcanzar esta importante meta en mi vida.

A mis queridos padres, Eladio Gil Acuña y Cenaida Vasquez Tapia por su amor incondicional, sacrificio, comprensión y apoyo constante. Gracias por creer en mí, por motivarme a seguir adelante en los momentos difíciles y por ser el pilar fundamental en el logro de mis objetivos.

Este trabajo es el resultado de su esfuerzo, sus enseñanzas y los valores que me inculcaron desde siempre. Con profunda gratitud y cariño, les dedico este logro que también les pertenece.

HOILER ANTONY GIL VASQUEZ

A Dios, quien me fortalece y me brinda su protección en cada etapa de mi vida, guiándome con sabiduría, fe y perseverancia para seguir adelante en mi formación personal y profesional. A mis padres, Miguel y Belermina, por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional. Gracias por ser mi mayor ejemplo de responsabilidad, sacrificio y superación, y por acompañarme en el cumplimiento de mis objetivos.

A mis padrinos, Exequiel y Haydee, por su valioso apoyo en mi crecimiento personal y profesional, por sus consejos, su cariño y por considerarme como un hijo, gesto que guardaré siempre con profunda gratitud.

A mi hermano Erick, por el respaldo brindado y por acompañarme en este importante proceso. Dedico este logro a cada una de las personas que formaron parte de este camino, quienes con su apoyo, confianza y motivación contribuyeron a la culminación de esta etapa académica.

ANGEL ALFREDO JARAMILLO RAMIREZ

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por brindarme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar satisfactoriamente esta etapa de mi formación profesional.

Asimismo, agradezco a todos mis docentes de la universidad, quienes con su dedicación, experiencia y conocimientos contribuyeron significativamente a mi crecimiento académico y profesional. Sus enseñanzas y orientación fueron fundamentales para alcanzar este importante logro.

De manera muy especial, expreso mi profunda gratitud al profesor Antonio Crisóstomo Bernal Gordillo, quien con paciencia, compromiso y vocación me brindó los conocimientos necesarios para prepararme e ingresar a la universidad. Su apoyo y confianza en mis capacidades fueron determinantes para iniciar este camino profesional y constituyen una inspiración permanente en mi desarrollo personal y académico.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra forma, me brindaron su apoyo, motivación y aliento durante el desarrollo de mi carrera universitaria y la elaboración de la presente tesis.

HOILER ANTONY GIL VASQUEZ

De manera muy especial, agradezco a mis profesores, quienes a lo largo de mi formación académica y en distintas etapas de mi vida me brindaron sus enseñanzas, conocimientos y orientación, contribuyendo significativamente a mi crecimiento personal y profesional.

Su dedicación, paciencia y compromiso fueron fundamentales para fortalecer mi aprendizaje y motivarme a seguir adelante en el cumplimiento de mis metas.

ANGEL ALFREDO JARAMILLO RAMIREZ

## INDICE DE CONTENIDO

<b>ACTA DE SUSTENTACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD</b> .....	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>xi</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>xii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xx</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>xxi</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>1</b>
<b>DISEÑO TEÓRICO</b> .....	<b>1</b>
Antecedentes.....	1
Bases teóricas .....	4
Bases conceptuales.....	15
<b>DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....	<b>20</b>
Tipo y diseño de investigación .....	20
Diseño de contrastación de hipótesis / procedimiento a seguir en la investigación .....	21
Población y muestra .....	24
Técnicas, instrumentos, equipos, materiales .....	24
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>27</b>
Resultado del pretest del sistema de transmisión inalámbrica .....	38
Mejoras técnicas implementadas .....	39
Resultados del postest del sistema de transmisión inalámbrica.....	40
Análisis de resultados por indicador.....	40
Indicador 1: Plataforma web o móvil intuitiva .....	44
Indicador 2: Herramientas de análisis de datos y generación de informes .....	50

<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>57</b>
<b>PROPUESTA.....</b>	<b>64</b>
8.1. Justificación de la propuesta .....	64
8.2. Objetivo de la propuesta.....	64
8.3. Componentes de la propuesta .....	64
8.4. Procedimiento de implementación .....	65
8.5. Uso de información para la gestión de la calidad del agua .....	66
8.6. Beneficios esperados .....	66
8.7. Material visual complementario.....	67
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>73</b>
<b>DETERMINACIÓN DE LA MEJORA DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA.....</b>	<b>74</b>
Dimensiones e indicadores de evaluación .....	74
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>82</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Parámetros físico-químico del agua de cultivo de “paiche” .....	6
<b>Tabla 2.</b> Composición general del agua de un estanque .....	7
<b>Tabla 3.</b> Herramientas, equipos y materiales .....	25
<b>Tabla 4.</b> Etapas de desarrollo del sistema electrónico de monitoreo continuo de la calidad del agua .....	28
<b>Tabla 5.</b> Parámetros de calidad de agua y sensores utilizados en el sistema de monitoreo.....	29
<b>Tabla 6.</b> Comparación entre los requerimientos de calidad de agua para Tilapia/ <i>Oreochromis spp</i> y los estándares de calidad ambiental / ECA del Decreto Supremo N° 004-2017-Minam .....	30
<b>Tabla 7.</b> Análisis general de los parámetros monitoreados .....	30
<b>Tabla 8.</b> Comparación entre los valores medidos en la piscigranja TICUY, los rangos recomendados para tilapia y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) .....	33
<b>Tabla 9</b> Relación entre los componentes del sistema de monitoreo y la evidencia de los resultados obtenidos .....	34
<b>Tabla 10.</b> Componentes tecnológicos integrados en el sistema .....	35
<b>Tabla 11.</b> Sensibilidad de los sensores en la medición de los parámetros de calidad de agua.....	36
<b>Tabla 12.</b> Resultados del pretest del sistema de transmisión inalámbrica .....	38
<b>Tabla 13.</b> Mejoras técnicas realizadas en base a resultados del pretest .....	39
<b>Tabla 14.</b> Postest de evaluación de desempeño de mejoras implementadas .....	40
<b>Tabla 15.</b> <i>Resultados del indicador: Tecnología GSM 2G (850-1900 MHZ)</i> .....	40
<b>Tabla 16.</b> Resultados del indicador: Red de comunicación MQTT .....	41
<b>Tabla 17.</b> Resultados del indicador: Protocolos de comunicación .....	41
<b>Tabla 18.</b> Resultados del indicador: Sensores de medición .....	42
<b>Tabla 19.</b> Resultados del indicador: Integridad y seguridad de los datos transmitidos .....	42

<b>Tabla 20.</b> Comparación global pretest vs postest .....	42
<b>Tabla 21.</b> Resultados del funcionamiento de la plataforma de visualización.....	49
<b>Tabla 22.</b> Resultados de las herramientas de análisis y generación de informes ....	55
<b>Tabla 23.</b> Preguntas de la encuesta para determinar la mortalidad de peces.....	74
<b>Tabla 24.</b> Pretest cálculo del índice de mortalidad de peces .....	75
<b>Tabla 25.</b> Preguntas de la encuesta para determinar el volumen de producción.....	75
<b>Tabla 26.</b> Cálculo del volumen de producción.....	75
<b>Tabla 27.</b> Preguntas de la encuesta para determinar el ICA .....	75
<b>Tabla 28.</b> Cálculo del ICA .....	76
<b>Tabla 29.</b> Preguntas de la encuesta para determinar el ingreso económico por ciclo productivo .....	76
<b>Tabla 30.</b> Cálculo del ingreso por ciclo productivo .....	76
<b>Tabla 31.</b> Preguntas de la encuesta para determinar la tasa de crecimiento .....	76
<b>Tabla 32.</b> Cálculo de la tasa de crecimiento (peso final – peso inicial) / meses de engorde .....	77
<b>Tabla 33.</b> Preguntas de la encuesta para determinar la estabilidad de la calidad físico-químico del agua .....	77
<b>Tabla 34.</b> Análisis de la estabilidad de parámetros físico - químicos.....	77

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema del proceso de transmisión de datos inalámbrica del sistema de monitoreo remoto de calidad de agua .....	37
<b>Figura 2.</b> Esquema de la plataforma para la visualización de los datos históricos y en tiempo real del sistema de monitoreo remoto de calidad de agua .....	44
<b>Figura 3.</b> Información técnica del servidor CloudAMQP .....	45
<b>Figura 4.</b> Configuración del servidor AMQP.....	46
<b>Figura 5.</b> Diseño de interfaz en Python.....	47
<b>Figura 6.</b> Interfaz gráfica de la plataforma Python en modo sin conexión.....	48
<b>Figura 7.</b> Interfaz gráfica de la plataforma Python en modo conectado .....	48
<b>Figura 8.</b> Fragmento del código fuente en Python correspondiente a la configuración del Broker en la nube CLOUDAMQP.....	50
<b>Figura 9.</b> Importación de librerías – Base de la plataforma .....	51
<b>Figura 10.</b> Configuración del servidor MQTT en la nube .....	51
<b>Figura 11.</b> Definición de tópicos MQTT (datos que se reciben) .....	52
<b>Figura 12.</b> Gestión del historial de datos.....	52
<b>Figura 13.</b> Inicialización de estructuras para datos históricos .....	53
<b>Figura 14.</b> Pruebas: Validación de precisión y tiempo de actualización.....	53
<b>Figura 15.</b> Reporte de monitoreo de calidad de agua.....	54
<b>Figura 16.</b> Exportación de reporte en excel de monitoreo de calidad de agua .....	54
<b>Figura 17.</b> Esquema del sistema de medición continua y en tiempo real de los parámetros claves de calidad de agua .....	67

<b>Figura 18.</b> Diseño de PCB en el software EasyEDA .....	68
<b>Figura 19.</b> Diagrama del circuito PCB con doble capa en el software EasyEDA.....	68
<b>Figura 20.</b> Vista frontal simulación en 3D del PCB con componentes .....	69
<b>Figura 21.</b> Vista posterior simulación en 3D del PCB .....	69
<b>Figura 22.</b> Ensamblaje del prototipo .....	70
<b>Figura 23.</b> Reporte de monitoreo de calidad de agua.....	71
<b>Figura 24.</b> Gráfica del reporte de monitoreo de calidad de agua .....	71

## RESUMEN

El presente informe tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema de transmisión de datos mediante tecnologías inalámbricas para el monitoreo remoto de la calidad del agua en la piscigranja TICUY, Ferreñafe. La calidad del agua, determinada por parámetros como temperatura, pH, turbidez y sólidos disueltos totales (TDS), es un factor crítico para la salud y productividad de especies como la tilapia y el paiche.

La metodología consistió en el desarrollo de un prototipo IoT integrado por sensores de calidad de agua, un microcontrolador ESP32 para el procesamiento de datos, un módulo GSM SIM800 para la transmisión inalámbrica a través de red celular 2G, y una plataforma web con base de datos MySQL y dashboard para la visualización remota. Se empleó el protocolo MQTT para la comunicación de datos, y se aplicó un diseño pretest–postest para evaluar la continuidad, confiabilidad e integridad de la transmisión.

Durante 34 días de monitoreo, el sistema registró valores promedio de temperatura de 22,35 °C, pH 7,01, TDS 251,84 ppm y turbidez 42,74 %. El postest evidenció mejoras significativas en la estabilidad de la señal, reducción de latencia, eliminación de pérdidas de mensajes y 100 % de integridad de datos, validando la efectividad técnica del sistema propuesto.

**Palabras claves:** Monitoreo remoto, Transmisión inalámbrica de datos, Protocolo MQTT.

## **ABSTRACT**

This report aimed to design and implement a wireless data transmission system for remote water quality monitoring at the TICUY fish farm in Ferreñafe. Water quality, determined by parameters such as temperature, pH, turbidity, and total dissolved solids (TDS), is a critical factor for the health and productivity of species like tilapia and paiche.

The methodology consisted of developing an IoT prototype comprised of water quality sensors, an ESP32 microcontroller for data processing, a SIM800 GSM module for wireless transmission via a 2G cellular network, and a web platform with a MySQL database and dashboard for remote visualization. The MQTT protocol was used for data communication, and a pretest-posttest design was applied to evaluate the continuity, reliability, and integrity of the transmission.

During 34 days of monitoring, the system recorded average values of 22.35 °C, pH 7.01, TDS 251.84 ppm, and 42.74% turbidity. The post-test showed significant improvements in signal stability, reduced latency, elimination of message loss, and 100% data integrity, validating the technical effectiveness of the proposed system.

**Keywords:** Remote monitoring, Wireless data transmission, MQTT protocol.

## INTRODUCCIÓN

Aunque se han logrado avances significativos para reducir el hambre en Asia y América Latina, el desafío global de combatir las crisis alimentarias persiste, especialmente en regiones como África, donde la situación sigue siendo catastrófica. La ONU, utiliza términos específicos para describir las diferentes fases de escasez de alimentos; como hambre, inseguridad alimentaria y malnutrición (ONU, 2023).

La Seguridad Alimentaria es un derecho fundamental de toda persona y un pilar clave en el desarrollo sostenible. Se alcanza cuando todas las personas, en cualquier momento, tienen acceso físico y económico a una cantidad suficiente de alimentos seguros y nutritivos que satisfacen sus necesidades y preferencias alimentarias, lo que les permite llevar una vida activa y saludable. Sus componentes esenciales incluyen la disponibilidad de alimentos, la estabilidad de dicha disponibilidad, y el acceso a los alimentos (Cumbre Mundial sobre la Alimentación, 1996). En este contexto, la inseguridad alimentaria ocurre cuando no se tiene acceso constante a alimentos suficientes, seguros y nutritivos, necesarios para un crecimiento y desarrollo adecuados, así como para mantener una vida activa y saludable. Es por ello que las personas para disminuir la falta de alimento consumen lo más barato o lo más fácil de adquirir evitando comer alimentos ricos en vitaminas y minerales, teniendo como resultado el aumento de la obesidad y otras formas de malnutrición (ONU, 2023).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, es importante resaltar que el pescado es un alimento esencial para fortalecer la seguridad alimentaria y, en consecuencia, la nutrición. Con una gestión adecuada de la pesca y la acuicultura, es posible ofrecer alimentos nutritivos a toda la población, generar ingresos sostenibles, promover el desarrollo rural centrado en las personas y proteger el medio ambiente (FAO, 2023). En el presente siglo, ha venido en aumento la importancia de los sectores de la pesca y la acuicultura por su papel fundamental en la seguridad alimentaria y la nutrición a nivel global. Es por ello lo indispensable de acelerar transformaciones en políticas, gestión, innovación e inversión con el fin de alcanzar una pesca y acuicultura sostenibles y equitativas en la escala mundial (FAO, 2022). Al respecto un importante 89% equivalente a 157 millones de toneladas de producción

de animales acuáticos han sido destinados para el consumo humano, mientras que el 11% restantes se usó para la producción de harina y aceite de pescado, es así como estos alimentos son uno de los productos alimenticios más comercializados a nivel mundial, hoy en día el mundo consume cinco veces más de lo que consumía hace 60 años (FAO, 2022). Los alimentos acuáticos aportan importantes nutrientes como proteínas de alta calidad y aminoácidos, para una dieta sana y equilibrada, inclusive en pequeñas cantidades tienen un efecto nutricional positivo importante que son escasos en las dietas de origen vegetal (FAO, 2022).

La Piscigranja Ticuy, ubicada en Pitipo, provincia de Ferreñafe, se dedica a la cría de Paiche y Tilapia, los cuales abastecen tanto a su restaurante campestre típico regional como a la población en general. Sin embargo, la empresa enfrenta serios desafíos en su proceso de crianza, lo que resulta en una baja productividad de los peces y deficiencias nutricionales que comprometen su calidad. Además, los altos índices de sólidos disueltos totales (TDS) en el agua están afectando negativamente la salud de los peces, haciendo que los alimentos no estén aptos para el consumo humano, lo que agrava la situación financiera de la piscigranja al generar pérdidas significativas en el negocio. Estos problemas no solo amenazan la sostenibilidad del emprendimiento, sino también la seguridad alimentaria de la comunidad.

En línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU, este estudio busca mejorar la seguridad alimentaria, la nutrición y fomentar la piscicultura sostenible. Para ello, se desarrollará un prototipo para el monitoreo remoto de la calidad del agua, un sistema encargado de analizar y gestionar la información recopilada por sensores que se alojarán en un servidor remoto, emitirán alertas y avisos tempranos sobre los parámetros físico-químicos del agua, a través de una plataforma web y móvil intuitiva, asegurando así un entorno óptimo para el crecimiento y salud de los peces. En síntesis, se concluye que el agua es un recurso esencial para todos los seres vivos, y su calidad es fundamental para garantizar una buena calidad de vida. Por ello se formula la siguiente pregunta del estudio ¿Cómo un prototipo para el monitoreo remoto de calidad del agua puede mejorar significativamente la seguridad alimentaria en la Piscigranja TICUY, Ferreñafe, 2024?

# OBJETIVOS

## Objetivo general

- Implementar un prototipo de Sistema de monitoreo remoto de la calidad de agua para mejorar la seguridad alimentaria en la piscigranja TICUY en Ferreñafe.

## Objetivos específicos

- Desarrollar un sistema que permita la medición continua y en tiempo real de los parámetros claves de la calidad del agua
- Diseñar un sistema de transmisión de datos a través de tecnologías inalámbricas.
- Desarrollar una plataforma para la visualización de los datos histórico y en tiempo real.
- Determinar la mejora de la seguridad alimentaria de la piscigranja TICUY.

# DISEÑO TEÓRICO

## Antecedentes

A nivel internacional, Cardozo et al. (2024) publicaron un artículo con un enfoque experimental, cuantitativo y exploratorio titulado "Monitoreo de la calidad del agua en criaderos de Tilapias mediante tecnologías LPWAN y VPS". Este sistema se basa en el uso de sensores de temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez, que están conectados a microcontroladores para el procesamiento de datos y se transmiten mediante radiofrecuencia LoRa. La información se visualiza a través de una interfaz web, permitiendo el monitoreo en tiempo real. Durante las pruebas, se demostró que la tecnología LoRa alcanzó distancias de hasta 0,9 kilómetros con una mínima tasa de error, aunque la señal se debilitaba ocasionalmente debido a la interferencia causada por la densa vegetación, lo que impactó negativamente en la aplicación del proyecto. La calibración de los sensores fue clave para asegurar la fiabilidad de las mediciones. El estudio concluyó que la plataforma de monitoreo en tiempo real es una

herramienta que mejora la eficiencia en los cultivos de tilapia, especialmente viable gracias al uso de tecnologías emergentes y de bajo costo en áreas con limitaciones de ancho de banda.

Conejeros et al. (2021) propusieron un “Sistema de monitoreo de calidad del agua en sistemas de agua potable rural” en la región de la Araucanía, Chile, con el objetivo de analizar la potabilidad y los niveles de contaminación a un bajo costo. Para desarrollar este sistema, se identificaron los sensores adecuados para realizar las mediciones, así como el sistema de comunicación, la plataforma de programación y la transmisión de datos. El desarrollo del sistema se organizó en cinco procesos clave: captación, decantado, desinfección, almacenamiento y distribución. El almacenamiento y procesamiento de datos se realiza en un servidor web basado en el protocolo MQTT, utilizando una interfaz intuitiva de IBM Cloud en conjunto con los microcontroladores Arduino y Raspberry. Para establecer las alarmas del sistema, se empleó la clasificación de la Norma Chilena de Calidad del Agua, que abarca parámetros microbiológicos, químicos y físicos. El estudio concluyó que el desarrollo de un predictor inteligente de contaminación del agua, de bajo costo, facilita la toma de decisiones. Además, se destacó que las variables más importantes para medir en el agua potable son la turbidez, la conductividad, el pH, la temperatura, el total de sólidos disueltos y el potencial redox.

Aguilar (2021) desarrolló una herramienta de monitoreo remoto de la calidad del agua basada en nodos IoT de bajo consumo en Paraguay. El sistema se estructuró en tres etapas principales: interfaz de sensores, comunicación y procesamiento, y gestión de energía. Estos nodos IoT monitoreaban parámetros clave como pH, turbidez y temperatura, con datos transmitidos en tiempo real. El estudio confirmó la viabilidad del sistema, destacando su eficiencia energética y su capacidad para realizar monitoreos continuos, gracias a un sistema de recolección de energía, lo que contribuye significativamente a la mejora de la gestión de la calidad del agua.

En el contexto nacional, Tuesta et al. (2022) presentaron los resultados de su estudio titulado "Aplicativo para monitorear la calidad del agua en piscigranjas", cuyo objetivo fue mejorar la productividad de la trucha Arcoíris en la región Amazonas, reduciendo los índices de mortalidad y aumentando el crecimiento por encima de los estándares comerciales. El proyecto, de tipo aplicado, cuantitativo y descriptivo, utilizó una sonda

multiparamétrica para analizar el oxígeno disuelto, el pH, la conductividad y la temperatura del agua. Además, se empleó un kit de análisis para examinar la dureza del agua, la presencia de cloruros, hierro, sulfitos y el nivel de alcalinidad. Los resultados evidenciaron que los estanques de la región mantienen niveles adecuados de estos parámetros para la crianza de truchas. Se observó que los rangos promedio de temperatura, entre 12,65°C y 12,8°C, permiten una óptima concentración de oxígeno en el agua. Asimismo, los investigadores concluyeron que la dureza del agua es crucial, ya que las aguas blandas incrementan la sensibilidad de los peces a los metales tóxicos, por lo que una dureza adecuada es ideal. El estudio también concluyó que la implementación de estaciones automatizadas con sensores, controladores y drones subacuáticos facilita el registro de la alimentación de las truchas, permitiendo que encuentren su alimento más fácilmente en aguas menos turbias. Finalmente, se destacó la importancia de desarrollar un sistema remoto compuesto por hardware para el análisis de la calidad del agua, con la información almacenada en tiempo real en una base de datos accesible a través de una interfaz web y una aplicación móvil. Se subrayó, además, que estos sistemas remotos requieren una conexión a internet estable y de alta densidad para su funcionamiento óptimo.

García y Ascón (2022) llevaron a cabo una investigación aplicada en la que desarrollaron un “Sistema automatizado de monitoreo de parámetros físico-químicos para la producción de cría de pez” en el laboratorio artificial de la EPA San Martín en Tarapoto. El enfoque de la investigación fue descriptivo y experimental, abarcando varias etapas: análisis del proceso de reproducción artificial, diseño e implementación de un sistema de medición utilizando sensores y controladores, así como la evaluación de parámetros físico-químicos del agua y la tasa de mortalidad durante los primeros diez días de vida del alevín. Para los cálculos se emplearon la media aritmética, la desviación estándar y la varianza. El estudio se basó en un controlador Arduino, que interactúa con sensores de temperatura, potencial de hidrógeno (pH) y oxígeno disuelto, utilizando el protocolo XBEE para la transmisión y recepción de datos. Los resultados mostraron que, gracias al control automatizado, la tasa de mortalidad de la Gamitana durante los primeros días de reproducción artificial se redujo en un 22%. Además, las mediciones indicaron diferencias significativas en los

valores de pH, mientras que la temperatura se mantuvo por debajo del rango permitido y los niveles de oxígeno disuelto no mostraron variaciones.

## **Bases teóricas**

### **El agua como recurso básico**

El agua es fundamental para el desarrollo sostenible, desempeñando un papel central en el progreso socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, y la conservación de ecosistemas, además de ser vital para la supervivencia humana. También es clave en la adaptación al cambio climático, actuando como un vínculo esencial entre la sociedad y el medioambiente (Naciones unidas, 2024). En este mismo sentido Ríos (2021) afirma que el agua es el recurso más vital de la naturaleza para la vida en la Tierra, ya que su presencia determina la distribución de especies en los diversos espacios del planeta.

### **Calidad de agua**

La calidad del agua se refiere al estado en que se encuentra, considerando sus características físicas, químicas y biológicas, ya sea en su condición natural o después de haber sido modificada por actividades humanas. Se evalúa comparando los parámetros físicos y químicos de una muestra de agua con normas o estándares de calidad establecidos (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2016).

### **Acuicultura**

La acuicultura es una actividad económica clave que se enfoca en el cultivo de peces, crustáceos y moluscos. Para asegurar su éxito, es crucial un manejo óptimo en espacios controlados, donde se monitoreen factores como la calidad del agua, ya que es el medio vital para la cría de organismos acuáticos. El mantenimiento adecuado de parámetros como la temperatura y el pH, específicos para cada especie, es esencial para optimizar la producción y garantizar la sostenibilidad, mejorando el rendimiento y asegurando la viabilidad a largo plazo de la acuicultura (Ríos, 2021).

La acuicultura se ha convertido en uno de los sistemas de producción alimentaria de más rápido crecimiento a nivel mundial. La mayor parte de esta producción se realiza en países en desarrollo, especialmente en aquellos con bajos ingresos y déficit

alimentario. Con el estancamiento de muchas pesquerías tradicionales y el aumento de la demanda de productos pesqueros, la acuicultura se ve como una solución para incrementar la producción global de alimentos acuáticos, y como una herramienta clave para mejorar la seguridad alimentaria y reducir la pobreza en numerosos países en desarrollo (FAO, s/f).

### **Piscicultura**

La piscicultura se enfoca en la cría y producción de peces en agua dulce, salobre o marina, ya sea con fines ornamentales o para consumo. Esta actividad se desarrolla bajo condiciones controladas o semi controladas, abarcando todas las fases del ciclo de vida del pez, desde su desarrollo inicial hasta su crecimiento y engorde (Trejo et al., 2021).

### **Pescado**

El pescado es ampliamente reconocido como un alimento altamente nutritivo, rico en proteínas de alta calidad, de fácil digestión y con aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga y micronutrientes. Sin embargo, solo recientemente se ha empezado a valorar su "papel especial en la nutrición y la salud" (FAO, 2017). Romaña (2022) CEO de TASA, empresa líder en el sector pesquero, en una entrevista para el Diario Gestión indicó que la que la pesca y la acuicultura son la base para garantizar la seguridad alimentaria del mundo al 2050, año en el que la población global llegaría a cerca a los 10 mil millones de personas según las Naciones Unidas.

### **Crianza del Paiche**

Conocido en Perú como "Arapaima gigas" y pertenece a la superfamilia de los Osteoglossidos, peces de lengua ósea, es el pez de mayor tamaño de escama de agua dulce de la cuenca de Amazonas pudiendo alcanzar hasta 3m y un peso promedio de 200kg (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, 2016). El paiche se encuentra de forma natural en la cuenca del Amazonas, abarcando Brasil, Perú y Colombia, así como en los ríos de Guyana (Sánchez, 1961; Reis et al., 2003; Pereira-Filho et al., 2003). En Perú, su presencia se registra en las cuencas bajas de los ríos Ucayali, Marañón, Putumayo, Napo, Pastaza y Yavarí (Gobierno Regional de Loreto, 2017).

## Parámetros físico-químicos del agua en la piscicultura

Los parámetros físico-químicos del agua constituyen indicadores esenciales para garantizar condiciones óptimas en los sistemas piscícolas. Variables como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto, la turbidez y los sólidos disueltos totales influyen directamente en los procesos metabólicos de las especies acuáticas. Mantener estos parámetros dentro de rangos adecuados permite reducir el estrés fisiológico, prevenir enfermedades y optimizar el rendimiento productivo (FAO, s/f; Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, 2016).

**Tabla 1.**  
*Parámetros físico-químico del agua de cultivo de “paiche”*

Parámetro	Unidad	Rango
Temperatura del agua	°C	26 – 31
Precipitaciones pluviales	l/m <sup>2</sup>	> 400
Transparencia	Cm	30 - 60
Oxígeno disuelto	mg/l	> 4.0
pH	UI	6.0 – 8.0
Amonio	mg/l	< 0.005

Fuente: (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, 2016).

## Crianza de Tilapia

La tilapia es un pez teleósteo del orden Perciforme, perteneciente a la familia Cichlidae y originario de África. Habita en la mayoría de las regiones tropicales del mundo, donde encuentra condiciones favorables en las aguas cálidas. Es una especie de rápido crecimiento, que se adapta bien al cultivo en estanques o jaulas, y resiste condiciones ambientales adversas, como bajas concentraciones de oxígeno (Gonzales et al., 2023).

Parámetro	Unidad	Rango
Temperatura	°C	25-32
Oxígeno disuelto	mg/L	5-9
pH	Unidades de pH	6-9
Alcalinidad Total	mg/L	50-150
Dureza Total	mg/L	80-110
Calcio	mg/L	60-120
Nitritos	mg/L	0-0.1
Nitratos	mg/L	1.5-2
Amonio Total	mg/L	0-0.1

Hierro	mg/L	0.05-0.2
Fosfatos	mg/L	0.15-0.2
Dióxido de carbono	mg/L	5-10
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	0-0.01

**Fuente:** (Valenzuela et al., 2017)

## Composición del agua de un estanque

La composición del agua en un estanque varía constantemente debido a factores climáticos, estacionales y al uso que se le dé al estanque. Un buen manejo del estanque busca controlar estos cambios para mantener condiciones óptimas para el bienestar de los peces (FAO, s/f).

**Tabla 2.**  
*Composición general del agua de un estanque*

<b>Sustancias disueltas</b>	
<b>Gases</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno</li> </ul>
<b>Minerales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sales de calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro.</li> <li>• Compuestos de nitrógeno, fósforo.</li> </ul>
<b>Compuestos orgánicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteínas, carbohidratos</li> </ul>
<b>Partículas en suspensión</b>	
<b>Partículas muertas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minerales tales como limo y arcilla</li> <li>• Material orgánico como detritos, organismos muertos, humus</li> </ul>
<b>Organismos vivos microscópicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variedades de plantas (fitoplancton)</li> <li>• Variedades de animales (zooplancton)</li> </ul>

**Fuente:** FAO (s/f)

## Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua

Según el decreto supremo N° 004-2017-MINAM se aprobaron los estándares de calidad ambiental para agua (ECA), basado en el derecho de la persona de gozar de un ambiente y adecuado al desarrollo de su vida. Esta medida establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente, en este decreto se consideran cuatro categorías: 1) poblacional y recreacional, 2) extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales, 3) riego de vegetales y bebida de animales y 4) conservación del ambiente acuático. Para la

presente investigación se considerarán los parámetros enmarcados en la categoría 2 (El Peruano, 2017).

### **Seguridad alimentaria**

Según la FAO (s/f) La seguridad alimentaria se refiere a la situación en la que todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a alimentos seguros y nutritivos en cantidades suficientes para cubrir sus necesidades dietéticas y preferencias alimentarias, permitiéndoles llevar una vida activa y saludable. En la acuicultura, al igual que en otros procesos de producción y transformación de alimentos y bebidas, la seguridad alimentaria debe ser un valor fundamental. Esto implica que se deben implementar diversos mecanismos y procesos para asegurar la inocuidad de todos los alimentos producidos (Urrialde, 2021). Marín et al. (2022) definen la seguridad alimentaria como la condición en la que se dispone de una cantidad suficiente de alimentos saludables y accesibles económicamente para toda la población. El comité de seguridad alimentaria Mundial (2014) destacó la importancia de la pesca y la acuicultura en la seguridad alimentaria y la nutrición, ya que proporcionan proteínas y nutrientes esenciales, además de ingresos y medios de vida. Asimismo, se subrayó que la sostenibilidad de estas actividades es crucial para mantener la seguridad alimentaria y la nutrición. El Fondo Europeo para la Paz (2023) a través del proyecto Macarena Sostenible con más capacidad para la Paz – Mascalpaz señaló que la piscicultura es un sistema de producción con un rápido retorno de inversión y un alto potencial para mejorar las condiciones de vida de los hogares, especialmente en términos de seguridad alimentaria y económica.

### **Medición continua y monitoreo en tiempo real**

La medición continua de la calidad del agua consiste en la captación permanente de datos mediante sensores instalados en el entorno acuático, lo que permite identificar variaciones en tiempo real. Este tipo de monitoreo facilita la detección temprana de condiciones adversas y la aplicación oportuna de medidas correctivas, superando las limitaciones de las mediciones manuales y esporádicas (Ríos, 2021).

## **Sensores aplicados al monitoreo de la calidad del agua**

Los sensores son dispositivos diseñados para detectar cambios en variables físicas o químicas del entorno y convertirlos en señales eléctricas que pueden ser procesadas por sistemas electrónicos. En el monitoreo de la calidad del agua, los sensores permiten medir parámetros como pH, temperatura, turbidez y sólidos disueltos, posibilitando la automatización de la medición continua (García, 2022; Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos, 2022).

## **Sistemas de monitoreo remoto**

Los sistemas de monitoreo remoto integran sensores, microcontroladores y plataformas digitales para permitir la supervisión de variables ambientales sin presencia física constante. En piscicultura, estos sistemas facilitan el control permanente de la calidad del agua y el registro histórico de datos, fortaleciendo la gestión técnica del cultivo (Arias et al., 2021).

## **Trasmisión de datos inalámbrica**

Constituye un elemento central en los sistemas modernos de monitoreo remoto, ya que permite la recolección, envío y visualización de información en tiempo real sin la necesidad de cableado físico (Arias et al., 2021). En el contexto de acuicultura y piscicultura, la eficiencia de estos sistemas depende tanto de la tecnología utilizada para transmitir la información como de la integridad de los datos enviados. Para garantizar un monitoreo efectivo, los sistemas de transmisión deben integrar de manera coordinada sensores, protocolos de comunicación, redes celulares o de corto alcance, servidores y plataformas de visualización (IBM, 2023; Gómez et al., 2020).

## **Sensores en sistemas de monitoreo remoto**

Son dispositivos capaces de detectar estímulos físicos, químicos o biológicos del entorno y convertirlos en señales eléctricas que pueden ser procesadas y transmitidas (García, 2022). En un sistema de monitoreo remoto, estos sensores representan el punto inicial de captura de datos, que luego deben enviarse de manera confiable a través de redes inalámbricas hacia servidores o plataformas de análisis, manteniendo

la integridad de la información (Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos, 2022).

### **Tecnologías GSM y GPRS para transmisión de datos**

En cuanto a la transmisión, las tecnologías móviles como GSM (Global System for Mobile Communications) y GPRS (General Packet Radio Service) permiten que los datos generados por los sensores sean enviados a través de redes celulares de manera continua y confiable (Samsung, 2021; BBC, 2016). Estas tecnologías son ampliamente utilizadas en sistemas IoT, dado que ofrecen cobertura extendida y facilitan la comunicación de dispositivos distribuidos geográficamente.

### **Protocolos de comunicación MQTT**

Los protocolos MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) optimizan el intercambio de datos mediante un esquema de publicación y suscripción, reduciendo el consumo de ancho de banda y asegurando la entrega casi en tiempo real de la información a servidores y plataformas de visualización (IBM, 2023).

### **Servidores web y bases de datos**

Los servidores web constituyen el siguiente eslabón en la transmisión de datos, actuando como intermediarios que reciben, procesan y almacenan la información enviada por los sensores (Gómez et al., 2020). En conjunto con bases de datos como MySQL, permiten organizar, consultar y gestionar grandes volúmenes de información de manera eficiente, garantizando que los datos estén disponibles para su análisis y toma de decisiones (ORACLE, 2020).

### **Integración de componentes para la transmisión inalámbrica de datos**

Finalmente, la combinación de estos elementos —sensores, tecnologías GSM/GPRS, protocolos MQTT, servidores y dashboards— permite diseñar sistemas de transmisión de datos inalámbricos robustos, confiables y eficientes, esenciales para la supervisión remota de la calidad del agua en piscigranjas. Este enfoque no solo garantiza la integridad y seguridad de la información, sino que también contribuye a la optimización de la gestión de los recursos acuícolas y a la mejora de la seguridad alimentaria (FAO, s/f; Urrialde, 2021).

## **Plataforma web para monitoreo en tiempo real**

Una plataforma web de monitoreo es un sistema informático que permite la adquisición, procesamiento, almacenamiento y visualización de datos provenientes de dispositivos remotos, facilitando el seguimiento continuo de variables críticas mediante interfaces gráficas accesibles desde navegadores web o dispositivos móviles. Según Laudon y Laudon (2016), los sistemas de información orientados al monitoreo permiten transformar datos operativos en información útil para la toma de decisiones, especialmente cuando se integran mecanismos de visualización en tiempo real y análisis histórico.

En el contexto del monitoreo ambiental y acuícola, estas plataformas permiten centralizar la información generada por sensores, mejorar la supervisión de procesos productivos y reducir la dependencia de mediciones manuales, incrementando la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta ante eventos críticos.

## **Visualización de datos en tiempo real**

La visualización de datos es el proceso mediante el cual la información numérica es representada gráficamente con el fin de facilitar su comprensión, análisis e interpretación. Few (2013) señala que una visualización efectiva permite identificar patrones, tendencias y anomalías en los datos, especialmente cuando se trabaja con flujos de información en tiempo real.

En sistemas de monitoreo remoto, la visualización en tiempo real es fundamental para alertar oportunamente sobre variaciones anómalas en los parámetros de calidad del agua, permitiendo a los responsables del sistema adoptar acciones correctivas inmediatas. Esto resulta particularmente relevante en entornos acuícolas, donde pequeños cambios en las condiciones del agua pueden afectar significativamente la salud de los peces.

## **Gestión y análisis de datos históricos**

El almacenamiento y análisis de datos históricos permite evaluar el comportamiento de las variables monitoreadas a lo largo del tiempo, facilitando la identificación de tendencias, ciclos y patrones recurrentes. De acuerdo con Han, Kamber y Pei (2012),

el análisis histórico de datos constituye una base fundamental para la generación de conocimiento y la toma de decisiones estratégicas en sistemas basados en información.

En una plataforma de monitoreo de calidad de agua, los registros históricos permiten comparar condiciones pasadas y actuales, evaluar la estabilidad del sistema acuícola y apoyar la planificación de acciones preventivas orientadas a garantizar condiciones óptimas para la producción piscícola.

### **Usabilidad y diseño de interfaces para plataformas web**

La usabilidad se refiere al grado en que un sistema puede ser utilizado por usuarios específicos para lograr objetivos concretos con eficacia, eficiencia y satisfacción. Según la norma ISO 9241-11 (2018), una interfaz usable debe ser intuitiva, comprensible y accesible, minimizando errores y facilitando la interacción del usuario con el sistema.

En plataformas de monitoreo remoto, un diseño adecuado de la interfaz permite que los responsables de la piscigranja interpreten correctamente la información presentada, incluso sin conocimientos técnicos avanzados, favoreciendo el uso efectivo de la tecnología como herramienta de apoyo a la gestión acuícola.

### **Plataformas digitales aplicadas a la acuicultura**

El uso de plataformas digitales en la acuicultura forma parte de los enfoques modernos de gestión productiva, conocidos como acuicultura inteligente. Según FAO (2020), la incorporación de tecnologías digitales para el monitoreo y análisis de parámetros ambientales contribuye a mejorar la eficiencia productiva, reducir riesgos sanitarios y fortalecer la sostenibilidad de los sistemas acuícolas.

### **Protocolo de comunicación**

Cuando se habla de protocolos de comunicación se trata de una serie de pautas que hacen posible que un conjunto de dispositivos pueda intercambiar datos entre ellos (Arias et al., 2021).

## **Protocolo de comunicación MQTT**

MQTT es un protocolo de mensajería basado en la publicación y suscripción, diseñado para facilitar el intercambio eficiente de datos casi en tiempo real entre dispositivos móviles y sensores. Este protocolo es un estándar abierto, administrado por la organización de estándares OASIS y reconocido internacionalmente por la ISO. Es el protocolo principal que los dispositivos y aplicaciones emplean para comunicarse con herramientas de IoT (IBM, 2023).

## **Sensores**

Los sensores son dispositivos diseñados para captar y responder a diferentes tipos de información en el entorno físico. Entre los ejemplos se incluyen sensores de corriente eléctrica, magnéticos o de radio, de humedad, de velocidad o flujo de fluidos, de presión, térmicos o de temperatura, ópticos, de posición, ambientales y químicos (Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos, 2022). Según García (2022), un sensor es un dispositivo capaz de detectar diversos estímulos externos, convirtiéndolos en impulsos eléctricos mediante un transductor. Estos impulsos son luego interpretados por ordenadores o máquinas específicas, que los analizan, procesan y transforman para generar una respuesta, como activar una alarma o abrir una puerta. En resumen, los sensores actúan como traductores, capaces de convertir cualquier propiedad del entorno, ya sea física, química, lumínica, sonora, etc., en un lenguaje comprensible para las máquinas.

## **Tecnología GSM / GPRS**

GSM, que significa Global System for Mobile Communications (sistema global para comunicaciones móviles), es un tipo de red empleada para la transmisión móvil de voz y datos. Es la tecnología móvil digital más extendida a nivel mundial y se encuentra en una amplia gama de teléfonos. Según datos oficiales de la Asociación GSM, está presente en el 82% de los dispositivos móviles a nivel global (BBC, 2016). Samsung (2021) define a GSM "Global System For Mobile Communication" es un Sistema Global para las Comunicaciones Móviles que incorporan tecnología digital. Por ser digital cualquier cliente de GSM puede conectarse a través de su teléfono con su ordenador y puede hacer, enviar y recibir mensajes por e-mail, faxes, navegar por Internet, acceso seguro a la red informática de una compañía (LAN/Intranet), así como

utilizar otras funciones digitales de transmisión de datos, incluyendo el Servicio de Mensajes Cortos (SMS).

## **Servidor Web**

Los servidores web son responsables de responder a las solicitudes que los usuarios hacen en Internet, principalmente a través de navegadores web, utilizando el protocolo de transferencia de hipertexto HTTP (Gómez et al., 2020). SWHosting (2024) define al servidor web como programa informático instalado en el servidor y diseñado para recibir, procesar y responder a solicitudes de recursos web por parte de los clientes, como navegadores web. Funciona como un intermediario entre el cliente y el servidor que aloja los recursos web como ficheros, imágenes y código, facilitando la entrega de contenido a los usuarios que acceden a través de internet.

## **Base de datos**

Una base de datos es una colección organizada de información o datos estructurados, generalmente almacenada de manera electrónica en un sistema informático. Suele estar gestionada por un sistema de gestión de bases de datos (DBMS). En conjunto, los datos, el DBMS y las aplicaciones asociadas se conocen como sistema de bases de datos, comúnmente referido simplemente como base de datos. Los datos en los tipos más comunes de bases de datos actuales suelen estar organizados en filas y columnas dentro de tablas, lo que optimiza el procesamiento y la consulta de la información. Esto permite que los datos sean fácilmente accesibles, gestionables, modificables, actualizables, controlables y organizables. La mayoría de las bases de datos utilizan el lenguaje de consulta estructurada (SQL) para la escritura y consulta de datos (ORACLE, 2020).

## **MySql**

Es un sistema de gestión de datos relacionales de código abierto basado en SQL. Se diseñó y se optimizó para las aplicaciones web y puede utilizarse en cualquier plataforma. A medida que surgían nuevos y diferentes requisitos con Internet, MySQL se convirtió en la plataforma preferida por los desarrolladores web y las aplicaciones basadas en web. Dado que está diseñado para procesar millones de consultas y miles de transacciones, MySQL es una elección popular para las empresas de comercio

electrónico que necesitan gestionar múltiples transferencias de dinero. La flexibilidad on-demand es la principal función de MySQL.

## **Bases conceptuales**

### **Plataforma de visualización de datos**

Una plataforma de visualización de datos es un entorno digital diseñado para representar información mediante gráficos, tablas e indicadores, facilitando la interpretación de grandes volúmenes de datos y apoyando la toma de decisiones. En sistemas de monitoreo ambiental e IoT, estas plataformas permiten observar el comportamiento de variables en tiempo real y de forma histórica, optimizando la supervisión de procesos productivos (Córdova et al., 2021).

### **Monitoreo remoto**

El monitoreo remoto se define como la supervisión de variables físicas o ambientales a distancia, utilizando tecnologías de comunicación y plataformas digitales para acceder a la información sin presencia física en el lugar de medición. En acuicultura, este enfoque permite un control continuo de la calidad del agua, reduciendo costos operativos y mejorando la capacidad de respuesta ante cambios críticos (Aguilar, 2021).

### **Visualización en tiempo real**

La visualización en tiempo real consiste en mostrar los datos inmediatamente después de ser generados y transmitidos por los dispositivos de medición. Este tipo de visualización es fundamental en sistemas IoT, ya que permite identificar variaciones instantáneas en los parámetros monitoreados y facilita la toma de decisiones oportunas (IBM, 2023).

### **Datos históricos**

Los datos históricos corresponden a los registros almacenados de las variables monitoreadas a lo largo del tiempo. Su análisis permite identificar patrones, tendencias y comportamientos recurrentes, aportando información clave para la gestión y planificación de sistemas productivos acuícolas (ORACLE, 2020).

## **Dashboard**

Un dashboard es una herramienta visual que integra y presenta los indicadores más relevantes de un sistema, permitiendo al usuario comprender rápidamente el estado del proceso monitoreado. En plataformas de monitoreo de calidad del agua, los dashboards facilitan la centralización de la información y apoyan la toma de decisiones mediante visualizaciones claras y accesibles (Córdova et al., 2021).

## **Base de datos**

Una base de datos es una colección organizada de información almacenada electrónicamente, que permite la gestión, consulta y actualización eficiente de los datos. En sistemas de monitoreo remoto, las bases de datos aseguran el almacenamiento estructurado de la información generada por los sensores, garantizando su disponibilidad y consistencia (ORACLE, 2020).

## **Plataforma web**

Una plataforma web es una aplicación accesible a través de internet que permite a los usuarios interactuar con un sistema de información desde distintos dispositivos. En el contexto del monitoreo acuícola, estas plataformas facilitan la visualización remota de datos, la generación de reportes y el acceso a información en tiempo real (Gómez et al., 2020).

## **Alertas del sistema**

Las alertas del sistema son mecanismos automáticos que notifican al usuario cuando los parámetros monitoreados superan los rangos establecidos. Estas alertas permiten una detección temprana de condiciones adversas en la calidad del agua, contribuyendo a la prevención de riesgos en la producción piscícola y a una gestión más eficiente del sistema (Conejeros et al., 2021).

## **Sistema de monitoreo remoto de la calidad del agua**

El sistema de monitoreo remoto de la calidad del agua es una herramienta tecnológica que permite supervisar de forma continua los parámetros físico-químicos del agua

mediante sensores y plataformas digitales, posibilitando el control eficiente del recurso hídrico (Ministerio de Agricultura y Riego, 2016).

### **Medición continua de parámetros de calidad del agua**

La medición continua se refiere al proceso permanente de recolección de datos de variables físico-químicas del agua a través de sensores, permitiendo contar con información constante y confiable para la toma de decisiones en sistemas acuícolas (Ríos, 2021).

### **Monitoreo en tiempo real**

El monitoreo en tiempo real consiste en la visualización inmediata de los datos recolectados por los sensores, facilitando la identificación oportuna de cambios en la calidad del agua y la aplicación de acciones correctivas (Arias et al., 2021).

### **Sensores de calidad del agua**

Los sensores de calidad del agua son dispositivos electrónicos capaces de detectar y medir variables específicas del entorno acuático, transformándolas en señales eléctricas interpretables por sistemas informáticos, permitiendo la automatización de procesos de monitoreo (García, 2022).

### **Sistema de transmisión de datos inalámbrico**

Un sistema de transmisión de datos inalámbrico es un conjunto integrado de dispositivos y tecnologías que permite el envío de información sin necesidad de conexiones físicas, utilizando redes de comunicación como GSM, GPRS o protocolos de corto alcance. Estos sistemas facilitan la recolección, transferencia y visualización de datos en tiempo real, siendo fundamentales en aplicaciones de monitoreo remoto (Arias et al., 2021; Samsung, 2021).

### **Internet de las cosas (IoT)**

El Internet de las cosas (IoT) hace referencia a la interconexión de dispositivos físicos a través de internet, permitiendo que sensores y sistemas electrónicos recopilen, intercambien y procesen datos de manera automática. En sistemas de monitoreo, el

IoT posibilita la transmisión continua de información desde entornos remotos hacia plataformas de análisis y visualización (IBM, 2023).

### **Protocolo MQTT**

MQTT es un protocolo de mensajería ligero basado en el modelo de publicación y suscripción, diseñado para facilitar la transmisión eficiente de datos en entornos con recursos limitados. Su bajo consumo de ancho de banda y su capacidad para operar en redes inestables lo convierten en una solución adecuada para sistemas IoT y monitoreo remoto (IBM, 2023).

### **Red GSM / GPRS**

GSM (Global System for Mobile Communications) y GPRS (General Packet Radio Service) son tecnologías de comunicación móvil que permiten la transmisión de datos digitales a través de redes celulares. Estas tecnologías son ampliamente utilizadas en aplicaciones IoT debido a su amplia cobertura, confiabilidad y compatibilidad con diversos dispositivos electrónicos (Samsung, 2021; BBC, 2016).

### **Sensores electrónicos**

Los sensores electrónicos son dispositivos diseñados para detectar variables físicas, químicas o ambientales y convertirlas en señales eléctricas interpretables por sistemas informáticos. En un sistema de transmisión de datos, los sensores representan la fuente primaria de información, cuyo correcto funcionamiento es esencial para garantizar la calidad e integridad de los datos transmitidos (García, 2022; Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos, 2022).

### **Servidor web**

Es un programa informático que recibe, procesa y responde a solicitudes de información provenientes de dispositivos o usuarios, actuando como intermediario entre los sistemas de captura de datos y las plataformas de visualización. En sistemas de monitoreo remoto, los servidores web permiten centralizar y gestionar la información transmitida por los sensores (Gómez et al., 2020; SWHosting, 2024).

### **MySQL**

Es un sistema de gestión de bases de datos relacional de código abierto basado en SQL, diseñado para aplicaciones web y optimizado para el manejo de múltiples transacciones. Es ampliamente utilizado en sistemas IoT debido a su flexibilidad, escalabilidad y capacidad para procesar grandes volúmenes de información (ORACLE, 2020).

### **Integridad de datos**

Se refiere al mantenimiento de la exactitud, consistencia y confiabilidad de la información durante su captura, transmisión y almacenamiento. En sistemas de monitoreo remoto, garantizar la integridad de los datos es esencial para evitar pérdidas de información, errores de medición o alteraciones no autorizadas (Arias et al., 2021; IBM, 2023).

### **Seguridad de la información**

Comprende el conjunto de medidas técnicas y organizativas destinadas a proteger los datos contra accesos no autorizados, alteraciones o pérdidas. En sistemas de transmisión inalámbrica, la seguridad es un componente clave para asegurar la confidencialidad y confiabilidad de la información transmitida (IBM, 2023).

### **Plataforma de visualización de datos**

Una plataforma de visualización de datos es un entorno digital diseñado para representar información mediante gráficos, tablas e indicadores, facilitando la interpretación de grandes volúmenes de datos y apoyando la toma de decisiones. En sistemas de monitoreo ambiental e IoT, estas plataformas permiten observar el comportamiento de variables en tiempo real y de forma histórica, optimizando la supervisión de procesos productivos (Córdova et al., 2021).

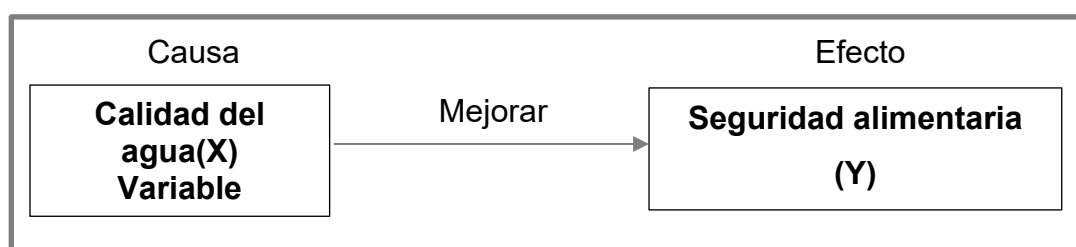
# DISEÑO METODOLÓGICO

## Tipo y diseño de investigación

Es tecnológica o aplicada, ya que está orientada a resolver problemas que surgen en los procesos de producción, distribución, circulación y consumo de bienes y servicios en diversas actividades humanas. Se denomina tecnológica porque "el resultado no es conocimiento puro, sino conocimiento aplicado a soluciones tecnológicas" (Esteban, 2018). El proyecto desarrollará un prototipo que medirá los parámetros de calidad del agua, con el objetivo de mejorar la seguridad alimentaria en la Piscigranja Ticuy.

La investigación además tiene enfoque cuantitativo, se presentarán los hallazgos y resultados con datos cuantificables, generados mediante un proceso deductivo (Ríos, 2017). Se medirán los parámetros de calidad de agua conforme a estándares establecidos y se presentarán sus frecuencias, promedios y porcentajes.

El diseño de la investigación es de tipo experimental. Según Hernández et al. (2014), en este enfoque "se manipulan intencionalmente las variables para analizar las consecuencias que dicha manipulación tiene sobre la variable dependiente". En el caso de estudio, se realizará un pretest para evaluar la calidad actual del agua en la piscigranja y el estado de la productividad y salud de los peces. Posteriormente, después de un período de intervención y control, se tomarán muestras en un post test para evaluar los progresos obtenidos.



## **Diseño de contrastación de hipótesis / procedimiento a seguir en la investigación**

A continuación, se presenta el procedimiento a seguir para el desarrollo de la investigación conforme los objetivos propuestos:

- a) Para el desarrollo del sistema de medición continua y en tiempo real de los parámetros claves de calidad de agua.
  - Diseño de los instrumentos de recolección de datos, específicamente la guía de observación, estructurada en función de las dimensiones e indicadores de la variable “Sistema de monitoreo remoto de la calidad de agua”, permitió registrar los datos de los siguientes parámetros como pH, temperatura, turbidez y sólidos disueltos.
  - Análisis preliminar (pretest), mediante observación directa y contrastación con los Estándares de Calidad Ambiental para agua establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, se estableció la línea base de los parámetros físico-químicos.
  - Implementación del sistema de monitoreo, Se integraron sensores, microcontrolador y plataforma tecnológica que permitió la medición continua y en tiempo real de los parámetros seleccionados.
  - Se recolectaron y registraron los datos generados por el sistema durante el periodo de funcionamiento del prototipo, asegurando la integridad y continuidad de la información obtenida.
- b) Para el desarrollo del sistema de transmisión de datos a través de tecnologías inalámbricas.
  - En primer lugar, se diseñaron los instrumentos de recolección de datos, específicamente una guía de observación, estructurada en función de la dimensión “Transmisión remota de datos” y sus indicadores: tecnología GSM 2G (BAND 850–1900 MHz), red de comunicación MQTT, protocolos de comunicación, sensores de medición, e integridad y seguridad de los datos transmitidos. Este instrumento permitió registrar de manera sistemática el

funcionamiento del sistema de comunicación inalámbrica y la correcta transferencia de información desde el prototipo hacia la nube.

- Como segunda etapa, se realizó un análisis preliminar (pretest) del sistema de transmisión inalámbrica, consistente en pruebas iniciales de conectividad del módulo SIM800 con una tarjeta SIM de la operadora Claro, así como la verificación de la conexión con el broker MQTT. En esta fase se evaluó la estabilidad de la señal GSM, la correcta publicación de mensajes en los tópicos configurados y la recepción de datos en la plataforma en la nube, con la finalidad de establecer una línea base del desempeño del sistema de comunicación.
- Posteriormente, se procedió a la implementación del sistema de transmisión de datos, integrando el microcontrolador ESP32, el módulo SIM800, los sensores de medición y el servidor MQTT. En esta etapa se configuraron los parámetros de red, los tópicos MQTT, los intervalos de envío de datos y los protocolos de comunicación necesarios para asegurar la transmisión periódica de la información generada por el prototipo hacia la nube.
- En la quinta etapa, se llevó a cabo la recolección y registro de datos transmitidos por el sistema durante su periodo de funcionamiento, estableciendo un intervalo de envío de una hora. Se monitoreó de manera continua la llegada de los datos al servidor MQTT y su posterior almacenamiento en la base de datos, verificando la integridad, continuidad y ausencia de pérdidas de información durante la transmisión inalámbrica.
- Finalmente, se realizó una evaluación postest, comparando el desempeño del sistema de transmisión de datos antes y después de su implementación definitiva. Esta evaluación permitió verificar la confiabilidad del sistema inalámbrico, la estabilidad de la comunicación GSM, la eficiencia del protocolo MQTT y la correcta visualización de los datos en el dashboard, comprobando así el cumplimiento del objetivo de diseñar un sistema de transmisión de datos a través de tecnologías inalámbricas para el monitoreo remoto de la calidad del agua.

- c) Para la implementación de una plataforma para la visualización de datos históricos y en tiempo real
- En una primera etapa, se definió la arquitectura de comunicación cliente–broker, considerando el uso del protocolo MQTT para la transmisión de datos desde el sistema de monitoreo hacia la plataforma de visualización. Para ello, se configuró un broker MQTT en la nube mediante el servicio CLOUDAMQP, estableciendo los parámetros de conexión necesarios, tales como nombre de host, puertos de comunicación, credenciales de acceso y URL del servicio, garantizando una comunicación estable y continua.
  - Posteriormente, se desarrolló la plataforma de visualización en el lenguaje de programación Python, implementando una interfaz gráfica que permitiera mostrar los valores actuales y el historial de los parámetros de calidad del agua recibidos. Para el diseño de la interfaz se emplearon librerías gráficas como Tkinter y PyQt, priorizando la claridad de la información y la facilidad de uso para el monitoreo local y remoto.
  - En una tercera fase, se integró la plataforma con el sistema MQTT, estableciendo la suscripción a los tópicos correspondientes a los datos de los sensores. Esta integración permitió la visualización en tiempo real, así como el registro automático de los datos en una base de datos local, organizada para su almacenamiento histórico y posterior exportación a formatos compatibles con hojas de cálculo.
  - Finalmente, se realizaron pruebas funcionales del sistema, evaluando la correcta conexión al broker, la actualización oportuna de los datos en la interfaz, el funcionamiento del modo con conexión y sin conexión, y la consistencia del registro histórico, asegurando el adecuado funcionamiento de la plataforma desarrollada conforme al objetivo planteado.

## **Población y muestra**

La población es un conjunto de elementos que contienen ciertas características que se pretenden estudiar y pueden ser medidas y cuantificadas (Ventura, 2017). La muestra es una porción de la población de interés, que refleja las mismas características de la población (Sánchez et al., 2018). Para el presente estudio la población y la muestra estarán constituidas por dos lagunas de la piscigranja Ticuy: una dedicada a la cría de tilapias y otra al Paiche. Sin embargo, debido a los permisos y facilidades otorgados para la ejecución del estudio, la muestra se delimitó a una laguna dedicada a la crianza de tilapia, la cual cumplía con las condiciones técnicas necesarias para la evaluación de los parámetros de calidad del agua. La muestra fue de tipo no probabilística por conveniencia, al estar determinada por la accesibilidad y la autorización de la empresa, lo que permitió realizar las mediciones en condiciones reales de operación.

La muestra estuvo conformada por los promedios diarios de los parámetros físico-químicos del agua (temperatura, pH, TDS y turbidez) correspondientes a la laguna evaluada, obtenidos a partir de los registros capturados por el sistema de monitoreo remoto durante el periodo de estudio. En total, la muestra consideró 34 registros diarios, uno por cada día comprendido entre el 23 de setiembre y el 26 de octubre de 2025, los cuales representan valores consolidados y válidos para el análisis comparativo y normativo de la calidad del agua.

El tipo de muestreo aplicado fue no probabilístico de tipo censal, dado que se trabajó con la totalidad de los registros diarios generados por el sistema de monitoreo en el periodo evaluado, sin realizar procesos de selección o exclusión de datos.

## **Técnicas, instrumentos, equipos, materiales**

### **1.1.1. Técnica**

La técnica empleada para el desarrollo del estudio fue la observación sistemática y el análisis documental. La observación sistemática permitió verificar el funcionamiento de la plataforma de visualización desarrollada, evaluando la correcta recepción, actualización y presentación de los datos históricos y en tiempo real provenientes del sistema de monitoreo remoto de la calidad del agua en la piscigranja TICUY. Esta

técnica facilitó la comprobación directa del comportamiento de la interfaz, la conectividad con el broker MQTT y la visualización adecuada de los parámetros monitoreados.

Asimismo, se aplicó la técnica de análisis documental, orientada a la revisión de registros históricos generados por la plataforma, tales como bases de datos locales, archivos exportados en formato compatible con hojas de cálculo y reportes automáticos del sistema. Esta técnica permitió analizar la consistencia, continuidad y organización de los datos almacenados, asegurando que la información visualizada y registrada fuera coherente con los valores transmitidos por los sensores, contribuyendo a la validación del cumplimiento del objetivo planteado.

### 1.1.2. Instrumento

El instrumento utilizado para la recolección de datos fue la guía de observación, diseñada para registrar de manera estructurada el funcionamiento de la plataforma de visualización de datos históricos y en tiempo real. Este instrumento permitió evaluar aspectos relacionados con la correcta conexión al broker MQTT, la actualización continua de los datos, la visualización de los parámetros de calidad del agua y el registro histórico de la información.

Asimismo, se empleó como instrumento complementario el registro de datos digitales, conformado por las bases de datos locales generadas por la plataforma y los archivos exportados en formato compatible con hojas de cálculo. Estos registros permitieron verificar la integridad, consistencia y disponibilidad de la información histórica almacenada, sirviendo como evidencia del adecuado desempeño de la plataforma desarrollada para el monitoreo remoto de la calidad del agua en la piscigranja TICUY.

### 1.1.3. Equipos y materiales

**Tabla 3.**  
*Herramientas, equipos y materiales*

Herramientas
Servidor Web
Base de datos
Aplicación MQTT Dashboard
Materiales
Sensor de PH
Sensor de turbidez
Sensor de temperatura

---

Sensor de TDS

Motoreductor

MCU Esp32

SIM32

SIM 800L

Módulo L293D

Módulo TP4056

---

## RESULTADOS

El presente capítulo expone los resultados obtenidos en relación con las dimensiones e indicadores establecidos en el estudio.

**Dimensión 1:** Medición continua y en tiempo real de los parámetros claves de la calidad de agua.

**Resultados del indicador:** Medición de los parámetros físicos-químicos del agua.

Como resultado del desarrollo del sistema, se logró implementar un prototipo funcional capaz de realizar la medición continua y en tiempo real de los principales parámetros de calidad del agua en la piscigranja TICUY. El sistema permitió la adquisición confiable de datos correspondientes al pH, temperatura, turbidez y sólidos disueltos totales (TDS), los cuales constituyen variables fundamentales para el monitoreo de la calidad del agua en sistemas acuícolas.

El prototipo fue construido sobre una placa de circuito impreso (PCB) diseñada específicamente para el proyecto, en la cual se integraron los sensores de medición, el microcontrolador y los módulos de alimentación y comunicación. El ensamblaje adecuado de los componentes permitió obtener lecturas estables y coherentes, evidenciando el correcto funcionamiento del sistema de medición continua.

Con la finalidad de asegurar la confiabilidad de las mediciones, los sensores fueron sometidos a procesos de calibración y verificación. El sensor de pH fue calibrado mediante soluciones buffer estándar; el sensor de TDS, mediante soluciones de referencia; mientras que los sensores de turbidez y temperatura fueron verificados mediante comparación con valores patrón. Las mediciones obtenidas fueron contrastadas con un equipo portátil de medición de calidad de agua, observándose diferencias dentro de márgenes aceptables, lo que permitió validar la precisión del sistema desarrollado.

Como parte del proceso de desarrollo del sistema electrónico de monitoreo continuo, se estructuraron diversas etapas técnicas, las cuales se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 4.**

*Etapas de desarrollo del sistema electrónico de monitoreo continuo de la calidad del agua*

<b>Etapa</b>	<b>Componente del sistema</b>	<b>Actividad desarrollada</b>	<b>Descripción técnica</b>
Diseño electrónico	Placa de circuito impreso PCB.	Diseño e implementación del circuito.	Se diseñó una placa de circuito impreso específica para el proyecto, integrando el microcontrolador, los sensores y los módulos de alimentación y comunicación, asegurando estabilidad eléctrica y confiabilidad en la adquisición de datos.
Integración de sensores	Sensores de pH, temperatura, turbidez y TDS.	Conexión e interconexión de dispositivos.	Los sensores fueron conectados al microcontrolador mediante entradas analógicas y digitales, permitiendo la adquisición simultánea de los parámetros físico-químicos del agua.
Programación del sistema	Microcontrolador.	Desarrollo del algoritmo de medición	Se programó el microcontrolador para realizar la lectura automática de los sensores, procesar los datos y ejecutar rutinas de filtrado y promediado para mejorar la estabilidad de las mediciones.
Calibración	Sensores.	Ajuste de precisión.	Cada sensor fue calibrado mediante soluciones patrón (pH y TDS) y valores de referencia (temperatura y turbidez), garantizando la correspondencia entre las lecturas del sistema y los valores reales.
Validación	Sistema completo.	Comparación con equipo patrón	Las mediciones obtenidas por el sistema fueron contrastadas con un medidor portátil de calidad de agua, verificándose que las diferencias se mantuvieron dentro de márgenes aceptables.
Operación continua	Sistema de monitoreo.	Ejecución automática.	El sistema fue configurado para realizar mediciones periódicas de manera automática, registrando datos en tiempo real y permitiendo el cálculo de promedios diarios de los parámetros evaluados.

El sistema fue configurado para realizar mediciones automáticas con una frecuencia de muestreo establecida, permitiendo la captura periódica de datos y el cálculo de valores promedio representativos para cada parámetro evaluado, lo que garantiza un monitoreo continuo del estado físico-químico del agua de la piscigranja.

Con la finalidad de identificar los componentes tecnológicos utilizados en el sistema y los parámetros de calidad de agua que fueron medidos de manera continua, en la Tabla que se muestra a continuación se presenta la relación entre los sensores empleados, las variables físico-químicas monitoreadas y sus respectivas unidades de medida.

**Tabla 5*****Parámetros de calidad de agua y sensores utilizados en el sistema de monitoreo***

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Sensor utilizado</b>
pH	Escala Ph	PH-4502C
Temperatura	°C	DS18B20
Turbidez	NTU / Visibilidad (cm)	MD-TSW-20M
TDS (sólidos disueltos totales)	ppm	TDS V1.0

*Nota.* Los sensores fueron seleccionados por su compatibilidad con sistema de adquisición electrónica y capacidad para medir de forma continua los parámetros físicos-químicos del agua en sistemas acuícolas.

La Tabla presentada evidencia que el sistema de monitoreo desarrollado integra sensores electrónicos específicos para cada parámetro de calidad de agua, permitiendo la medición simultánea, automática y continua de variables críticas. Esta configuración garantiza la estabilidad de las lecturas y la transmisión confiable de datos en tiempo real, lo que resulta fundamental para la gestión técnica de la piscigranja.

Asimismo, la instrumentación empleada posibilita el registro permanente de variaciones térmicas, químicas y físicas del agua, lo cual resulta fundamental para la gestión técnica de la piscigranja, ya que facilita la detección temprana de cambios que podrían afectar el bienestar de las especies cultivadas. En conjunto, la configuración del sistema confirma su capacidad operativa para el monitoreo continuo de la calidad del agua, constituyéndose en una herramienta tecnológica adecuada para el control y la toma de decisiones en ambientes acuícolas.

Asimismo, para interpretar adecuadamente los valores registrados por el sistema de monitoreo, resulta necesario contrastarlos con referentes técnicos y normativos que permitan determinar si las condiciones del agua son favorables para la crianza de *Oreochromis spp.* (tilapia) reportados en la literatura técnica especializada y, por otro, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Esta comparación permite evaluar no solo la idoneidad del agua para la producción piscícola, sino también su compatibilidad con los límites ambientales vigentes.

**Tabla 6**

*Comparación entre los requerimientos de calidad de agua para Tilapia/ Oreochromis spp y los estándares de calidad ambiental / ECA del Decreto Supremo N° 004-2017-Minam*

Parámetro	Unidad	Rango recomendado para tilapia	ECA (DS N° 004-2017-MINAM)	Interpretación
pH	Escala Ph	6.5 - 8.5	6.5 - 9.0	El rango biológico de la tilapia está contenido dentro del rango ambiental permitido
Temperatura	°C	25 - 30 °C	Variación máxima $\pm 3$ °C respecto al promedio histórico	Los ECA Controlan variación ambiental; la tilapia requiere aguas cálidas para óptimo crecimiento
Turbidez	NTU / Visibilidad (cm)	Moderada $\approx 30 - 60$ cm de visibilidad	$\leq 25$ NTU	La tilapia tolera turbidez moderada; el límite ambiental es más estricto para proteger ecosistemas
TDS	ppm	$\sim 200 - 800$	$\leq 1\ 000$	El límite ambiental es amplio; el rango recomendado para tilapia está dentro de dicho límite

*Nota.* Los rangos de calidad de agua para la tilapia fueron adaptados de “Ideal Water Quality for Tilapia Fish Farming”, por FISHERY, s. f., “Water Quality Monitoring for Tilapia: Essential Equipment Guide” por Tilapia Fish Farming Business, s. f y “Developing highly accurate machine learning models for optimizing water quality management decisions in tilapia aquaculture” por Nature Research, 2025. Los “Valores de los Estándares de Calidad Ambiental / ECA” corresponden al Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, por Ministerio del Ambiente, 2017.

En coherencia con la comparación normativa y técnica presentada previamente, a continuación, se exponen los valores reales registrados por el sistema de monitoreo durante el periodo de estudio. La siguiente tabla presenta el comportamiento diario de los principales parámetros de calidad del agua medidos en la laguna evaluada, constituyendo el insumo cuantitativo sobre el cual se desarrolla el análisis posterior.

**Tabla 7**

*Análisis general de los parámetros monitoreados*

Fecha	TDS (ppm)	Temperatura (°C)	Turbidez (%)	pH
2025-09-23	236.125	21.699	41.315	7.114
2025-09-24	236.117	21.050	42.460	7.208
2025-09-25	235.738	22.236	41.966	6.991
2025-09-26	237.208	21.974	42.852	6.951
2025-09-27	238.825	21.367	45.230	7.327
2025-09-28	238.113	22.292	38.430	6.894
2025-09-29	241.796	21.788	43.962	7.136
2025-09-30	258.671	21.463	46.633	6.971
2025-10-01	257.567	21.933	43.143	6.990

2025-10-02	252.425	22.875	43.682	6.935
2025-10-03	258.313	23.164	42.646	7.055
2025-10-04	247.958	21.889	42.501	6.986
2025-10-05	258.092	23.123	41.918	6.989
2025-10-06	253.021	22.944	42.745	7.043
2025-10-07	257.046	23.148	43.514	7.013
2025-10-08	260.442	21.700	41.477	6.974
2025-10-09	254.308	21.753	43.345	6.922
2025-10-10	257.013	21.840	43.125	7.051
2025-10-11	253.154	22.996	42.813	6.978
2025-10-12	253.421	22.928	42.098	7.035
2025-10-13	253.713	22.921	42.761	6.998
2025-10-14	256.563	21.613	42.698	7.011
2025-10-15	253.529	21.797	41.815	6.965
2025-10-16	261.354	21.690	44.233	6.978
2025-10-17	253.004	21.698	42.011	7.004
2025-10-18	256.475	23.044	41.551	6.959
2025-10-19	252.263	22.932	42.220	7.035
2025-10-20	252.188	22.875	42.547	7.008
2025-10-21	253.596	23.203	42.570	6.965
2025-10-22	258.725	21.646	42.185	6.977
2025-10-23	251.646	22.838	45.085	6.999
2025-10-24	259.404	23.198	42.765	7.016
2025-10-25	255.958	23.113	42.747	7.000
2025-10-26	258.779	23.090	42.257	7.017
<b>Promedio</b>	<b>251.840</b>	<b>22.348</b>	<b>42.744</b>	<b>7.014</b>

A partir de los registros obtenidos por el sistema de monitoreo remoto, se calculó el promedio diario de los parámetros físicos y químicos del agua de la piscigranja TICUY durante el periodo comprendido entre el 23 de setiembre y el 26 de octubre de 2025. Estos parámetros fueron: temperatura, pH, sólidos disueltos totales (TDS) y turbidez.

El análisis de los promedios diarios muestra que:

#### a) Temperatura

La temperatura promedio registrada durante los 34 días fue de 22.35 °C, con valores diarios que oscilaron aproximadamente entre 21.05 °C y 23.20 °C. Este comportamiento muestra una variación térmica reducida, sin cambios bruscos entre

días consecutivos. Se observa una ligera tendencia al incremento a partir de inicios de octubre, lo cual es coherente con variaciones ambientales normales.

La estabilidad térmica observada indica que el sistema de medición en tiempo real permitió captar variaciones finas y progresivas de la temperatura, lo que es fundamental para la gestión de sistemas acuícolas, ya que cambios bruscos afectarían la fisiología de especies como la tilapia y el paiche. Además, el rango registrado se encuentra dentro de los valores aceptables para piscicultura tropical, lo que evidencia una condición térmica adecuada y controlada.

## **b) pH**

El pH promedio global fue de 7.014, con valores diarios que fluctuaron aproximadamente entre 6.89 y 7.33. La mayoría de los valores se concentraron muy cerca de la neutralidad (pH 7), con oscilaciones suaves y sin picos extremos.

Este comportamiento indica una alta estabilidad química del agua. La ausencia de cambios abruptos sugiere que no se produjeron procesos de acidificación o alcalinización crítica durante el periodo de estudio.

Desde el punto de vista del sistema de medición continua, la capacidad de registrar variaciones diarias de décimas de unidad (por ejemplo, 6.95, 7.01, 7.03) demuestra una alta sensibilidad y resolución del sistema, validando su utilidad para la vigilancia permanente del equilibrio ácido-base.

## **c) TDS (Sólidos disueltos totales)**

El valor promedio de TDS fue de 251.84 ppm, con registros diarios que variaron aproximadamente entre 235 ppm y 261 ppm. Se observa una tendencia moderadamente creciente hacia octubre, con fluctuaciones normales asociadas a procesos de alimentación, metabolismo de los peces y recambio del agua.

Los valores de TDS permanecieron dentro de un rango operativamente aceptable, sin incrementos críticos. La variabilidad diaria detectada evidencia que el sistema fue capaz de captar cambios reales en la concentración de sales y compuestos disueltos, lo que es clave para anticipar riesgos de estrés osmótico en los peces. Esto confirma

que el sistema no solo mide, sino que monitorea dinámicamente la evolución de la calidad del agua.

#### d) Turbidez

La turbidez promedio fue de 42.74 %, con valores que oscilaron aproximadamente entre 38.43 % y 46.63 %. Se observa que algunos días (por ejemplo 30 de septiembre, 27 de septiembre y 23 de octubre) presentaron incrementos de turbidez, lo cual es normal en ambientes acuícolas debido al removimiento de partículas del fondo, alimentación y movimiento de los peces.

La turbidez mostró variabilidad realista, lo cual confirma que el sistema detecta eventos físicos en el agua y no produce lecturas estáticas. Esto es crucial porque la turbidez afecta la oxigenación, la penetración de la luz y la sanidad del ecosistema. El hecho de identificar días con mayor turbidez demuestra que el sistema cumple su función de alerta temprana dentro de la medición continua.

Con la finalidad de evaluar la adecuación de la calidad del agua en la piscigranja TICUY para la crianza de tilapia, los valores medidos mediante el sistema de monitoreo fueron contrastados con los rangos recomendados para la especie *Oreochromis spp.* y con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Esta comparación permite identificar el nivel de cumplimiento normativo y biológico de los parámetros evaluados, así como determinar posibles riesgos para la productividad y la sostenibilidad del sistema acuícola.

**Tabla 8**

*Comparación entre los valores medidos en la piscigranja TICUY, los rangos recomendados para tilapia y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA)*

Parámetro	Unidad	Valor promedio medido	Rango recomendado para tilapia	ECA (DS N° 004-2017-MINAM)	Interpretación
pH	Escala Ph	7.014	6.5 - 8.5	6.5 - 9.0	Cumple con los rangos biológicos y ambientales.
Temperatura	°C	22.35	25 - 30 °C	Variación máxima $\pm 3$ °C	Cumple con ECA, pero está por debajo del rango óptimo para tilapia.
Turbidez	NTU / %	42.74%	30 – 60 cm (Moderada)	$\leq 25$ NTU	Aceptable para tilapia; podría exceder el límite ambiental.

TDS	ppm	251.84	~200 – 800	≤ 1 000	Cumple con los rangos biológicos y ambientales.
-----	-----	--------	------------	---------	---

Nota: Los valores promedio medidos fueron obtenidos a partir de los registros del sistema de monitoreo implementado en la piscigranja TICUY. Los rangos recomendados para tilapia fueron adaptados de FISHERY (s. f.), Tilapia Fish Farming Business (s. f.) y Nature Research (2025). Los valores de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) corresponden al Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM (Ministerio del Ambiente, 2017).

Con el propósito de evidenciar la correspondencia entre los componentes del sistema electrónico desarrollado y los resultados obtenidos durante el monitoreo continuo de la calidad del agua, se presenta la siguiente tabla, en la cual se relacionan los elementos tecnológicos implementados, su función dentro del sistema y la evidencia cuantitativa registrada en los resultados. Esta relación permite demostrar que los valores obtenidos no son producto de estimaciones teóricas, sino del funcionamiento integrado y validado del sistema de monitoreo diseñado.

**Tabla 9**  
*Relación entre los componentes del sistema de monitoreo y la evidencia de los resultados obtenidos*

Componente del sistema	Especificación técnica	Función dentro del sistema	Evidencia en los resultados
Microcontrolador	Unidad de control programable (embebida en PCB).	Coordina la lectura automática de sensores, procesa los datos y ejecuta el algoritmo de muestreo periódico.	Permite la generación de registros diarios continuos de pH, temperatura, TDS y turbidez durante 34 días consecutivos (Tabla 4).
Sensor de pH (PH-4502C)	Sensor electroquímico de pH.	Mide la concentración de iones H <sup>+</sup> para determinar la acidez o alcalinidad del agua.	Generó valores diarios de pH entre 6.89 y 7.33, con promedio de 7.014 (Tabla 4 y 5).
Sensor de temperatura (DS18B20)	Sensor digital de temperatura.	Mide la temperatura del agua con resolución fina.	Registró temperaturas entre 21.05 °C y 23.20 °C, permitiendo el análisis térmico continuo (Tabla 4).
Sensor de turbidez (MD-TSW-20M)	Sensor óptico de dispersión de luz.	Detecta partículas suspendidas en el agua.	Registró variaciones de turbidez entre 38.43 % y 46.63 %, evidenciando cambios físicos del agua (Tabla 4).
Sensor de TDS (TDS V1.0)	Sensor conductimétrico.	Mide la concentración de sólidos disueltos totales.	Permitió registrar variaciones entre 235 ppm y 261 ppm, reflejando cambios en sales disueltas (Tabla 4).
Placa de circuito impreso (PCB)	Diseño electrónico integrado	Integra sensores, microcontrolador y alimentación eléctrica	Garantizó estabilidad eléctrica y lecturas coherentes durante el periodo de monitoreo
Algoritmo de muestreo	Programa embebido en microcontrolador	Ejecuta lecturas periódicas y cálculo de promedios	Permitió obtener valores promedio diarios utilizados en el análisis técnico.
Sistema de calibración	Soluciones buffer y patrones de referencia	Ajusta y valida la precisión de los sensores	Aseguró que las mediciones se mantuvieran dentro de márgenes aceptables frente a equipos patrón.

La tabla evidencia que el sistema electrónico desarrollado permitió la medición continua y en tiempo real de los parámetros físico-químicos clave de la calidad del agua, mediante la integración funcional del microcontrolador, los sensores y el algoritmo de muestreo. El comportamiento estable de los componentes durante el periodo de operación confirma que el sistema fue capaz de adquirir, procesar y registrar datos de manera automática y sostenida.

Asimismo, la obtención de registros diarios y valores promedio demuestra que el sistema no solo permitió la captura instantánea de información, sino también la generación de datos estructurados para su posterior análisis técnico, cumpliendo con el objetivo de desarrollar un sistema de monitoreo continuo aplicable a una piscigranja.

### **Resultados del indicador 2:** Tecnología con sensores avanzados

En relación con el indicador “Tecnología con sensores avanzados”, el sistema desarrollado incorpora un microcontrolador ESP32-WROOM de 38 pines, el cual permitió la integración eficiente de sensores analógicos y digitales, así como el procesamiento de las señales obtenidas durante el monitoreo de la calidad del agua.

Los sensores analógicos de pH, TDS y turbidez fueron conectados a los convertidores analógico-digitales del microcontrolador, permitiendo transformar las señales eléctricas en valores físicos interpretables. El sensor de temperatura DS18B20, de tipo digital, fue integrado mediante un bus de comunicación específico, asegurando lecturas precisas y estables.

**Tabla 10.**

*Componentes tecnológicos integrados en el sistema*

<b>Componente</b>	<b>Modelo / especificación</b>	<b>Función</b>
Microcontrolador	ESP32-WROOM (38 pines)	Procesamiento y control
Sensor de pH	PH – 4520C	Medición de acidez
Sensor de temperatura	DS18B20	Medición térmica
Sensor TDS	TDS V1.0	Medición de sales inorgánicas
Sensor de turbidez	MD-TSW-20M	Medición de partículas suspendidas
Pantalla LCD	-----	Visualización local de datos

El sistema cuenta además con un firmware embebido que permite la lectura continua de los sensores, el procesamiento preliminar de los datos y la detección de fallos operativos. Los valores medidos pueden ser visualizados localmente mediante una pantalla LCD, lo que facilita el monitoreo inmediato de la calidad del agua. Desde el punto de vista físico, el sistema fue protegido mediante una carcasa impermeable con grado de protección IP67, diseñada para resguardar los componentes electrónicos frente a condiciones ambientales adversas. La estructura del prototipo permite su instalación en configuración fija o flotante, adaptándose a las condiciones de operación de la piscigranja.

Los resultados obtenidos demuestran que el sistema desarrollado incorpora tecnología con sensores avanzados, cumpliendo con el indicador establecido en el cuadro de operacionalización de variables.

**Tabla 11.**

*Sensibilidad de los sensores en la medición de los parámetros de calidad de agua*

<b>Parámetro</b>	<b>Tipo de variación observada</b>
Temperatura	Cambios de decimas (21.05 – 21.69 – 23.2)
Ph	Cambio de centésimas (6.951-7.014-7.035)
TDS	Cambios de ppm precisos (251.6 – 258.7 – 253.0)
Turbidez	Cambios continuos de porcentajes

Los resultados evidencian que el sistema implementado emplea tecnología basada en sensores avanzados, ya que los parámetros de temperatura, pH, TDS y turbidez presentan variaciones continuas y de alta resolución a lo largo de los 34 días de monitoreo. La detección de cambios en décimas y centésimas en el pH, así como en unidades de ppm para los sólidos disueltos, demuestra que los sensores poseen una sensibilidad suficiente para captar pequeñas variaciones fisicoquímicas del agua, lo cual es característico de sistemas de monitoreo de calidad profesional. Asimismo, la variabilidad observada en la turbidez confirma el uso de sensores ópticos capaces de registrar cambios dinámicos asociados a la actividad acuícola.

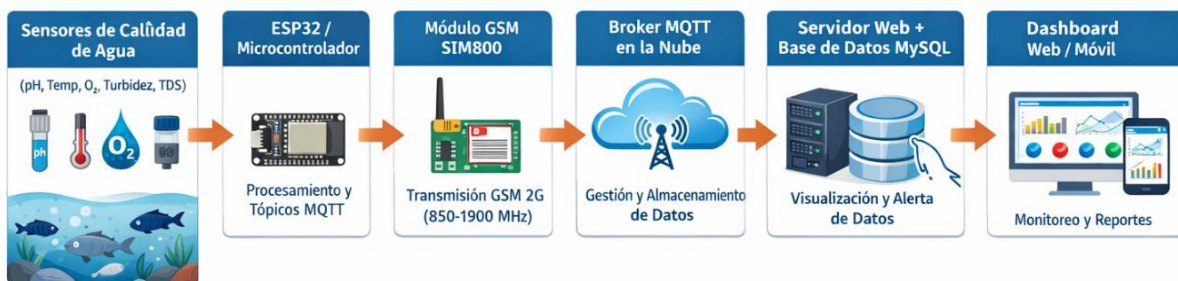
**Dimensión 2:** Trasmisión remota de datos a través de tecnologías inalámbricas.

### **Esquematación del proceso de transmisión de datos mediante tecnología inalámbrica**

Con la finalidad de contextualizar los resultados obtenidos en el diseño del sistema de transmisión de datos a través de tecnologías inalámbricas, se presenta en la siguiente figura el esquema general de la arquitectura implementada. Este diagrama muestra la integración de los componentes físicos y lógicos que conforman el sistema de monitoreo remoto de la calidad del agua en la piscigranja TICUY, permitiendo comprender el flujo de información desde la captura de los datos hasta su visualización remota.

**Figura 1.**

*Esquema del proceso de transmisión de datos inalámbrica del sistema de monitoreo remoto de calidad de agua*



La Figura presentada ilustra el funcionamiento integral del sistema propuesto. En primer lugar, los sensores de calidad de agua captan los parámetros físico-químicos y envían las lecturas al microcontrolador ESP32, donde se realiza el procesamiento inicial de los datos y su estructuración en mensajes MQTT. Posteriormente, el módulo GSM SIM800 transmite la información a través de la red celular 2G (bandas 850–1900 MHz) hacia el broker MQTT alojado en la nube. El broker MQTT gestiona la recepción y distribución de los mensajes, permitiendo su enrutamiento hacia el servidor web y la base de datos MySQL, donde los datos son almacenados y organizados. Finalmente, la información es presentada en tiempo real en el dashboard web y móvil, facilitando el monitoreo remoto, la generación de reportes y la supervisión continua de la calidad del agua.

Este esquema evidencia la integración coordinada de sensores, microcontrolador, tecnologías GSM, protocolo MQTT, infraestructura en la nube y plataformas de

visualización, demostrando la coherencia técnica del sistema diseñado para cumplir el objetivo de transmisión de datos a través de tecnologías inalámbricas.

Con el propósito de evaluar el desempeño del sistema de transmisión inalámbrica diseñado, se desarrolló una simulación pretest y postest que permitió analizar métricas técnicas relacionadas con la conectividad GSM, la comunicación mediante el protocolo MQTT, la integridad de los datos y la visualización remota de la información. Los resultados se organizaron en función de los indicadores establecidos en la operacionalización de la variable “Transmisión remota de datos”.

### Resultado del pretest del sistema de transmisión inalámbrica

En esta fase preliminar se evaluó el funcionamiento inicial del sistema antes de aplicar mejoras técnicas, con el propósito de establecer una línea base de desempeño. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 12**  
*Resultados del pretest del sistema de transmisión inalámbrica*

Métrica evaluada	Resultado pretest	Observación técnica
Intensidad de señal GSM (RSSI)	-85 dBm	Señal débil intermitente
Tiempo de conexión a red GSM	35s	Conexión lenta
Tiempo de conexión al broker MQTT	950 ms	Retraso inicial
Latencia promedio de trasmisión	1200 ms	Alta latencia
Mensajes enviados	12	Intervalo 10 min / 2h
Mensajes recibidos	9	Se perdieron 3 mensajes
Porcentaje de pérdida de datos	25%	Inestable
Reconexiones del módulo	4	Fallas de enlace
Errores de transmisión	3	Timeouts MQTT
Integridad de datos	75%	Incompleta
Visualización en dashboard	Parcial	Retardos y vacíos
Seguridad en broker MQTT	No configurada	Sin usuario/clave

Los resultados del pretest evidencian un desempeño limitado del sistema de transmisión inalámbrica. La intensidad de señal GSM de -85 dBm indica una conectividad débil, lo que se reflejó en un tiempo de conexión prolongado de 35 segundos y en cuatro reconexiones del módulo. Asimismo, la latencia elevada de 1200 ms y la pérdida de datos del 25 % revelan una comunicación inestable con el broker MQTT. La integridad de los datos alcanzó solo el 75 %, y la visualización en el

dashboard fue parcial. Además, no se contaba con mecanismos de seguridad en el broker MQTT, lo que representaba un riesgo para la protección de la información transmitida.

### Mejoras técnicas implementadas

A partir de los problemas detectados en el pretest, se realizaron mejoras orientadas a optimizar la conectividad GSM, la confiabilidad del protocolo MQTT, la integridad de los datos y la seguridad del sistema. Estas mejoras se detallan a continuación:

**Tabla 13**

Mejoras técnicas realizadas en base a resultados del pretest

Problema detectado	Mejora implementada	Justificación técnica	Impacto esperado
Señal GSM débil (-85 dBm)	Reubicación de antena del SIM800 y uso de antena externa de mayor ganancia.	Mejora recepción de señal celular.	Incremento de RSSI.
Tiempo de conexión lento (35s)	Optimización del script de inicialización del SIM800.	Reduce retardos al iniciar la red GSM.	Menor tiempo de conexión.
Alta latencia MQTT (1200ms)	Reducción del tamaño de payload MQTT.	Menor carga de red	Menor latencia.
Pérdida de mensajes (25%)	Implementación de Reintentos automáticos.	Asegura reenvío de datos fallidos	Cero pérdidas.
Reconexiones frecuentes (4)	Programación de Watchdog de red.	Reinicia conexión ante fallas.	Menos reconexiones.
Errores MQTT (3)	Ajuste de QoS = 1 y keep-alive.	Mejora confiabilidad MQTT.	Cero errores.
Integridad incompleta (75%)	Validación CRC de datos enviados.	Detecta corrupción de datos.	Integridad 100%.
Visualización parcial	Sincronización Backend-dashboard	Evita vacíos de datos.	Visualización completa.
Seguridad inexistente	Configuración del usuario y contraseña MQTT	Protege accesos al broker.	Seguridad activa.
Intervalo inestable	Fijación de Temporizador interno.	Garantiza periodicidad.	Intervalo estable.

Las mejoras se centraron en fortalecer la estabilidad de la señal GSM, optimizar el intercambio de datos vía MQTT y asegurar la integridad y seguridad de la información transmitida. La incorporación de mecanismos automáticos de reconexión, validación de datos y autenticación permitió corregir las principales deficiencias técnicas identificadas en el pretest.

## Resultados del postest del sistema de transmisión inalámbrica

Luego de aplicar las mejoras técnicas, se ejecutó un postest para evaluar el desempeño del sistema optimizado. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

**Tabla 14.**

*Postest de evaluación de desempeño de mejoras implementadas*

Indicador	Métrica evaluada	Resultado pretest
Tecnología GSM 2G	Intensidad de señal GSM (RSSI)	-70 dBm
Tecnología GSM 2G	Tiempo de conexión a red GSM	15s
Red MQTT	Latencia promedio de transmisión	350 ms
Red MQTT	Mensajes perdidos	0%
Protocolos de comunicación	Reconexiones	0
Protocolos de comunicación	Errores de transmisión	0
Sensores de medición	Correspondencia enviados / recibidos	100%
Integridad de datos	Paquetes íntegros	100%
Seguridad de datos	Autenticación MQTT	Activa
Visualización	Actualización de dashboard	Correcta
Visualización	Intervalo de envío	60 min (estable)

El postest evidenció una mejora significativa en todos los indicadores evaluados. La intensidad de señal GSM aumentó a -70 dBm, reduciendo el tiempo de conexión a 15 segundos. La latencia disminuyó a 350 ms y se eliminó la pérdida de mensajes. Asimismo, no se registraron reconexiones ni errores de transmisión, lo que demuestra una comunicación estable. La correspondencia entre los datos enviados y recibidos alcanzó el 100 %, garantizando la integridad de la información. Además, se activaron mecanismos de seguridad mediante autenticación MQTT y se logró una visualización remota correcta con intervalos de envío estables.

## Análisis de resultados por indicador

**Tabla 15**

*Resultados del indicador: Tecnología GSM 2G (850-1900 MHz)*

Parámetro evaluado	Pretest	Postest	Variación	Interpretación técnica
Intensidad de señal (RSSI)	-85 dBm	- 70 dBm	+15 dB	Mejora la significancia en la potencia de señal celular
Tiempo de conexión	35 segundos	15 segundos	-20 segundos	Reducción del tiempo de establecimiento de enlace

Estabilidad del enlace	baja	Alta	-	Mayor continuidad de transmisión
------------------------	------	------	---	----------------------------------

En el pretest, la señal GSM presentó un RSSI de -85 dBm y tiempos de conexión prolongados de 35 segundos. Tras la reubicación de la antena y la optimización del módulo SIM800, el RSSI mejoró a -70 dBm y el tiempo de conexión se redujo a 15 segundos en el postest. Esto evidencia una mejora sustancial en la estabilidad de la conectividad celular, garantizando una transmisión mas confiable de los datos hacia la nube.

**Tabla 16**

*Resultados del indicador: Red de comunicación MQTT*

Parámetro evaluado	Pretest	Postest	Variación	Interpretación técnica
Latencia promedio	1200 ms	350 ms	-850 ms	Mejora notable en el tiempo de entrega de mensajes.
Pérdida de mensajes	25%	0%	-25%	Eliminación total de pérdida de paquetes.
Configuración QoS	No optimizada	Optimizada	-	Mayor confiabilidad en la entrega de mensajes.
Keep-alive	No ajustado	Ajustado	-	Conexión MQTT más estable.

Durante el pretest se registró una latencia de 1200 ms y una pérdida de mensajes del 25 %. Luego de optimizar el tamaño del payload y ajustar el QoS y el keep-alive, la latencia se redujo a 350 ms y la pérdida de mensajes fue eliminada, confirmando la eficiencia del protocolo MQTT cuando es adecuadamente configurado para entornos de trasmisión remota.

**Tabla 17**

*Resultados del indicador: Protocolos de comunicación*

Parámetro evaluado	Pretest	Postest	Variación	Interpretación técnica
Reconexiones del módulo	4	0	-4	Eliminación de caídas de enlace.
Errores de transmisión	3	0	-3	Mejora total en la confiabilidad.
Reintentos automáticos	No	Sí	-	Mayor tolerancia a fallos.
Watchdog de red	No	Sí	-	Supervisión activa de la conexión.

El pretest mostró cuatro reconexiones del módulo y tres errores de transmisión. Con la implementación de reintentos automáticos y un watchdog de red, el postest no registró reconexiones ni errores, demostrando una mejora en la confiabilidad del protocolo de comunicación del sistema.

**Tabla 18***Resultados del indicador: Sensores de medición*

Parámetro evaluado	Pretest	Postest	Variación	Interpretación técnica
Datos erróneos	12%	0%	-12	Eliminación de errores de lectura.
Correspondencia envío - recepción	88%	100%	+12	Transmisión íntegra de los datos.
Validación CRC	No	Sí	-	Detección activa de corrupción.
Consistencia de mediciones	Media	Alta	-	Mayor confiabilidad de los sensores.

Durante el pretest se detectó un 12 % de datos erróneos y una correspondencia incompleta entre valores enviados y recibidos. Tras la validación CRC, el postest alcanzó una correspondencia del 100 %, eliminando errores por corrupción de datos. Esto evidencia una mejora significativa en la confiabilidad de las mediciones transmitidas por el sistema.

**Tabla 19***Resultados del indicador: Integridad y seguridad de los datos transmitidos*

Parámetro evaluado	Pretest	Postest	Variación	Interpretación técnica
Integridad de datos	75%	100%	+25%	Transmisión completamente confiable.
Mecanismo de reenvío	No	Sí	-	Recuperación automática de datos.
Validación CRC	No	Sí	-	Detección de errores en paquetes.
Autenticación MQTT	No	Sí	-	Protección de acceso a la red.
Nivel de seguridad	Bajo	Alto	-	Cumplimiento de condiciones mínimas de seguridad.

En el pretest, la integridad de los datos fue del 75 % y no existían mecanismos de seguridad. Con la implementación de reenvíos automáticos, validación CRC y autenticación MQTT, el postest alcanzó una integridad del 100 % y una seguridad activa, cumpliendo condiciones mínimas de confiabilidad y protección de la información.

**Tabla 20***Comparación global pretest vs postest*

Indicador	Métrica evaluada	Pretest	Postest	Mejora
Tecnología GSM 2G	RSSI	-85 dBm	-70 dBm	+15 dBm
Tecnología GSM 2G	Tiempo de conexión	35s	15s	-20s
Red MQTT	Latencia	1200 ms	350 ms	-850 ms
Red MQTT	Mensajes perdidos	25%	0%	-25%

Protocolos de comunicación	Reconexiones	4	0	-4
Protocolos de comunicación	Errores	3	0	-3
Sensores de medición	Datos erróneos	12%	0%	-12%
Integridad de datos	Paquetes íntegros	75%	100%	+25%
Seguridad de datos	Autenticación	No	Sí	Implementada
Visualización	Fallas dashboard	Frecuentes	Ninguna	Eliminadas

La comparación evidencia mejoras significativas en todos los indicadores. Se redujo drásticamente la latencia, la pérdida de datos, las reconexiones y los errores de transmisión. Asimismo, se fortaleció la integridad de los datos hasta alcanzar el 100 % y se implementaron mecanismos de seguridad inexistentes en el pretest.

Los resultados permiten afirmar que se cumplió el objetivo específico de diseñar un sistema de transmisión de datos a través de tecnologías inalámbricas. El sistema implementado logró transmitir exitosamente los datos generados por los sensores desde el ESP32 hacia la nube mediante tecnología GSM/GPRS y el protocolo MQTT, con comunicación estable, latencia reducida, integridad del 100 %, seguridad activa y visualización remota correcta. En consecuencia, se demuestra la viabilidad técnica del sistema propuesto para el monitoreo remoto de la calidad del agua en la piscigranja TICUY sin dependencia de redes WiFi.

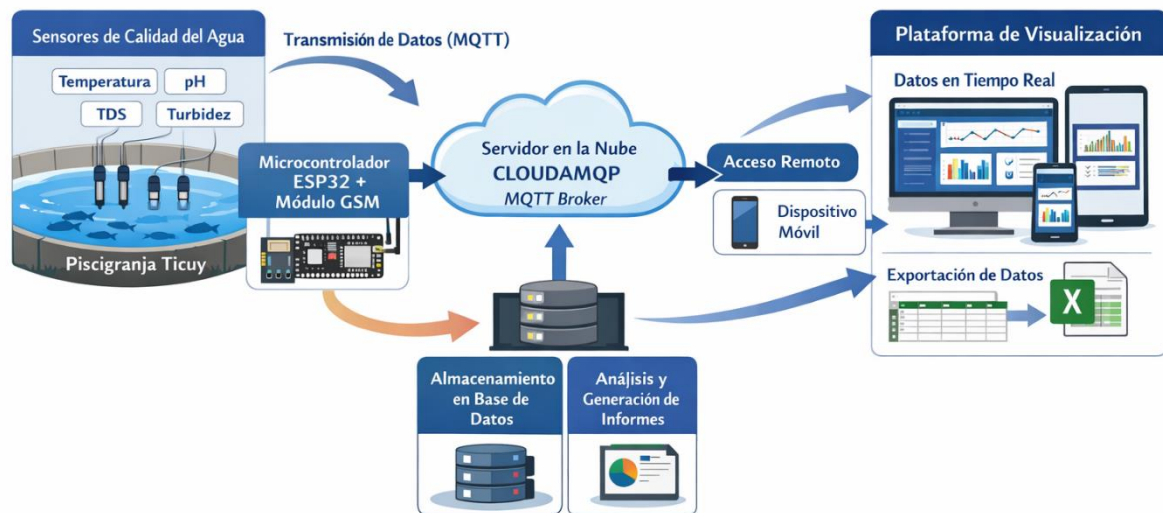
### **Dimensión 3: Plataforma para visualización de datos**

#### **Esquematización del desarrollo de la plataforma para visualización de los datos históricos y en tiempo real para el monitoreo remoto de la calidad del agua en la piscigranja Ticuy.**

El siguiente esquema resume los componentes principales y el flujo de información que permite la captura, transmisión, almacenamiento y visualización de los datos generados por los sensores, en cumplimiento del tercer objetivo específico de la investigación.

**Figura 2.**

*Esquema de la plataforma para la visualización de los datos históricos y en tiempo real del sistema de monitoreo remoto de calidad de agua*



De acuerdo con la esquemización presentada, el sistema integra de manera articulada los sensores de monitoreo, el protocolo de comunicación MQTT, el broker en la nube CLOUDAMQP y la plataforma de visualización desarrollada en Python. Esta integración permite la visualización local y remota de los parámetros de calidad del agua, así como el registro histórico de la información, garantizando un monitoreo continuo, accesible y confiable. Asimismo, el esquema evidencia la eficiencia del diseño implementado para el análisis de datos en tiempo real y la generación de información útil para la toma de decisiones en la piscigranja TICUY.

Los resultados se organizan conforme los siguientes indicadores:

### **Indicador 1: Plataforma web o móvil intuitiva**

La plataforma desarrollada en lenguaje Python evidenció un funcionamiento estable e intuitivo, permitiendo la visualización clara y ordenada de los datos provenientes del sistema de monitoreo de la calidad del agua. La interfaz gráfica fue diseñada priorizando la facilidad de uso, de modo que el usuario pueda interpretar rápidamente los valores mostrados sin requerir conocimientos técnicos avanzados.

La conexión con el servidor de mensajería MQTT se realizó a través del servicio CLOUDAMQP, utilizando los parámetros de configuración correspondientes al nombre del host, URL del servicio, puertos de comunicación y credenciales de

acceso. Esta configuración garantizó una comunicación continua y segura entre el sistema de adquisición de datos y la plataforma de visualización.

**Figura 3.**  
*Información técnica del servidor CloudAMQP*

The screenshot displays the CloudAMQP management interface. The top navigation bar includes the 'Resource' dropdown set to 'TESIS\_ELECTRÓNICA' and a user profile for 'TESIS\_UNPRG'. The left sidebar contains navigation options: 'Administrador de LavinMQ', 'Descripción general', 'LAVINMQ' (with sub-items 'Grupo' and 'Definiciones'), and 'ESCUCHA' (with sub-items 'Alarmas', 'Diagnóstico', 'Métrica', 'Registro', and 'Integraciones de métricas'). The main content area is divided into three panels: 1. 'General' panel showing: Región: servicios web de amazon:us-east-1; Grupo: leopard.lmq.cloudamqp.com (DNS con equilibrio de carga); Anfitriones: leopard-01.lmq.cloudamqp.com (Zona de disponibilidad use1-az4); Creado en: 26/07/2025 03:57 UTC+00:00. 2. 'Detalles de AMQP' panel showing: Usuario y Vhost: schifubb; Contraseña: masked with a 'Rotar contraseña' button; Puertos: 5672 (5671 para TLS). 3. 'Plan Activo' panel showing a 'Lemming leal' plan with a 'Plan de actualización' button. A 'Límites' panel shows 'Conexiones abiertas: 2 de 40' and a 'Tiempo máximo de' field, with an 'Apoyo humano' button.

La figura presenta información general del servicio CloudAMQP, donde se describen aspectos como el tipo de plan, características básicas del servidor y parámetros generales de operación del broker MQTT. Esta información permite contextualizar la infraestructura en la nube empleada para la gestión y enrutamiento de los datos transmitidos por el sistema de monitoreo, evidenciando el soporte tecnológico sobre el cual se implementó la plataforma de visualización de datos del presente estudio.

En la siguiente figura se muestra la información de configuración del servidor MQTT en la nube empleada para la conexión del sistema de monitoreo con la plataforma de visualización de datos.

**Figura 4.**  
*Configuración del servidor AMQP*

### Detalles de AMQP

Usuario y Vhost	schifubb		
Contraseña	***  	 Rotar contraseña	
Puertos	5672 (5671 para TLS)		
URL	amqps://schifubb:***@leopard.lmq.cloudamqp.com/schifubb  		

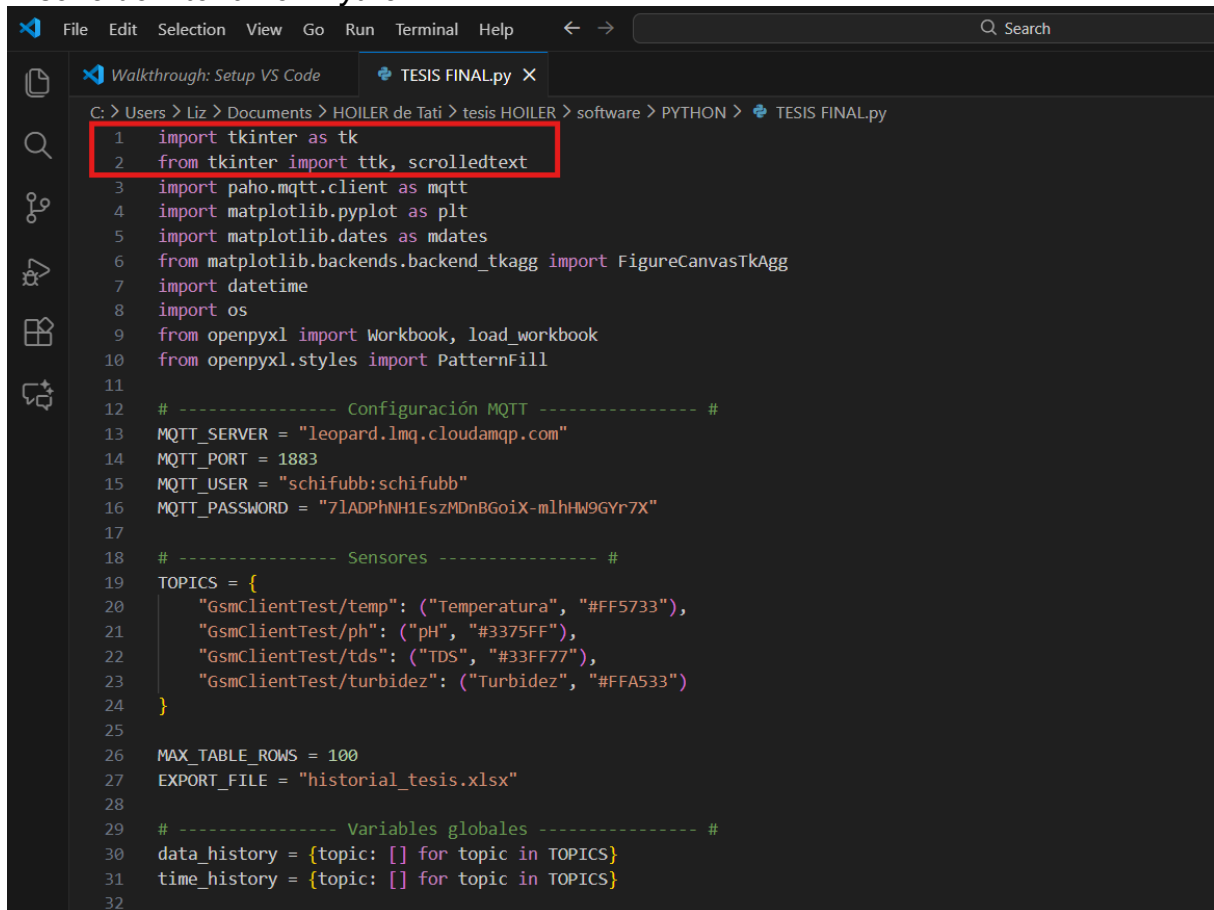
### Detalles de MQTT

Nombre de host	leopardo.lmq.cloudamqp.com		
Puertos	1883 (8883 para TLS)		
Nombre de usuario	schifubb:schifubb		
Contraseña	7IADPhNH1EszMDnBGoiX-mlhHW9GYr7X 		

La configuración presentada del servidor MQTT en la nube permitió establecer una comunicación segura y estable entre el sistema de monitoreo y la plataforma de visualización de datos. Los parámetros mostrados, como el nombre del host, los puertos de comunicación, la URL de acceso y las credenciales de autenticación, garantizan la correcta suscripción y publicación de los datos provenientes de los sensores. Esta configuración resulta fundamental para asegurar la transmisión continua de la información, facilitar el acceso remoto a los datos y respaldar el funcionamiento confiable de la plataforma desarrollada para el monitoreo de la calidad del agua en la piscigranja TICUY.

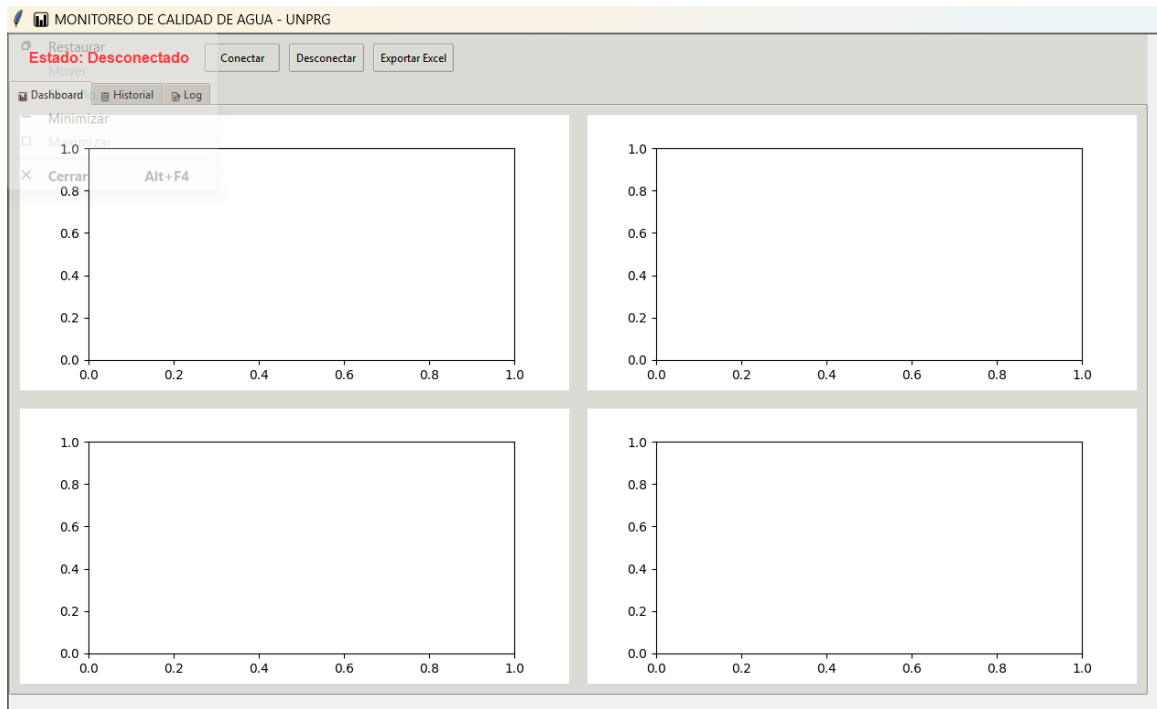
Una vez establecida la conexión, la plataforma permitió la visualización local y remota de los datos de los sensores en tiempo real, mostrando los valores actuales de los parámetros de calidad del agua de forma dinámica. Asimismo, se implementó un modo de operación con conexión y sin conexión, lo cual aseguró la continuidad del monitoreo ante eventuales interrupciones de red.

**Figura 5.**  
*Diseño de interfaz en Python*

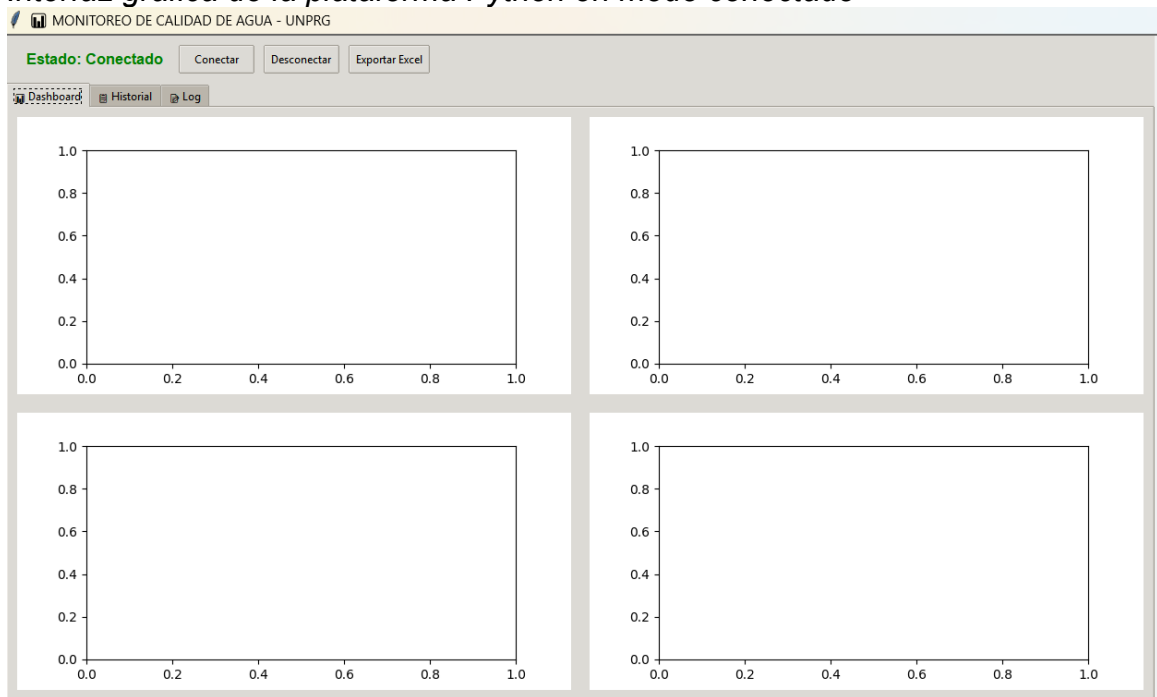


```
File Edit Selection View Go Run Terminal Help
Walkthrough: Setup VS Code TESIS FINAL.py X
C:\Users\Liz\Documents\HOILER de Tati\tesis HOILER\software\PYTHON\TESIS FINAL.py
1 import tkinter as tk
2 from tkinter import ttk, scrolledtext
3 import paho.mqtt.client as mqtt
4 import matplotlib.pyplot as plt
5 import matplotlib.dates as mdates
6 from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
7 import datetime
8 import os
9 from openpyxl import Workbook, load_workbook
10 from openpyxl.styles import PatternFill
11
12 # ----- Configuración MQTT ----- #
13 MQTT_SERVER = "leopard.lmq.cloudamqp.com"
14 MQTT_PORT = 1883
15 MQTT_USER = "schifubb:schifubb"
16 MQTT_PASSWORD = "7lADPhNH1EszMDn8GoiX-mlhHW9GYr7X"
17
18 # ----- Sensores ----- #
19 TOPICS = {
20     "GsmClientTest/temp": ("Temperatura", "#FF5733"),
21     "GsmClientTest/ph": ("pH", "#3375FF"),
22     "GsmClientTest/tds": ("TDS", "#33FF77"),
23     "GsmClientTest/turbidez": ("Turbidez", "#FFA533")
24 }
25
26 MAX_TABLE_ROWS = 100
27 EXPORT_FILE = "historial_tesis.xlsx"
28
29 # ----- Variables globales ----- #
30 data_history = {topic: [] for topic in TOPICS}
31 time_history = {topic: [] for topic in TOPICS}
32
```

**Figura 6.**  
*Interfaz gráfica de la plataforma Python en modo sin conexión*



**Figura 7.**  
*Interfaz gráfica de la plataforma Python en modo conectado*



El diseño de la interfaz, sustentado en librerías gráficas de Python, permitió una disposición ordenada de la información, facilitando el monitoreo continuo de la piscigranja TICUY y contribuyendo a una gestión más eficiente de la calidad del agua.

El análisis que se presenta a continuación, presenta la evaluación del funcionamiento de la plataforma de visualización antes y después de su implementación, mostrando mejoras significativas en la disponibilidad de datos en tiempo real, acceso a históricos, actualización automática y facilidad de uso para el monitoreo de la calidad del agua.

**Tabla 21**

*Resultados del funcionamiento de la plataforma de visualización*

<b>Aspecto evaluado</b>	<b>Pretest</b>	<b>Postest</b>
Visualización en tiempo real	No disponible	Disponible
Visualización de datos históricos	No disponible	Disponible
Funcionamiento sin conexión	Limitado	Funcional
Actualización automática de datos	No	Si
Interfaz gráfica intuitiva	No	SI

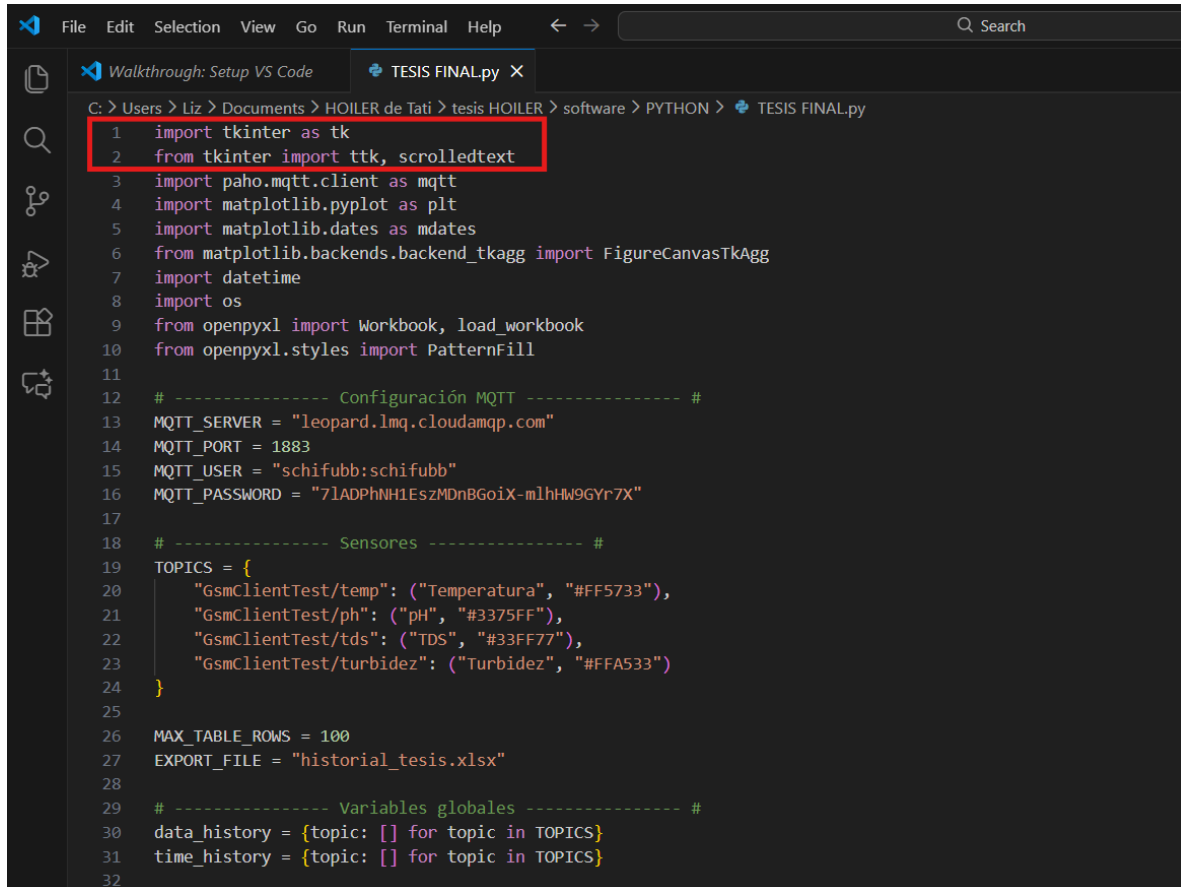
Los resultados evidencian que, en la etapa previa a la implementación de la plataforma, no se contaba con un sistema que permitiera la visualización organizada y continua de los datos. Tras el desarrollo de la plataforma, se logró una visualización clara y estructurada de los parámetros monitoreados, permitiendo al usuario acceder de forma inmediata a la información relevante sobre la calidad del agua.

Asimismo, las pruebas realizadas demostraron que la plataforma mantiene un funcionamiento estable tanto en escenarios con conexión activa al broker MQTT como en situaciones de operación sin conexión, asegurando la continuidad del monitoreo. Estos resultados confirman que la plataforma desarrollada cumple con el criterio de ser una herramienta intuitiva y funcional para el monitoreo remoto de la piscigranja TICUY.

## Indicador 2: Herramientas de análisis de datos y generación de informes

**Figura 8.**

*Fragmento del código fuente en Python correspondiente a la configuración del Broker en la nube CLOUDAMQP*



```
C:\Users\Liz\Documents\HOILER de Tati\tesis HOILER\software\PYTHON\TESIS FINAL.py
1 import tkinter as tk
2 from tkinter import ttk, scrolledtext
3 import paho.mqtt.client as mqtt
4 import matplotlib.pyplot as plt
5 import matplotlib.dates as mdates
6 from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
7 import datetime
8 import os
9 from openpyxl import Workbook, load_workbook
10 from openpyxl.styles import PatternFill
11
12 # ----- Configuración MQTT ----- #
13 MQTT_SERVER = "leopard.lmq.cloudamqp.com"
14 MQTT_PORT = 1883
15 MQTT_USER = "schifubb:schifubb"
16 MQTT_PASSWORD = "71ADPhNH1EsZMDnBGoiX-mlhHW9GYr7X"
17
18 # ----- Sensores ----- #
19 TOPICS = {
20     "GsmClientTest/temp": ("Temperatura", "#FF5733"),
21     "GsmClientTest/ph": ("pH", "#3375FF"),
22     "GsmClientTest/tds": ("TDS", "#33FF77"),
23     "GsmClientTest/turbidez": ("Turbidez", "#FFA533")
24 }
25
26 MAX_TABLE_ROWS = 100
27 EXPORT_FILE = "historial_tesis.xlsx"
28
29 # ----- Variables globales ----- #
30 data_history = {topic: [] for topic in TOPICS}
31 time_history = {topic: [] for topic in TOPICS}
32
```

Asimismo, el código integra herramientas que permiten el análisis y la gestión de la información recopilada por el sistema de monitoreo. La definición de los tópicos MQTT y la configuración del broker en la nube mediante CLOUDAMQP posibilitan la recepción continua de datos, los cuales son almacenados en estructuras históricas para su posterior análisis. Adicionalmente, la implementación de librerías como Matplotlib y OpenPyXL permite la generación de gráficos dinámicos y la exportación de los datos históricos a archivos en formato Excel, constituyéndose en una herramienta eficaz para el análisis de tendencias y la elaboración de informes técnicos, cumpliendo con los objetivos de visualización y análisis establecidos en el estudio.

A continuación, se detalla la funcionalidad del código

### Figura 9.

*Importación de librerías – Base de la plataforma*

```
import tkinter as tk
from tkinter import ttk, scrolledtext
import paho.mqtt.client as mqtt
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.dates as mdates
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
import datetime
import os
from openpyxl import Workbook, load_workbook
from openpyxl.styles import PatternFill
```

Aquí se preparan todas las herramientas necesarias para que la plataforma funcione:

- Tkinter: creación de la interfaz gráfica (ventanas, tablas, paneles).
- Paho MQTT: conexión con el broker MQTT para recibir datos en tiempo real.
- Matplotlib: generación de gráficos históricos y en tiempo real.
- OpenPyXL: registro y exportación de datos históricos a Excel.
- Datetime y OS: manejo de tiempo y archivos.

Queda evidenciado que la plataforma no solo visualiza, sino que almacena y analiza datos, alineándose con el indicador herramientas de análisis y generación de informes.

### Figura 10.

*Configuración del servidor MQTT en la nube*

```
MQTT_SERVER = "leopard.lmq.cloudamqp.com"
MQTT_PORT = 1883
MQTT_USER = "schifubb:schifubb"
MQTT_PASSWORD = "7LADPHNHLZSZDnBGoix-m1hHW9GYr7x"
```

En este bloque se define la conexión al broker MQTT CLOUDAMQP, especificando:

- Servidor (host): ubicación del broker en la nube.
- Puerto 1883: puerto estándar MQTT.
- Usuario y contraseña: autenticación del servicio.

El código garantiza que la comunicación sea segura y controlada, con acceso remoto a los datos y tenga estabilidad en la transmisión.

### **Figura 11.**

Definición de tópicos MQTT (datos que se reciben)

```
TOPICS = {  
    "GsmClientTest/temp": ("Temperatura", "#FF5733"),  
    "GsmClientTest/ph": ("pH", "#33FF57"),  
    "GsmClientTest/tds": ("TDS", "#33FF77"),  
    "GsmClientTest/turbidez": ("Turbidez", "#FFA533")  
}
```

Aquí se establecen los tópicos MQTT, que representan cada parámetro monitoreado: temperatura, pH, TDS y Turbidez. Cada tópico incluye: El nombre del parámetro y un color para su representación gráfica, permitiendo la visualización organizada, gráficos diferenciados y monitoreo en tiempo real por variable.

### **Figura 12.**

*Gestión del historial de datos*

```
MAX_TABLE_ROWS = 100  
EXPORT_FILE = "historial_tesis.xlsx"
```

El código limita la cantidad de registros visibles para mantener fluidez y define el archivo Excel donde se guardan los datos históricos.

**Figura 13.**

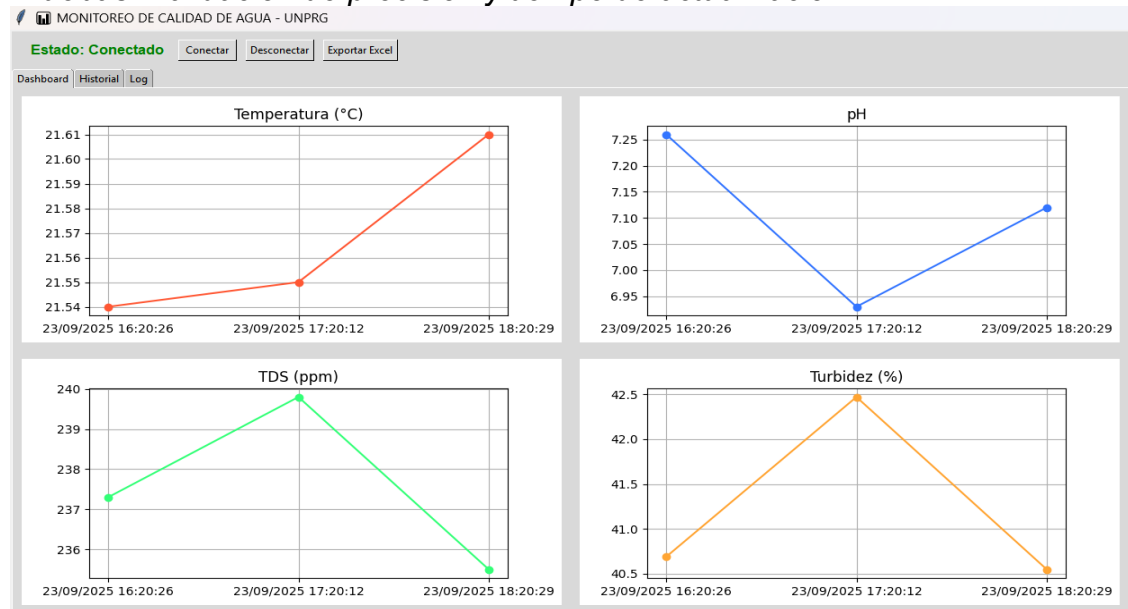
*Inicialización de estructuras para datos históricos*

```
data_history = {topic: [] for topic in TOPICS}  
time_history = {topic: [] for topic in TOPICS}
```

Aquí se crean estructuras que permiten: almacenar valores históricos, asociarlos con su marca de tiempo y generar gráficos y reportes posteriores.

**Figura 14.**

*Pruebas: Validación de precisión y tiempo de actualización*



Las imágenes correspondientes a los reportes de pruebas de validación evidencian el correcto funcionamiento de la plataforma de visualización desarrollada, tanto en términos de precisión de los datos como en el tiempo de actualización de la información. Los valores mostrados en la interfaz coinciden de manera consistente con los datos transmitidos por los sensores a través del sistema MQTT, lo que confirma la integridad y exactitud de la información procesada por la plataforma.

Asimismo, se observa que el tiempo de actualización de los parámetros monitoreados se realiza de forma casi inmediata tras la recepción de los datos desde el broker en la nube, permitiendo una visualización en tiempo real sin retrasos significativos. Este comportamiento valida la eficiencia del sistema de comunicación y de la plataforma desarrollada, garantizando un monitoreo oportuno y confiable de la calidad del agua

en la piscigranja TICUY, en coherencia con los indicadores de visualización intuitiva y herramientas de análisis de datos establecidos para el tercer objetivo del estudio.

**Figura 15.**  
*Reporte de monitoreo de calidad de agua*

MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA - UNPRG

Estado: **Conectado**    Conectar    Desconectar    Exportar Excel

Dashboard    Historial    Log

Tiempo	Sensor	Valor
23/09/2025 16:20:26	Temperatura (°C)	21.54
23/09/2025 16:20:26	pH	7.26
23/09/2025 16:20:26	TDS (ppm)	237.30
23/09/2025 16:20:26	Turbidez (%)	40.69
23/09/2025 17:20:12	Temperatura (°C)	21.55
23/09/2025 17:20:12	pH	6.93
23/09/2025 17:20:12	TDS (ppm)	239.80
23/09/2025 17:20:12	Turbidez (%)	42.47
23/09/2025 18:20:29	Temperatura (°C)	21.61
23/09/2025 18:20:29	pH	7.12
23/09/2025 18:20:29	TDS (ppm)	235.50
23/09/2025 18:20:29	Turbidez (%)	40.55

Copiar Tabla

**Figura 16.**  
*Exportación de reporte en excel de monitoreo de calidad de agua*

historial\_tesis - Excel

Archivo    Inicio    WPS PDF    Insertar    Dibujar    Disposición de página    Fórmulas    Datos    Revisar    Vista    Ayuda    ¿Qué desea hacer?

Portapapeles    Fuente    Alineación    Número    Estilos

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Tiempo	Sensor	Valor	Color							
2	23/09/2025 16:20:26	Temperatura (°C)	21.54	verde							
3	23/09/2025 16:20:26	pH	7.26	verde							
4	23/09/2025 16:20:26	TDS (ppm)	237.3	verde							
5	23/09/2025 16:20:26	Turbidez (%)	40.69	verde							
6	23/09/2025 17:20:12	Temperatura (°C)	21.55	verde							
7	23/09/2025 17:20:12	pH	6.93	verde							
8	23/09/2025 17:20:12	TDS (ppm)	239.8	verde							
9	23/09/2025 17:20:12	Turbidez (%)	42.47	verde							
10	23/09/2025 18:20:29	Temperatura (°C)	21.61	verde							
11	23/09/2025 18:20:29	pH	7.12	verde							
12	23/09/2025 18:20:29	TDS (ppm)	235.5	verde							
13	23/09/2025 18:20:29	Turbidez (%)	40.55	verde							
14	23/09/2025 19:20:54	Temperatura (°C)	21.52	verde							
15	23/09/2025 19:20:54	pH	7.33	verde							
16	23/09/2025 19:20:54	TDS (ppm)	235.1	verde							
17	23/09/2025 19:20:54	Turbidez (%)	42.75	verde							
18	23/09/2025 20:20:38	Temperatura (°C)	21.61	verde							
19	23/09/2025 20:20:38	pH	6.84	verde							
20	23/09/2025 20:20:38	TDS (ppm)	232.8	verde							
21	23/09/2025 20:20:38	Turbidez (%)	41.27	verde							
22	23/09/2025 21:20:44	Temperatura (°C)	21.99	verde							
23	23/09/2025 21:20:44	pH	7.1	verde							
24	23/09/2025 21:20:44	TDS (ppm)	238.7	verde							
25	23/09/2025 21:20:44	Turbidez (%)	40.44	verde							
26	23/09/2025 22:20:41	Temperatura (°C)	21.89	verde							

Las imágenes presentadas representan el reporte de indicadores del monitoreo de la calidad del agua muestra de manera estructurada y comprensible los valores registrados para los principales parámetros evaluados, tales como temperatura, pH, turbidez y sólidos disueltos totales (TDS). La presentación conjunta de estos indicadores permite una visión integral del estado del agua en la piscigranja TICUY, facilitando la supervisión continua y el análisis comparativo de su comportamiento a lo largo del periodo de monitoreo.

Asimismo, el reporte evidencia la capacidad de la plataforma para consolidar información en tiempo real y datos históricos, constituyéndose en una herramienta de apoyo para la toma de decisiones técnicas. Esta funcionalidad contribuye a la detección oportuna de variaciones en los parámetros monitoreados, fortaleciendo la gestión de la calidad del agua y cumpliendo con los indicadores establecidos para la plataforma de visualización de datos dentro del tercer objetivo del estudio.

La siguiente tabla, presenta la evaluación comparativa del desempeño de las herramientas de análisis y generación de informes antes (Pretest) y después (Postest) de la implementación del sistema. Se destacan mejoras significativas en aspectos como el registro histórico de datos, la organización temporal de registros, la exportación de información y la consistencia de los datos, evidenciando un uso más eficiente y confiable para el análisis técnico de la calidad del agua en la piscigranja TICUY.

**Tabla 22.**

*Resultados de las herramientas de análisis y generación de informes*

<b>Aspecto evaluado</b>	<b>Pretest</b>	<b>Postest</b>
Registro histórico de datos	No	Sí
Organización temporal de registros	No	Sí
Exportación de datos a Excel	No	Sí
Consistencia de registros	Parcial	Completa
Uso para análisis técnico	Limitado	Óptimo

Como resultado del funcionamiento del sistema, se obtuvo un conjunto de datos históricos correspondientes al periodo comprendido entre el 23 de setiembre y el 26 de octubre de 2025, los cuales incluyen los parámetros de temperatura, pH, sólidos disueltos totales (TDS) y turbidez. El análisis de estos registros permitió calcular promedios representativos del comportamiento del agua en la laguna evaluada,

evidenciando la estabilidad y confiabilidad del sistema de visualización y almacenamiento implementado.

La disponibilidad de estos datos históricos exportables constituye un aporte significativo para el análisis técnico de la calidad del agua, ya que permite identificar tendencias, variaciones temporales y posibles desviaciones respecto a los rangos recomendados para la crianza de especies acuícolas. En ese sentido, los resultados confirman que la plataforma desarrollada no solo permite la visualización inmediata de la información, sino que también funciona como una herramienta efectiva de apoyo al análisis y a la toma de decisiones en la gestión de la piscigranja TICUY.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Sobre el desarrollo de un sistema orientado a la medición continua y en tiempo real de los parámetros clave de la calidad del agua, permitiendo un monitoreo constante de las condiciones del recurso hídrico, los resultados obtenidos a partir del monitoreo realizado entre el 23 de septiembre y el 26 de octubre de 2025 evidencian que el sistema implementado logró efectuar una medición continua y en tiempo real de los principales parámetros de calidad del agua: temperatura, pH, sólidos disueltos totales (TDS) y turbidez, lo que valida el cumplimiento del Objetivo 1 de la investigación. Los valores registrados presentan un comportamiento estable, con variaciones progresivas y continuas a lo largo de los 34 días de monitoreo, lo que demuestra que los sensores captaron los cambios naturales del ambiente acuático sin interrupciones ni saltos abruptos de información. Este comportamiento confirma lo señalado por Ríos (2021), quien sostiene que la medición continua permite identificar variaciones en tiempo real y supera las limitaciones de los métodos manuales o esporádicos.

En cuanto a la temperatura, el promedio general fue de 22,35 °C, con fluctuaciones suaves entre aproximadamente 21 °C y 25,8 °C, lo que refleja un patrón térmico natural diario y estacional del cuerpo de agua. Estas variaciones graduales evidencian que el sistema no solo registró valores puntuales, sino que captó dinámicamente los cambios térmicos, lo que coincide con lo planteado por la FAO (s/f), que indica que la temperatura es un parámetro altamente variable y debe ser monitoreado de manera continua para evitar estrés fisiológico en los peces.

Respecto al pH, el promedio general fue de 7,01, manteniéndose dentro de un rango ligeramente neutro durante todo el periodo de evaluación. Las variaciones observadas (entre aproximadamente 6,89 y 7,33) se dieron en centésimas, lo cual evidencia una alta sensibilidad de los sensores y una correcta captación de pequeños cambios químicos del agua. Este resultado es consistente con los hallazgos de Aguilar (2021), quien demostró que los sistemas IoT permiten una medición permanente y precisa del pH, facilitando la supervisión de la estabilidad química del agua.

En relación con los sólidos disueltos totales (TDS), se obtuvo un promedio general de 251,84 ppm, con variaciones progresivas entre aproximadamente 235 y 261 ppm. Estos cambios graduales reflejan la dinámica normal de disolución de minerales,

alimento y materia orgánica en el agua. La capacidad del sistema para registrar estas variaciones diarias confirma su eficacia para la medición continua, lo que coincide con Conejeros et al. (2021), quienes señalan que la medición permanente de sólidos disueltos facilita la detección temprana de cambios en la calidad del agua.

Por su parte, la turbidez presentó un promedio general de 42,74 %, con valores que fluctuaron entre 38,43 % y 46,63 %. Se observaron incrementos en determinados días, los cuales son propios de la actividad acuícola, debido al movimiento de los peces, la alimentación y la agitación del fondo. El registro constante de estas variaciones demuestra que el sistema permitió visualizar en tiempo real los cambios en la claridad del agua, en concordancia con Cardozo et al. (2024) y García y Ascón (2022), quienes resaltan que la medición continua de la turbidez es fundamental para el control sanitario y productivo.

En términos tecnológicos, el comportamiento de los datos confirma que los sensores y la plataforma de adquisición permitieron una captación ininterrumpida, con lecturas sucesivas que reflejan microvariaciones (décimas, centésimas y ppm), lo que valida lo establecido por García (2022) sobre la función de los sensores como dispositivos capaces de detectar cambios mínimos del entorno acuático y convertirlos en información útil para la gestión.

Finalmente, al contrastar estos resultados con los antecedentes, se observa coherencia con lo reportado por Tuesta et al. (2022), quienes demostraron que la medición constante de parámetros físico-químicos mejora la gestión piscícola y reduce riesgos sanitarios, y con Cardozo et al. (2024), quienes evidenciaron que los sistemas de monitoreo en tiempo real permiten un control más eficiente de la calidad del agua. En consecuencia, los resultados obtenidos confirman que el sistema desarrollado cumple eficazmente con la medición continua y en tiempo real de los parámetros claves de la calidad del agua, validando plenamente el Objetivo 1 y demostrando su utilidad técnica para la gestión de sistemas piscícolas.

En lo referente implementación del sistema de transmisión de datos inalámbrica para el monitoreo remoto de la calidad del agua en la piscigranja TICUY confirman la viabilidad técnica de emplear tecnologías GSM/GPRS y el protocolo MQTT en

entornos acuícolas, en concordancia con lo planteado en el marco teórico y los antecedentes revisados.

En primer lugar, los hallazgos relacionados con el indicador Tecnología GSM 2G evidencian una mejora sustancial en la conectividad celular, al incrementarse la intensidad de señal de -85 dBm a -70 dBm y reducirse el tiempo de conexión de 35 a 15 segundos. Estos resultados se alinean con lo señalado por Samsung (2021) y BBC (2016), quienes destacan que las tecnologías GSM/GPRS ofrecen cobertura extendida y confiabilidad para aplicaciones IoT en zonas remotas. Asimismo, guardan relación con el estudio de Aguilar (2021), quien demostró la factibilidad de nodos IoT de bajo consumo en ambientes rurales, resaltando la importancia de optimizar la conectividad para asegurar la transmisión continua de datos.

Respecto al indicador Red de comunicación MQTT, la reducción de la latencia de 1200 ms a 350 ms y la eliminación total de la pérdida de mensajes confirman la eficiencia del protocolo MQTT cuando es adecuadamente configurado. Este resultado concuerda con lo expuesto por IBM (2023), que describe a MQTT como un protocolo ligero basado en publicación-suscripción, ideal para entornos con recursos limitados y redes inestables. Además, se relaciona con el antecedente de Conejeros et al. (2021), quienes evidenciaron la eficacia de MQTT para la supervisión remota de parámetros físico-químicos, destacando su utilidad para la toma de decisiones rápida y confiable.

En cuanto a los Protocolos de comunicación, la eliminación de reconexiones y errores de transmisión en el postest demuestra que la implementación de mecanismos como reintentos automáticos, watchdog de red y ajustes de QoS fortaleció la estabilidad del sistema. Este comportamiento es coherente con lo planteado por Gómez et al. (2020), quienes señalan que la correcta integración de protocolos, servidores y redes es determinante para garantizar una comunicación confiable en sistemas de monitoreo remoto. Asimismo, estos resultados refuerzan la necesidad de diseñar sistemas tolerantes a fallos, tal como se desprende de los enfoques propuestos por Arias et al. (2021).

En relación con los Sensores de medición, la correspondencia del 100 % entre los datos enviados y recibidos, tras la implementación de validación CRC, evidencia una

mejora significativa en la confiabilidad de las mediciones transmitidas. Este hallazgo coincide con lo indicado por García (2022) y el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos (2022), quienes sostienen que los sensores representan el punto inicial crítico en los sistemas de monitoreo remoto y que la integridad de la información capturada es esencial para la toma de decisiones. Asimismo, guarda coherencia con los resultados de Cardozo et al. (2024), quienes resaltaron la necesidad de calibrar sensores y asegurar la integridad de los datos en sistemas de monitoreo acuícola.

Por su parte, el indicador Integridad y seguridad de los datos transmitidos mostró una evolución notable, al incrementarse la integridad del 75 % al 100 % y activarse mecanismos de autenticación MQTT. Estos resultados respaldan lo señalado por IBM (2023) y Arias et al. (2021), quienes enfatizan que garantizar la exactitud, consistencia y protección de la información es un componente clave en sistemas de transmisión inalámbrica. Además, la implementación de medidas de seguridad responde a la necesidad de proteger los datos contra accesos no autorizados, tal como se plantea en las bases conceptuales sobre seguridad de la información.

De manera global, la comparación pretest–postest evidencia mejoras significativas en todos los indicadores evaluados, lo que permite afirmar que el sistema diseñado cumple con los principios teóricos de integración de sensores, tecnologías GSM/GPRS, protocolo MQTT, servidores web y dashboards, descritos por Gómez et al. (2020) e IBM (2023). Asimismo, los resultados son coherentes con los antecedentes nacionales e internacionales, que demuestran la viabilidad de la transmisión remota de datos en contextos acuícolas, como los estudios de Tuesta et al. (2022) y García y Ascón (2022), quienes destacaron la importancia de la conectividad inalámbrica para optimizar la gestión de piscigranjas.

En síntesis, se concluye que los hallazgos obtenidos en esta investigación no solo validan los fundamentos teóricos revisados, sino que también confirman que el sistema propuesto constituye una solución técnica viable, confiable y eficiente para el monitoreo remoto de la calidad del agua en la piscigranja TICUY, sin dependencia de redes WiFi. Esto refuerza la pertinencia del uso de tecnologías IoT, GSM/GPRS y MQTT en entornos acuícolas rurales, contribuyendo a la optimización de la gestión

de los recursos acuícolas y a la mejora de la seguridad alimentaria, en concordancia con lo señalado por la FAO (s/f) y Urrialde (2021).

En lo concerniente al objetivo sobre desarrollar una plataforma para la visualización de los datos histórico y en tiempo real para el monitoreo remoto de la calidad del agua en la piscigranja TICUY, Ferreñafe, 2024, Los resultados evidenciaron que la plataforma desarrollada en Python cumple de manera satisfactoria con el indicador de plataforma web o móvil intuitiva, al permitir una visualización clara, ordenada y comprensible de los parámetros de calidad del agua en tiempo real y de forma histórica. La interfaz gráfica diseñada facilita la interpretación de la información sin requerir conocimientos técnicos avanzados, lo cual se alinea con el enfoque de usabilidad propuesto por la norma ISO 9241-11 (2018), que destaca la importancia de interfaces eficaces, eficientes y satisfactorias para el usuario. Estos hallazgos son consistentes con lo señalado por Few (2013), quien sostiene que una visualización adecuada permite identificar rápidamente patrones y variaciones en los datos, especialmente en sistemas que trabajan con información en tiempo real. En el caso de la piscigranja TICUY, la visualización dinámica de los parámetros como pH, temperatura, turbidez y TDS contribuye a un monitoreo continuo y oportuno, fortaleciendo la supervisión de la calidad del agua.

Asimismo, la implementación de la arquitectura cliente–broker basada en el protocolo MQTT y el uso del servicio CLOUDAMQP como broker en la nube garantizó una comunicación estable y segura entre el sistema de monitoreo y la plataforma de visualización. Este resultado guarda relación directa con lo reportado por Conejeros Molina et al. (2021), quienes demostraron que el uso de MQTT en plataformas de monitoreo facilita la transmisión eficiente de datos y mejora el acceso remoto a la información. De manera similar, los resultados obtenidos concuerdan con el estudio de Tuesta et al. (2022), quienes desarrollaron una plataforma web y móvil para piscigranjas en Loreto, evidenciando que la visualización remota e intuitiva de los datos fortalece la gestión técnica de los estanques. En el presente estudio, la posibilidad de operar la plataforma en modo con conexión y sin conexión refuerza la robustez del sistema y amplía su aplicabilidad en contextos rurales o con limitaciones de conectividad, aspecto que no siempre es abordado en investigaciones previas.

En conjunto, los resultados confirman que la plataforma desarrollada cumple con el indicador de interfaz intuitiva y respalda lo planteado por Laudon y Laudon (2016), quienes señalan que los sistemas de información orientados al monitoreo transforman datos operativos en información útil para la toma de decisiones, cuando incorporan mecanismos adecuados de visualización.

En relación con el indicador herramientas de análisis de datos y generación de informes, los resultados muestran que la plataforma desarrollada no solo permite la visualización de los datos, sino también su almacenamiento, análisis y exportación, lo que amplía significativamente su funcionalidad como herramienta de apoyo a la gestión acuícola. La integración de librerías como Matplotlib y OpenPyXL posibilitó la generación de gráficos dinámicos y la exportación de datos históricos a archivos Excel, facilitando el análisis de tendencias y la elaboración de informes técnicos. Este resultado se encuentra en concordancia con lo señalado por Han, Kamber y Pei (2012), quienes destacan que el análisis de datos históricos constituye una base fundamental para la generación de conocimiento y la toma de decisiones estratégicas.

Asimismo, la correcta definición de tópicos MQTT para cada parámetro monitoreado permitió una organización estructurada de la información, favoreciendo la visualización diferenciada de las variables y el análisis individual de su comportamiento. Este enfoque coincide con los planteamientos de Aguilar Coronel (2021), quien concluyó que las plataformas IoT con visualización y análisis histórico mejoran el control y seguimiento continuo de los recursos hídricos. Las pruebas de validación de precisión y tiempo de actualización evidenciaron que los datos mostrados en la plataforma coinciden de manera consistente con los valores transmitidos por los sensores, y que la actualización de la información se realiza de forma casi inmediata. Este comportamiento confirma la eficiencia del sistema de comunicación MQTT y respalda lo indicado por Cardozo Ramírez et al. (2024), quienes señalaron que la visualización en tiempo real mejora la supervisión remota, aunque puede verse afectada por la estabilidad de la señal; limitación que, en el presente estudio, no se evidenció de manera significativa.

Finalmente, la capacidad de la plataforma para consolidar información en reportes estructurados de los indicadores de calidad del agua refuerza su utilidad como herramienta de apoyo para la toma de decisiones técnicas en la piscigranja TICUY.

Este resultado es coherente con lo propuesto por la FAO (2020), que destaca que la incorporación de plataformas digitales en la acuicultura contribuye a mejorar la eficiencia productiva y fortalecer la sostenibilidad de los sistemas acuícolas.

# **PROPUESTA**

## **Propuesta de implementación de un sistema de monitoreo remoto en tiempo real de la calidad del agua para fortalecer la seguridad alimentaria en la Piscigranja TICUY**

### **8.1. Justificación de la propuesta**

Los resultados obtenidos en el desarrollo del sistema de monitoreo remoto evidencian que los sensores implementados permitieron registrar de manera continua y precisa los parámetros de temperatura, pH, TDS y turbidez del agua en la Piscigranja TICUY. Esta información constituye un insumo técnico fundamental para el control de las condiciones ambientales que influyen directamente en la salud de los peces y en la calidad del producto final destinado al consumo humano.

Asimismo, la transmisión de datos en tiempo real y su visualización a través de una plataforma web hacen posible una supervisión constante de los estanques, reduciendo la dependencia de mediciones manuales y minimizando el riesgo de errores humanos. En ese sentido, se justifica la implementación formal del sistema como una herramienta de apoyo a la gestión acuícola, contribuyendo a la prevención de riesgos sanitarios y al fortalecimiento de la seguridad alimentaria.

### **8.2. Objetivo de la propuesta**

Desarrollar un sistema que permita la medición continua y en tiempo real de los parámetros claves de la calidad del agua en la Piscigranja TICUY, con el fin de mejorar la gestión productiva, sanitaria y la seguridad alimentaria.

### **8.3. Componentes de la propuesta**

#### **a) Componentes tecnológicos**

- El sistema propuesto está conformado por los siguientes elementos:
- Sensores de temperatura, pH, TDS y turbidez.

- Microcontrolador ESP32.
- Módulo de comunicación para transmisión de datos.
- Pantalla LCD para visualización local.
- Plataforma web para el monitoreo remoto.

Estos componentes permiten la captura, procesamiento, transmisión y visualización de los datos ambientales del agua de los estanques.

#### **b) Funcionamiento del sistema**

Los sensores instalados en los estanques miden de forma continua los parámetros de temperatura, pH, TDS y turbidez del agua. Estos datos son enviados al microcontrolador ESP32, el cual procesa la información y la transmite mediante conexión inalámbrica hacia la plataforma web. Simultáneamente, los valores son mostrados en la pantalla LCD, permitiendo una verificación local inmediata.

La plataforma web almacena y organiza los datos, posibilitando su consulta en tiempo real y el análisis histórico, lo que facilita la toma de decisiones técnicas por parte del personal de la piscigranja.

#### **8.4. Procedimiento de implementación**

Para la implementación del sistema se propone el siguiente procedimiento:

- Instalar los sensores en puntos estratégicos de los estanques.
- Configurar el microcontrolador ESP32 para la lectura y transmisión de datos.
- Conectar el sistema a la red de comunicación.
- Activar la plataforma web para la recepción y visualización de la información.
- Capacitar al personal de la piscigranja en el uso e interpretación de los datos.

- Realizar monitoreo continuo y utilizar la información para la toma de decisiones.

### **8.5. Uso de información para la gestión de la calidad del agua**

La información generada por el sistema permitirá detectar variaciones anormales en los parámetros del agua que puedan afectar la salud de los peces. Por ejemplo, cambios bruscos en la temperatura, pH o TDS pueden ser identificados de manera inmediata, lo que facilita la aplicación de medidas correctivas oportunas.

Asimismo, el control de la turbidez contribuye a mantener condiciones adecuadas para el crecimiento y desarrollo de los organismos acuáticos, reduciendo riesgos de enfermedades y mejorando la calidad del producto final.

### **8.6. Beneficios esperados**

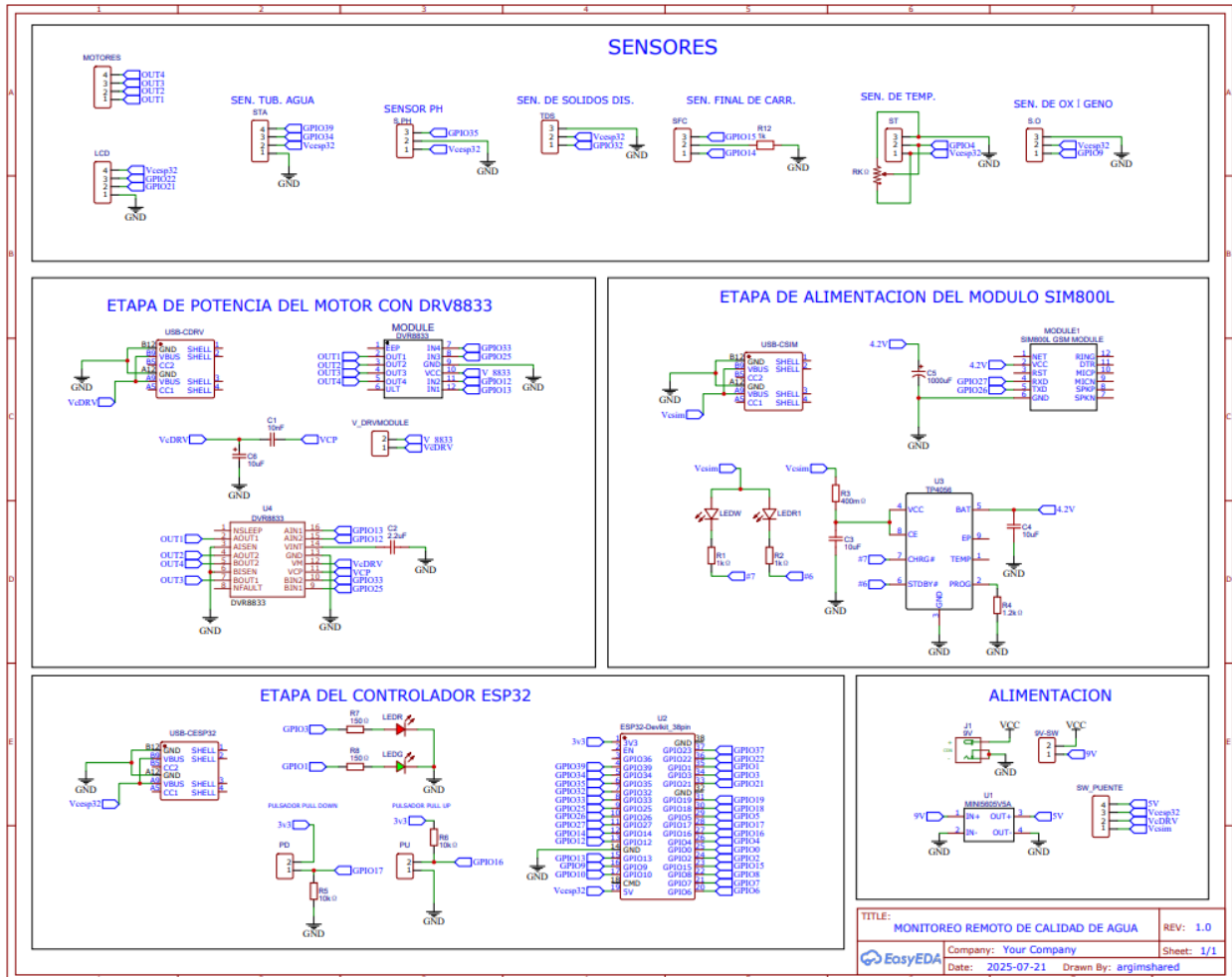
La implementación del sistema de monitoreo remoto permitirá:

- Mejorar el control de la calidad del agua.
- Reducir riesgos sanitarios en la producción acuícola.
- Optimizar la gestión técnica de los estanques.
- Contribuir a la seguridad alimentaria mediante el aseguramiento de condiciones adecuadas para el cultivo de peces.
- Facilitar la toma de decisiones basada en datos reales y actualizados.

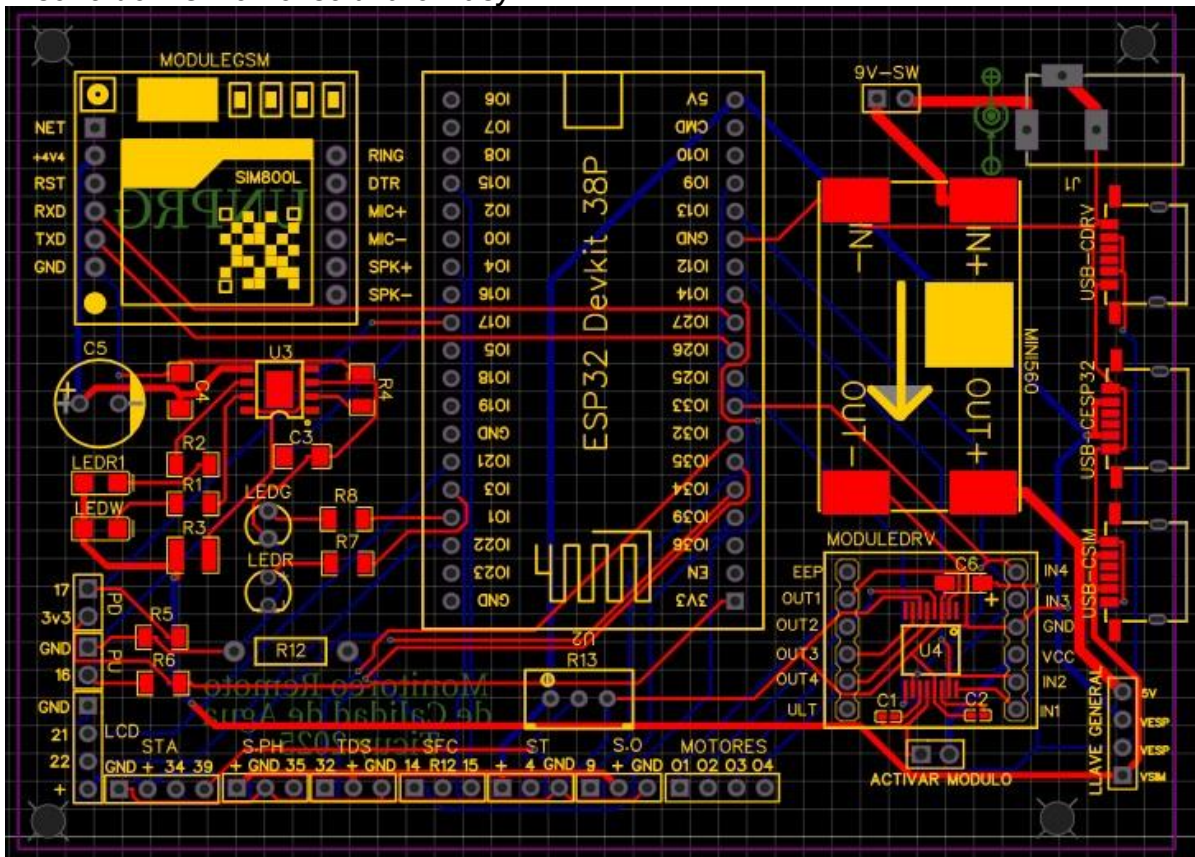
## 8.7. Material visual complementario

**Figura 17.**

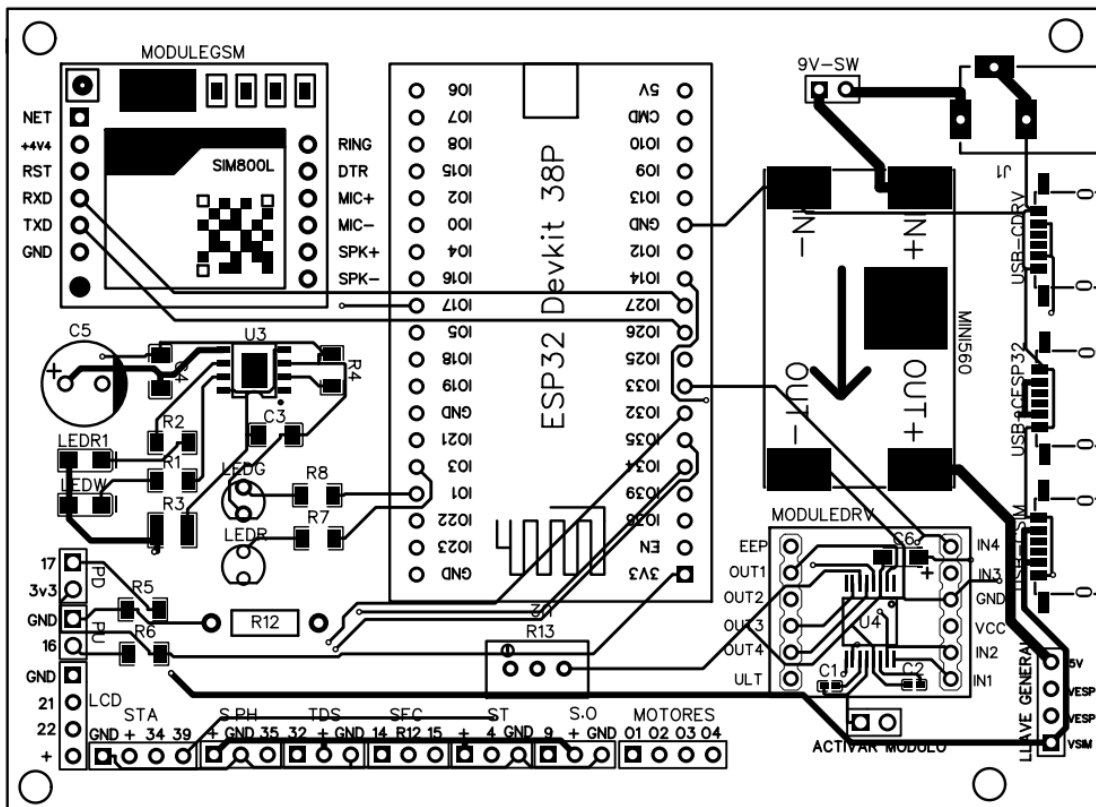
Esquema del sistema de medición continua y en tiempo real de los parámetros claves de calidad de agua



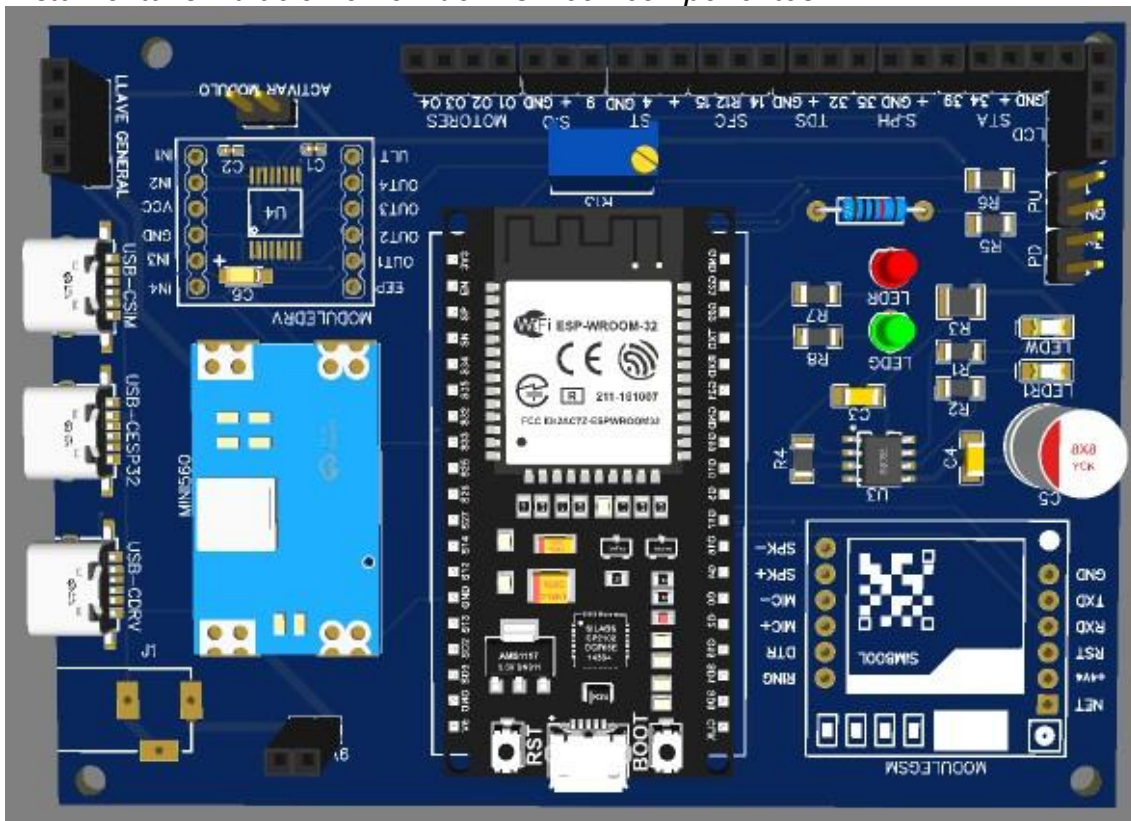
**Figura 18.**  
 Diseño de PCB en el software EasyEDA



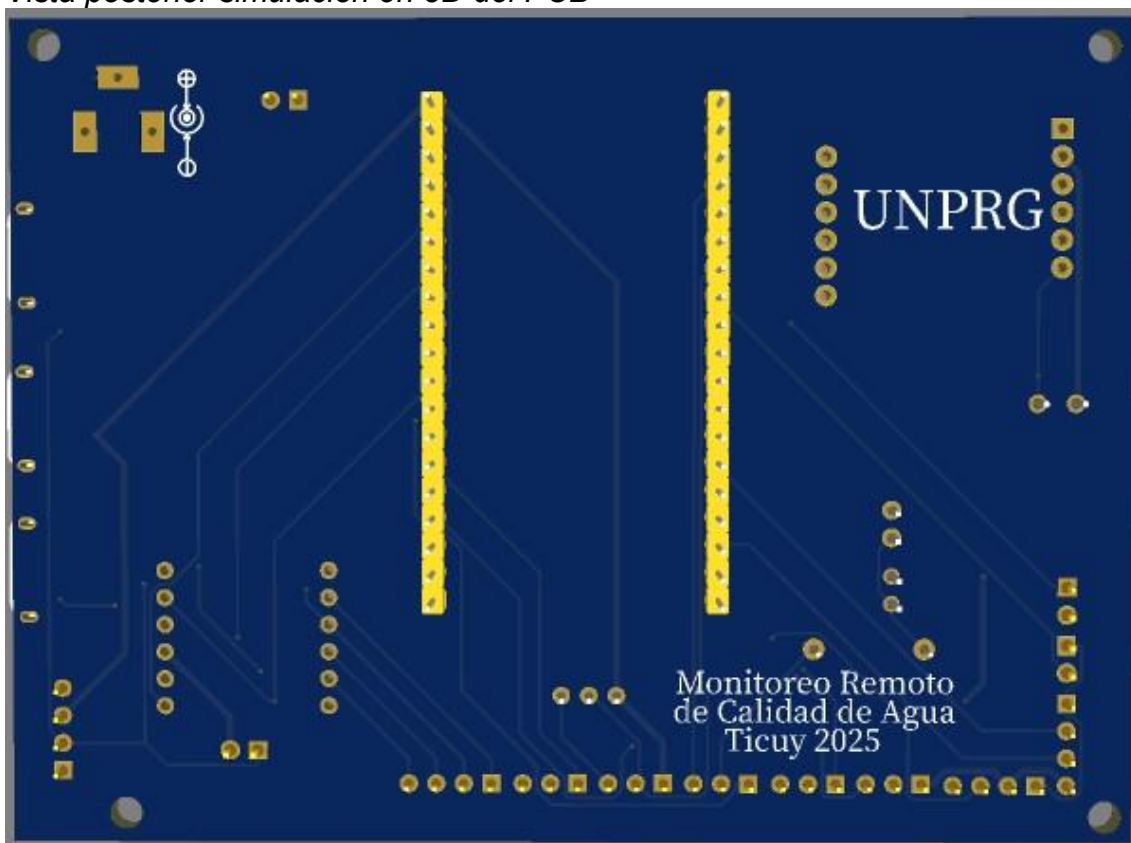
**Figura 19.**  
 Diagrama del circuito PCB con doble capa en el software EasyEDA



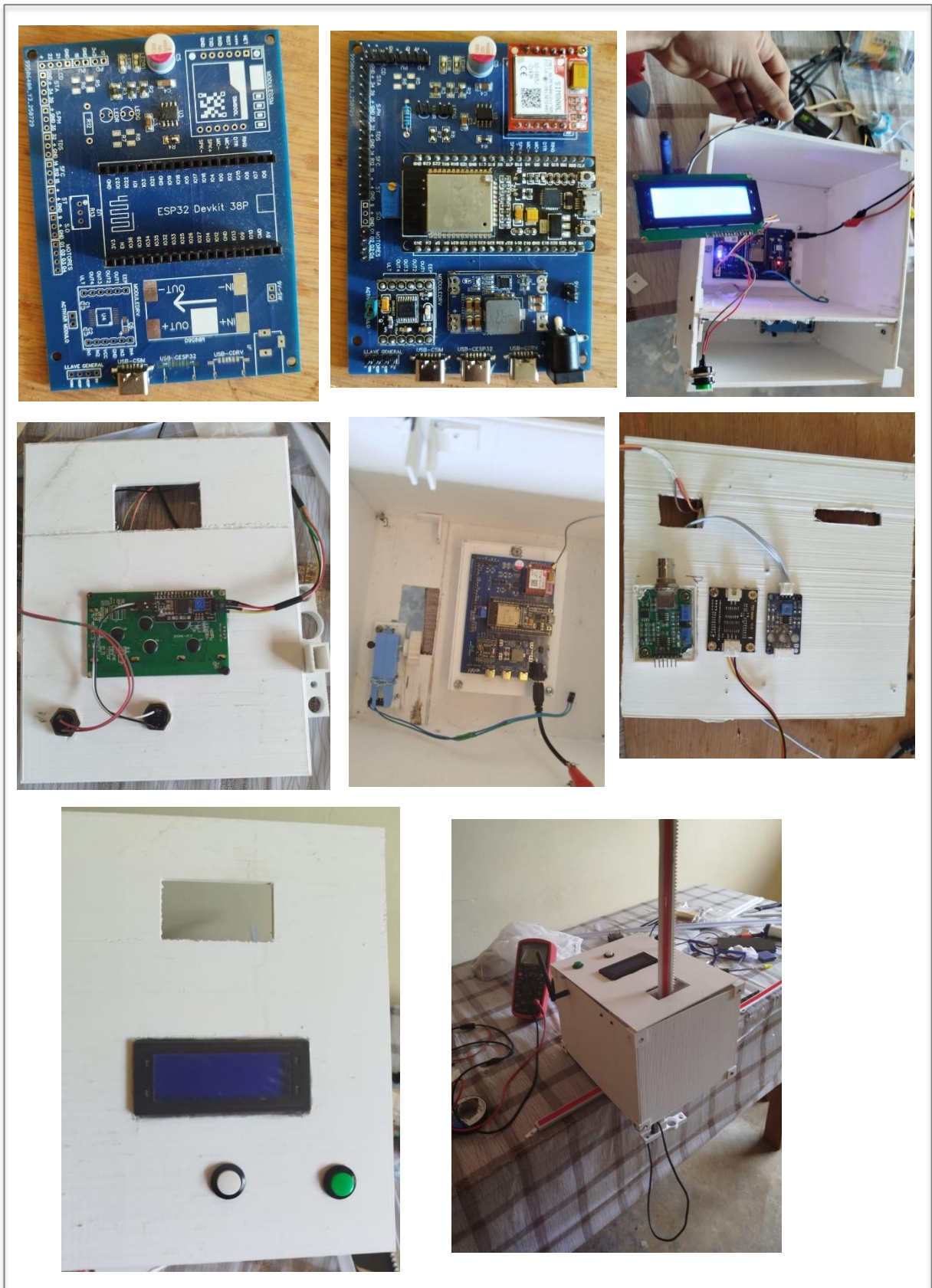
**Figura 20.**  
*Vista frontal simulación en 3D del PCB con componentes*



**Figura 21.**  
*Vista posterior simulación en 3D del PCB*



**Figura 22.**  
*Ensamblaje del prototipo*



**Figura 23.**  
**Reporte de monitoreo de calidad de agua**

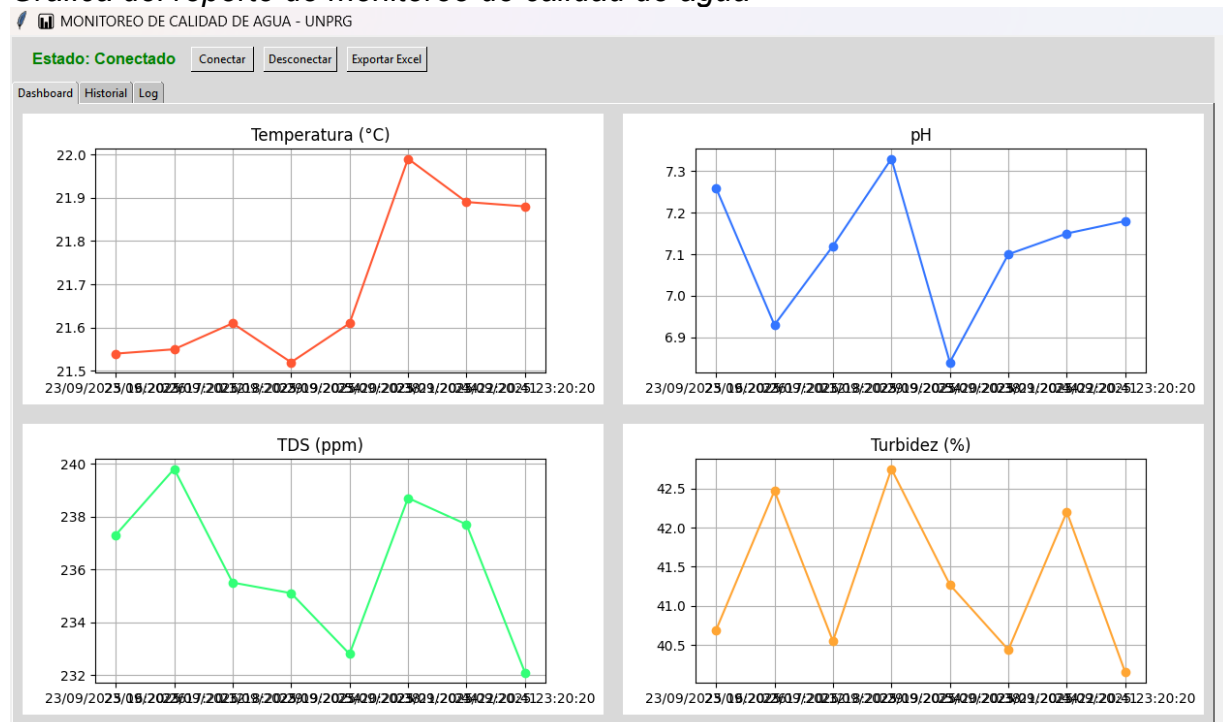
MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA - UNPRG

Estado: **Conectado**

Dashboard | Historial | Log

Tiempo	Sensor	Valor
23/09/2025 17:20:12	Temperatura (°C)	21.55
23/09/2025 17:20:12	pH	6.93
23/09/2025 17:20:12	TDS (ppm)	239.80
23/09/2025 17:20:12	Turbidez (%)	42.47
23/09/2025 18:20:29	Temperatura (°C)	21.61
23/09/2025 18:20:29	pH	7.12
23/09/2025 18:20:29	TDS (ppm)	235.50
23/09/2025 18:20:29	Turbidez (%)	40.55
23/09/2025 19:20:54	Temperatura (°C)	21.52
23/09/2025 19:20:54	pH	7.33
23/09/2025 19:20:54	TDS (ppm)	235.10
23/09/2025 19:20:54	Turbidez (%)	42.75
23/09/2025 20:20:38	Temperatura (°C)	21.61
23/09/2025 20:20:38	pH	6.84
23/09/2025 20:20:38	TDS (ppm)	232.80
23/09/2025 20:20:38	Turbidez (%)	41.27
23/09/2025 21:20:44	Temperatura (°C)	21.99
23/09/2025 21:20:44	pH	7.10
23/09/2025 21:20:44	TDS (ppm)	238.70
23/09/2025 21:20:44	Turbidez (%)	40.44
23/09/2025 22:20:41	Temperatura (°C)	21.89
23/09/2025 22:20:41	pH	7.15
23/09/2025 22:20:41	TDS (ppm)	237.70
23/09/2025 22:20:41	Turbidez (%)	42.20
23/09/2025 23:20:20	Temperatura (°C)	21.88
23/09/2025 23:20:20	pH	7.18
23/09/2025 23:20:20	TDS (ppm)	232.10
23/09/2025 23:20:20	Turbidez (%)	40.15

**Figura 24.**  
**Gráfica del reporte de monitoreo de calidad de agua**



## CONCLUSIONES

- La propuesta de desarrollo de la plataforma garantizó el acceso oportuno a la información, al permitir la visualización en tiempo real de los parámetros de calidad del agua del sistema de monitoreo remoto, facilitando el seguimiento continuo de las condiciones acuícolas de la piscigranja TICUY sin necesidad de presencia física permanente.
- La plataforma desarrollada facilitó la interpretación de los datos monitoreados, gracias a una interfaz gráfica intuitiva y organizada, lo que permitió comprender de manera rápida y clara los valores de los parámetros de calidad del agua, reduciendo la dependencia de conocimientos técnicos especializados para su uso.
- La plataforma garantizó la gestión eficiente de los datos históricos, mediante el registro estructurado, la consulta y la exportación de la información a formatos compatibles con hojas de cálculo, fortaleciendo el análisis técnico, la elaboración de reportes y la toma de decisiones basadas en información confiable para la gestión de la piscigranja TICUY.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener y supervisar periódicamente la conectividad del sistema de monitoreo y del broker MQTT en la nube, a fin de asegurar la transmisión continua de los datos y la correcta visualización en tiempo real de los parámetros de calidad del agua, garantizando la confiabilidad del monitoreo remoto en la piscigranja TICUY.
- Se recomienda capacitar al personal responsable en el uso de la plataforma de visualización, con el propósito de optimizar la interpretación de los datos mostrados en la interfaz gráfica y promover un uso adecuado de la información generada para el control y supervisión de la calidad del agua.
- Se recomienda establecer un protocolo de respaldo y análisis periódico de los datos históricos registrados, aprovechando la exportación de la información a hojas de cálculo, con la finalidad de fortalecer el análisis técnico, la elaboración de reportes y la toma de decisiones informadas para la gestión de la piscigranja TICUY.

# DETERMINACIÓN DE LA MEJORA DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

En coherencia con la implementación del prototipo de sistema de monitoreo remoto desarrollado en los objetivos específicos 1, 2 y 3, se procedió a evaluar su impacto en la seguridad alimentaria de la piscigranja TICUY. Para ello, se analizaron los indicadores productivos y económicos correspondientes a la línea base previa a la implementación del prototipo, y se comparó la condición del control de la calidad del agua antes y después de su puesta en funcionamiento. Esta evaluación permitió determinar la mejora en términos de disponibilidad y acceso económico del pescado producido, así como en la estabilidad de los parámetros físico-químicos del agua, cuya permanencia dentro de rangos adecuados para el cultivo de tilapia reduce riesgos sanitarios y fortalece la inocuidad del producto final, garantizando una alimentación segura.

La información correspondiente a la situación inicial fue recolectada mediante una encuesta estructurada aplicada al responsable de la piscigranja, lo que permitió establecer la línea base para el análisis comparativo.

## Dimensiones e indicadores de evaluación

Para determinar la mejora de la seguridad alimentaria se establecieron tres dimensiones con sus respectivos indicadores cuantificables:

### Dimensión 1: Acceso Físico al alimento

**Indicador:** Mortalidad de peces

#### Tabla 23.

#### *Preguntas de la encuesta para determinar la mortalidad de peces*

<b>Pregunta 1</b>	¿Cuántos peces suele sembrar al inicio de un ciclo productivo?
<b>Respuesta 1</b>	2500 peces tilapia
<b>Pregunta 2</b>	¿Durante un ciclo normal, aproximadamente cuantos peces se le mueren?
<b>Respuesta 2</b>	Del 5 al 8%, debido a la depredación de patos, estrés ambiental y falta de monitoreo.

**Tabla 24.***Pretest cálculo del índice de mortalidad de peces*

Cantidad de peces sembrados	Mortalidad promedio	Índice de mortalidad (peces muertos / peces iniciales) X 100
C = 2500 tilapias	MP= 2500 x 0.065 = 163 peces muertos	IM = (163 / 2500) x 100 = 6.52%

Una menor mortalidad incrementa la disponibilidad de pescado, fortaleciendo el acceso físico al alimento.

**Indicador:** Volumen de producción / Kg por ciclo

**Tabla 25.***Preguntas de la encuesta para determinar el volumen de producción*

<b>Pregunta 3</b>	¿Cuánto pesan en promedio los peces al inicio del engorde?
<b>Respuesta 3</b>	0.5 gramos
<b>Pregunta 4</b>	¿Cuánto pesan en promedio cuando los vende o cosecha?
<b>Respuesta 4</b>	250 a 300 gramos

**Tabla 26.***Cálculo del volumen de producción*

Peces vivos al final del ciclo	Peso promedio final	Producción total
PVF= 2500 – 163 = 2337 peces	PPF= ((250+300) / 2) / 1000 = 0.275 Kg	PT= 2337 x 0.275 = 642.7 kg

El volumen producido representa la disponibilidad física del alimento. Una reducción de la mortalidad incrementaría directamente los kilogramos cosechados, fortaleciendo el acceso físico al pescado.

**Dimensión 2:** Acceso económico al alimento

**Indicador:** Índice de conversión alimenticia (ICA)

**Tabla 27.***Preguntas de la encuesta para determinar el ICA*

<b>Pregunta 5</b>	¿Cuántos kilogramos consume, en promedio, cada tilapia durante un ciclo?
<b>Respuesta 5</b>	700 a 800 gramos por tilapia, en promedio 750 gramos, 0.75 kilos

**Tabla 28.**  
*Cálculo del ICA*

Alimento utilizado	Producción obtenida	ICA
AU= 2500 x 0.75 = 1875 Kg	642.7Kg	ICA= 1875 / 642.7 = 2.92

El ICA indica que se requieren 2.92 kg de alimento para producir 1 kg de pescado. Este valor evidencia margen de mejora en eficiencia productiva. El monitoreo de parámetros físico-químicos contribuye a optimizar la alimentación y reducir pérdidas, impactando positivamente en los costos.

**Indicador:** Ingreso económico por ciclo productivo

**Tabla 29.**  
*Preguntas de la encuesta para determinar el ingreso económico por ciclo productivo*

**Pregunta 6** ¿A qué precio vende el kilo de pescado?

**Respuesta 6** La tilapia a S/. 20.00 por kilo, el paiche S/. 45 a S/.50 soles por kilo

**Tabla 30.**  
*Cálculo del ingreso por ciclo productivo*

Precio de venta	Producción total	Ingreso bruto por ciclo
S/. 20.00 por kg	642.7Kg	IBC = 642.7 x 20 = S/. 12,854.00

El ingreso generado refleja la capacidad económica del sistema productivo. Una mejora en la supervivencia y eficiencia alimenticia incrementaría la rentabilidad, fortaleciendo el acceso económico al alimento y la sostenibilidad del negocio.

**Dimensión 3:** Alimentación segura / Inocuidad y estabilidad

**Indicador:** Tasa de crecimiento (Kg/pez/mes)

**Tabla 31.**  
*Preguntas de la encuesta para determinar la tasa de crecimiento*

**Pregunta 7** ¿Cuánto pesan en promedio los peces al inicio del engorde?

**Respuesta 7** 0.5 gramos

**Pregunta 8** ¿Cuántos meses dura el engorde hasta la venta?

**Respuesta 8** En verano crecen más rápido de 1 mes a 15 días, en invierno 2 meses.

**Tabla 32.***Cálculo de la tasa de crecimiento (peso final – peso inicial) / meses de engorde*

<b>Peso inicial</b>	<b>Peso final</b>	<b>Meses de engorde promedio</b>	<b>Tasa de crecimiento</b>
0.0005 kg	0.275 kg	$ME = (1.5 + 2) / 2 = 1.75$	$TC = (0.275 - 0.005) / 1.75 = 0.157 \text{ kg/pez/mes}$

El crecimiento está influenciado por las condiciones del agua. Un monitoreo continuo permite mantener parámetros adecuados, favoreciendo un desarrollo uniforme y saludable.

**Indicador:** Estabilidad de la calidad físico-químico del agua

**Tabla 33.***Preguntas de la encuesta para determinar la estabilidad de la calidad físico-químico del agua*

<b>Pregunta 9</b>	¿Con que frecuencia revisa la calidad del agua?
<b>Respuesta 9</b>	Casi mensual
<b>Pregunta 10</b>	¿Cada cuánto tiempo realiza un análisis de laboratorio de la calidad del agua?
<b>Respuesta 10</b>	Cada 3 años
<b>Pregunta 11</b>	Cuando hay problemas en el agua ¿Qué suele pasar con los peces?
<b>Respuesta 11</b>	Se estresan, dejan de comer, se enferman y mueren

**Tabla 34.***Análisis de la estabilidad de parámetros físico - químicos*

<b>Situación pretest</b>	<b>Situación postest</b>
- Revisión casi mensual.	- Monitoreo continuo y en tiempo real.
- Análisis de laboratorio cada tres años.	- Registro histórico de datos
- Presencia de estrés, disminución de apetito y mortalidad ante problemas de agua.	- Alertas tempranas ante variaciones de TDS, pH, temperatura y turbidez

La estabilidad de los parámetros dentro de rangos adecuados para el cultivo de tilapia reduce riesgos sanitarios y mejora la inocuidad del producto final, garantizando una alimentación segura.

- **Conclusión**

Los resultados evidencian que la implementación del sistema de monitoreo remoto contribuye a mejorar la seguridad alimentaria de la piscigranja TICUY al:

- Incrementar la disponibilidad de pescado (reducción potencial de mortalidad y mayor volumen cosechado).
- Fortalecer el acceso económico mediante mayor eficiencia productiva y generación de ingresos.
- Garantizar estabilidad sanitaria y calidad del producto a través del control continuo de los parámetros del agua.

Esto demuestra que el prototipo no solo optimiza el manejo productivo, sino que impacta directamente en la seguridad alimentaria del sistema acuícola.

## REFERENCIAS

- Aguilar Coronel, R. (2021). Desarrollo de una herramienta de monitoreo remoto de la calidad del agua basado en nodos IoT de bajo consumo. *Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico*, 15(15), 1–6. <https://revistas.uni.edu.py/index.php/rseisa/article/view/285/270>
- Arias Martijena, A., Castillo Ruiz, A., Roa Arias, A., Bidó Cuello, E., García Maimó, J., Hernández, D., & Aybar Mejía, M. (2021). Protocolos y tipologías utilizadas en los sistemas de comunicación de las microrredes eléctricas. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 4(1). <https://revistas.intec.edu.do/index.php/cite/article/view/1712/2643>
- BBC News Mundo. (2016). Cuáles son las diferencias entre E, GPRS, 3G, 4G, 5G y esas otras redes a las que se conecta tu celular (y cómo afectan tu conexión a internet). <https://www.bbc.com/mundo/noticias-37247130>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2016). Calidad del agua. <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad%20del%20Agua%20Final.pdf>
- Cardozo Ramírez, L., Calle Viles, E., Fuentes Telleria, R., Ramos Silvestre, E., & Tavera Gutierrez, D. (2024). Monitoreo de la calidad de agua en criaderos de tilapia mediante tecnologías LPWAN y VPS. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 5609–5629. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/10975/16127>
- Comunidad Empresas ENTEL. (s. f.). Dashboard: ¿Qué es y para qué se utiliza? <https://ce.entel.cl/articulos/dashboard-que-es-y-para-que-se-utiliza>
- Conejeros Molina, A., Hueichaqueo Pichunman, B., Martínez Jiménez, B., & Placeres Remior, A. (2021). Monitoreo de calidad del agua en sistema de agua potable rural. *RIELAC, Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 42(3), 60–70. <http://scielo.sld.cu/pdf/eac/v42n3/1815-5928-eac-42-03-60.pdf>

- Córdova, L., Ramírez, J., & Torres, P. (2021). Plataformas de visualización de datos aplicadas a sistemas de monitoreo ambiental e IoT. Editorial Académica Española.
- Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos. (2022). Sensores. <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/sensores>
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (s. f.). Mejora de la calidad de agua en los estanques. [https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6709s/x6709s02.htm](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s02.htm)
- Few, S. (2013). Information dashboard design: The effective visual communication of data. Analytics Press.
- FISHERY. (s. f.). Ideal water quality for tilapia fish farming. <https://gurumuda.net/fishery/ideal-water-quality-for-tilapia-fish-farming.htm>
- Fondepes. (2016). Protocolo de reproducción del paiche (Arapaima gigas). <https://rnia.produce.gob.pe/wp-content/uploads/2019/09/Protocolo-de-Reproducci%C3%B3n-del-Paiche.pdf>
- García Castro, J., & Ascón Dionicio, G. (2022). Sistema automatizado de monitoreo de parámetros físico-químicos en producción de alevines gamitana. Revista Agrotecnológica Amazónica, 2(1). <http://portal.amelica.org/ameli/journal/605/6053162007/html/>
- García, I. (2022). Los tipos de sensores más usados: definición y funcionalidad. Elecproy. <https://elecproy.com/es/blog/tipos-de-sensores/>
- ISO. (2018). ISO 9241-11: Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts. International Organization for Standardization.
- Laudon, K., & Laudon, J. (2016). Sistemas de información gerencial (14.<sup>a</sup> ed.). Pearson.

Ministerio de Agricultura y Riego. (2016). Protocolo para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/1475.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2017). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3671-004-2017-minam>

Nature Research. (2025). Developing highly accurate machine learning models for optimizing water quality management decisions in tilapia aquaculture. Scientific Reports. <https://www.nature.com/articles/s41598-025-16939-w>

Oracle. (2024). ¿Qué es una base de datos? <https://www.oracle.com/pe/database/what-is-database/>

Ríos Isern, E. (2021). Calidad de agua en el cultivo de organismos acuáticos amazónicos (1.ª ed.). Editorial Barreto. [https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/7514/Enrique\\_Libro\\_2021.pdf](https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/7514/Enrique_Libro_2021.pdf)

Samsung. (2021). ¿Qué es GSM? <https://www.samsung.com/latin/support/mobile-devices/what-is-gsm/>

swhosting. (2024). Qué es un servidor web. <https://www.swhosting.com/es/blog/que-es-un-servidor-web>

Tilapia Fish Farming Business. (s. f.). Water quality monitoring for tilapia: Essential equipment guide. <https://tilapia.fishfarmingbusiness.com/water-management/water-quality-monitoring-for-tilapia-essential-equipment-and-daily-testing-routines>

Trejo Albarrán, R., Flores Ibarra, K., Trujillo Jiménez, P., Granados Ramírez, J., Gómez Márquez, J., & Delgado Sánchez, L. (2021). Calidad del agua en estanques de cultivo de peces mediante algunos parámetros físicos y químicos. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(4), 5490–5509.

Tuesta, T., Delgado, M., & Saettone, E. (2022). Aplicativo para monitorear la calidad del agua en piscigranjas. Instituto de Investigación Científica de la Universidad de Lima. <https://www.ulima.edu.pe/instituto-de-investigacion-cientifica/noticias/investigadores-del-idic-crean-aplicativo-para>

Urrialde de Andrés, R. (2021). La seguridad alimentaria en la acuicultura. <https://acuiculturadeespana.es/blog/la-seguridad-alimentaria-en-acuicultura/>

## **ANEXOS**

CÓDIGO DESARROLLADO EN PYTHON DE PLATAFORMA PARA LA VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS HISTÓRICO Y EN TIEMPO REAL:

```
import tkinter as tk

from tkinter import ttk, scrolledtext

import paho.mqtt.client as mqtt

import matplotlib.pyplot as plt

import matplotlib.dates as mdates

from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg

import datetime

import os

from openpyxl import Workbook, load_workbook

from openpyxl.styles import PatternFill

# ----- Configuración MQTT ----- #

MQTT_SERVER = "leopard.lmq.cloudamqp.com"

MQTT_PORT = 1883
```

```

MQTT_USER = "schifubb:schifubb"

MQTT_PASSWORD = "7IADPhNH1EszMDnBGoiX-mlhHW9GYr7X"

# ----- Sensores ----- #

TOPICS = {

    "GsmClientTest/temp": ("Temperatura", "#FF5733"),

    "GsmClientTest/ph": ("pH", "#3375FF"),

    "GsmClientTest/tds": ("TDS", "#33FF77"),

    "GsmClientTest/turbidez": ("Turbidez", "#FFA533")

}

MAX_TABLE_ROWS = 100

EXPORT_FILE = "historial_tesis.xlsx"

# ----- Variables globales ----- #

data_history = {topic: [] for topic in TOPICS}

time_history = {topic: [] for topic in TOPICS}

# ----- Excel ----- #

def write_to_excel(timestamp, sensor, value, color_tag):

    """Guarda una fila en historial_tesis.xlsx con colores"""

    file_exists = os.path.isfile(EXPORT_FILE)

    if file_exists:

        wb = load_workbook(EXPORT_FILE)

        ws = wb.active

```

```

else:

    wb = Workbook()

    ws = wb.active

    ws.append(["Tiempo", "Sensor", "Valor", "Estado"])

row = [timestamp, sensor, value, color_tag]

ws.append(row)

# Asignar color

last_row = ws.max_row

fill_color = {

    "verde": "C6EFCE",

    "amarillo": "FFF2CC",

    "rojo": "F8CBAD"

}.get(color_tag, "FFFFFF")

for col in range(1, 5):

    ws.cell(row=last_row, column=col).fill = PatternFill("solid", fgColor=fill_color)

wb.save(EXPORT_FILE)

# ----- Funciones MQTT ----- #

def on_connect(client, userdata, flags, rc):

    if rc == 0:

        log("✅ Conectado al broker MQTT")

```

```

for t in TOPICS:

    client.subscribe(t)

    log(f"🔔 Suscrito a {t}")

    update_status("Conectado", "green")

else:

    log(f"❌ Error al conectar. Código: {rc}")

    update_status("Error", "red")

def on_disconnect(client, userdata, rc):

    log("⚠️ Desconectado del broker")

    update_status("Desconectado", "red")

def on_message(client, userdata, msg):

    try:

        value = float(msg.payload.decode())

    except:

        value = None

    timestamp = datetime.datetime.now().strftime("%d/%m/%Y %H:%M:%S")

    if value is not None:

        # ---- Agregado Excel ---- #

        sensor_name = TOPICS[msg.topic][0]

        tag = get_color_tag(msg.topic, value)

```

```

write_to_excel(timestamp, sensor_name, value, tag)

# ----- #

data_history[msg.topic].append(value)

time_history[msg.topic].append(datetime.datetime.now())

if len(data_history[msg.topic]) > MAX_TABLE_ROWS:

    data_history[msg.topic].pop(0)

    time_history[msg.topic].pop(0)

update_plot(msg.topic)

update_table(msg.topic, value, timestamp)

log(f"📌 {msg.topic}: {value}")

# ----- GUI Funciones ----- #

def log(message):

    history_text.config(state=tk.NORMAL)

    history_text.insert(tk.END, f"{message}\n")

    history_text.see(tk.END)

    history_text.config(state=tk.DISABLED)

def update_status(text, color):

    status_label.config(text=f"Estado: {text}", foreground=color)

def update_plot(topic):

    title, color = TOPICS[topic]

    ax = axes[topic]

```

```

ax.clear()

ax.plot(time_history[topic], data_history[topic],
        marker="o", linestyle="-", color=color, markersize=4)

ax.set_title(title, fontsize=10, fontweight="bold")

ax.set_xlabel("Tiempo", fontsize=9)

ax.set_ylabel("Valor", fontsize=9)

ax.grid(True, linestyle='--', alpha=0.5)

ax.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter("%d/%m %H:%M:%S"))

ax.xaxis.set_major_locator(mdates.AutoDateLocator())

ax.tick_params(axis="x", rotation=45, labelsize=8)

ax.tick_params(axis="y", labelsize=8)

c canvases[topic].draw()

# ----- Determinar color ----- #

def get_color_tag(topic, value):

    if topic == "GsmClientTest/temp":

        return "verde" if value < 25 else "amarillo" if value < 30 else "rojo"

    if topic == "GsmClientTest/ph":

        return "verde" if 6.5 <= value <= 8.5 else "amarillo" if 6 <= value < 6.5 or 8.5 <
            value <= 9 else "rojo"

    if topic == "GsmClientTest/tds":

```

```

    return "verde" if value <= 500 else "amarillo" if value <= 1000 else "rojo"

if topic == "GsmClientTest/turbidez":

    return "verde" if value <= 5 else "amarillo" if value <= 10 else "rojo"

return "sin"

# ----- Tabla con colores ----- #

def update_table(topic, value, timestamp):

    sensor_name = TOPICS[topic][0]

    tag = get_color_tag(topic, value)

    item_id = table.insert("", tk.END, values=(timestamp, sensor_name, f"{value:.2f}"))

    table.item(item_id, tags=(tag,))

# ----- Conexión MQTT ----- #

def connect_mqtt():

    try:

        client.username_pw_set(MQTT_USER, MQTT_PASSWORD)

        client.connect(MQTT_SERVER, MQTT_PORT, 60)

        client.loop_start()

        log("Conectando a MQTT...")

    except Exception as e:

        log(f"✘ Error de conexión: {e}")

def disconnect_mqtt():

```

```

client.disconnect()

client.loop_stop()

update_status("Desconectado", "red")

# ----- Crear ventana ----- #

root = tk.Tk()

style = ttk.Style()

style.theme_use("clam")

style.configure("Treeview", rowheight=20, font=("Arial", 9),
                fieldbackground="white", background="white")

style.configure("Treeview.Heading", font=("Arial", 10, "bold"))

style.map("Treeview", background=[("selected", "#cce5ff")])

root.title("📊 MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA - UNPRG")

root.geometry("1300x900")

# Scroll

main_canvas = tk.Canvas(root)

scrollbar = ttk.Scrollbar(root, orient="vertical", command=main_canvas.yview)

scrollable_frame = ttk.Frame(main_canvas)

scrollable_frame.bind("<Configure>", lambda e:
    main_canvas.configure(scrollregion=main_canvas.bbox("all")))

main_canvas.create_window((0,0), window=scrollable_frame, anchor="nw")

main_canvas.configure(yscrollcommand=scrollbar.set)

main_canvas.pack(side=tk.LEFT, fill=tk.BOTH, expand=True)

```

```

scrollbar.pack(side=tk.RIGHT, fill=tk.Y)

def _on_mousewheel(event):

    main_canvas.yview_scroll(int(-1*(event.delta/120)), "units")

main_canvas.bind_all("<MouseWheel>", _on_mousewheel)

# Top frame

top_frame = ttk.Frame(scrollable_frame, padding=10)

top_frame.pack(fill=tk.X)

status_label = ttk.Label(top_frame, text="Estado: Desconectado",

                          foreground="red", font=("Arial", 12, "bold"))

status_label.pack(side=tk.LEFT, padx=10)

tk.Button(top_frame, text="Conectar", command=connect_mqtt).pack(side=tk.LEFT,

    padx=5)

tk.Button(top_frame, text="Desconectar",

    command=disconnect_mqtt).pack(side=tk.LEFT, padx=5)

# ----- NUEVO BOTÓN EXPORTAR EXCEL ----- #

def export_excel_manual():

    try:

        log("📁 Archivo Excel actualizado: historial_tesis.xlsx")

    except:

        log("❌ Error al exportar Excel")

tk.Button(top_frame, text="Exportar Excel",

    command=export_excel_manual).pack(side=tk.LEFT, padx=5)

```

```

# ----- #


# Tabs

tabs = ttk.Notebook(scrollable_frame)

tabs.pack(fill=tk.BOTH, expand=True)

# Tab Dashboard

tab_dashboard = ttk.Frame(tabs)

tabs.add(tab_dashboard, text=" Dashboard")

figures = {}

axes = {}

c canvases = {}

row, col = 0, 0

for topic, (title, color) in TOPICS.items():

    fig, ax = plt.subplots(figsize=(6,3))

    canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=tab_dashboard)

    canvas.get_tk_widget().grid(row=row,    column=col,    padx=10,    pady=10,
        sticky="nsew")

    figures[topic] = fig

    axes[topic] = ax

    canvases[topic] = canvas

    col += 1

    if col > 1:

        col = 0

```

```

        row += 1

# Tabla

tab_table = ttk.Frame(tabs)

tabs.add(tab_table, text="📄 Historial")

columns = ("Tiempo", "Sensor", "Valor")

table = ttk.Treeview(tab_table, columns=columns, show="headings", height=18)

table.column("Tiempo", anchor=tk.CENTER, width=260)

table.column("Sensor", anchor=tk.CENTER, width=200)

table.column("Valor", anchor=tk.CENTER, width=120)

for col in columns:

    table.heading(col, text=col)

table.pack(fill=tk.BOTH, expand=True, padx=10, pady=10)

table.tag_configure("verde", background="#d4f4dd", foreground="black")

table.tag_configure("amarillo", background="#fff4c1", foreground="black")

table.tag_configure("rojo", background="#f4cccc", foreground="black")

table.tag_configure("sin", background="white", foreground="black")

# Log

tab_log = ttk.Frame(tabs)

tabs.add(tab_log, text="📄 Log")

history_text = scrolledtext.ScrolledText(tab_log, wrap=tk.WORD, height=10,
font=("Consolas", 10))

history_text.pack(fill=tk.BOTH, expand=True, padx=10, pady=10)

```

```

history_text.config(state=tk.DISABLED)

# Cliente MQTT

client = mqtt.Client(client_id="PythonClient", protocol=mqtt.MQTTv311)

client.on_connect = on_connect

client.on_disconnect = on_disconnect

client.on_message = on_message

# Cerrar ventana

def on_closing():

    log("📄 Excel guardado: historial_tesis.xlsx")

    root.destroy()

root.protocol("WM_DELETE_WINDOW", on_closing)

root.mainloop()

```

CÓDIGO DESARROLLADO EN ARDUINO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS.

```

#include <PubSubClient.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

#define TINY_GSM_MODEM_SIM800

#include <TinyGsmClient.h>

#include <EEPROM.h>

```

```
// LCD y sensores

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

OneWire ourWire(4);

DallasTemperature sensors(&ourWire);

// Pines sensores y motor

#define TDS_Pin      32

#define TURBIDITY_PIN 34

#define PH_SENSOR_PIN 35

#define MOTOR_A      12

#define MOTOR_B      13

#define FIN_IZQUIERDA 14

#define FIN_DERECHA  15

#define MODE_PIN     18 // Botón para modo manual

// SIM800 y MQTT

#define SerialAT      Serial1

#define RX_PIN        26

#define TX_PIN        27

TinyGsm modem(SerialAT);

TinyGsmClient gsmClient(modem);

PubSubClient client(gsmClient);

const char* mqttServer = "52.2.116.232";
```

```

const int mqttPort = 1883;

const char* mqttUser = "schifubb:schifubb";

const char* mqttPassword = "7IADPhNH1EszMDnBGoiX-mlhHW9GYr7X";

// EEPROM

#define EEPROM_SIZE 512

struct Muestra {

    float temp;

    float tds;

    float ph;

    float turb;

};

int indiceEEPROM = 0;

// Variables control ciclo

unsigned long ultimaHora = 0;

const unsigned long intervalo = 120000;//3600000UL; // 1 hora

bool datosPendientes = false;

// Estados de modo

enum Modo { AUTO, MANUAL };

Modo modoActual = AUTO;

// --- Setup ---

```

```

void setup() {

  Serial.begin(115200);

  SerialAT.begin(9600, SERIAL_8N1, RX_PIN, TX_PIN);

  sensors.begin();

  lcd.init();

  lcd.backlight();

  pinMode(MOTOR_A, OUTPUT);

  pinMode(MOTOR_B, OUTPUT);

  pinMode(FIN_IZQUIERDA, INPUT_PULLUP);

  pinMode(FIN_DERECHA, INPUT_PULLUP);

  pinMode(MODE_PIN, INPUT_PULLUP); // Botón manual

  digitalWrite(MOTOR_A, LOW);

  digitalWrite(MOTOR_B, LOW);

  EEPROM.begin(EEPROM_SIZE);

  lcd.clear();

  lcd.setCursor(0, 0);

  lcd.print("Sistema Iniciado");

  Serial.println("Sistema Iniciado");

}

// --- Loop ---

void loop() {

```

```

manejarBoton();

if (modoActual == AUTO) {

    ejecutarModoAuto();

} else if (modoActual == MANUAL) {

    ejecutarModoManual();

}

delay(200);

}

// --- Manejo de Botón ---

void manejarBoton() {

    static bool estadoPrevio = HIGH;

    bool estado = digitalRead(MODE_PIN);

    if (estadoPrevio == HIGH && estado == LOW) {

        modoActual = (modoActual == AUTO) ? MANUAL : AUTO;

        mostrarModo();

        delay(300); // debounce

    }

    estadoPrevio = estado;

}

// --- AUTO ---

void ejecutarModoAuto() {

```

```

unsigned long ahora = millis();

// Cada hora inicia ciclo de muestreo

if (ahora - ultimaHora >= intervalo) {

    ultimaHora = ahora;

    cicloMuestreo();

    datosPendientes = true;

}

// Si hay datos pendientes, intenta enviar

if (datosPendientes) {

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("AUTO: Enviando");

    if (enviarDatosMQTT()) {

        datosPendientes = false;

        indiceEEPROM = 0;

    }

}

}

// --- MANUAL ---

void ejecutarModoManual() {

```

```
lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("MANUAL: Motor DOWN");

moverMotor(HIGH, LOW, FIN_DERECHA);

unsigned long inicio = millis();

while (digitalRead(MODE_PIN) == HIGH) { // mientras no se pulse de nuevo

    sensors.requestTemperatures();

    float temp = sensors.getTempCByIndex(0);

    float tds = leerTDS();

    float ph = leerPH();

    float turb = leerTurbidez();

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("T:");

    lcd.print(temp,1);

    lcd.print("C TDS:");

    lcd.print((int)tds);

    lcd.setCursor(0, 2);

    lcd.print("pH:");

    lcd.print(ph,2);

    lcd.print(" Turb:");
```

```

    lcd.print((int)turb);

    lcd.print("%");

    Serial.printf("MANUAL -> T:%.2f TDS:%.1f pH:%.2f Turb:%.1f\n", temp, tds, ph,
        turb);

    delay(2000);

}

lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("MANUAL: Motor UP");

moverMotor(LOW, HIGH, FIN_IZQUIERDA);

modoActual = AUTO;

mostrarModo();

}

// --- Ciclo de muestreo (AUTO) ---

void cicloMuestreo() {

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("AUTO: Muestreo");

    moverMotor(HIGH, LOW, FIN_DERECHA);

    float sumTemp=0,sumTds=0,sumPh=0,sumTurb=0;

    int conteo=0;

```

```

unsigned long inicio = millis();

while (millis() - inicio < 20000) { // 5 min

    sensors.requestTemperatures();

    sumTemp += sensors.getTempCByIndex(0);

    sumTds += leerTDS();

    sumPh += leerPH();

    sumTurb += leerTurbidez();

    conteo++;

    delay(500); // cada 10s

}

moverMotor(LOW, HIGH, FIN_IZQUIERDA);

if (conteo > 0) {

    Muestra m;

    m.temp = sumTemp / conteo;

    m.tds = sumTds / conteo;

    m.ph = sumPh / conteo;

    m.turb = sumTurb / conteo;

    guardarEEPROM(m);

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("Promedio guardado");

    delay(2000);

```

```

    }
}

// --- EEPROM ---

void guardarEEPROM(Muestra m) {

    int addr = indiceEEPROM * sizeof(Muestra);

    if (addr + sizeof(Muestra) <= EEPROM_SIZE) {

        EEPROM.put(addr, m);

        EEPROM.commit();

        indiceEEPROM++;

        Serial.println("Muestra promedio guardada EEPROM");

    } else {

        Serial.println("EEPROM llena!");

    }

}

// --- Enviar datos ---

bool enviarDatosMQTT() {

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("Enviando datos...");

    Serial.println("🚀 Enviando datos...");

    // SIM800

```

```

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("SIM800...");

if (!modem.restart()) {

    lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("Error SIM800");

    Serial.println("✘ Error SIM800");

    delay(2000); return false;

}

lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("TarjetaSIM OK ");

Serial.println("✓ SIM800 OK"); delay(1000);

// GPRS

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("GPRS... ");

if (!modem.gprsConnect("claro.pe", "entel.pe", "movistar.pe")) {

    lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("Error GPRS");

    Serial.println("✘ Error GPRS");

    delay(2000); return false;

}

lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("GPRS OK ");

Serial.println("✓ GPRS OK"); delay(1000);

// MQTT

lcd.setCursor(0, 1);

```

```

lcd.print("MQTT...");

client.setServer(mqttServer, mqttPort);

if (!client.connect("ESP32Client", mqttUser, mqttPassword)) {

    lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("Error MQTT");

    Serial.println("✘ Error MQTT");

    delay(2000); return false;

}

lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("MQTT OK    ");

Serial.println("✓ MQTT OK"); delay(1000);

// --- Enviar datos guardados en EEPROM ---

if (indiceEEPROM > 0) {

    unsigned long tiempoPorDato = 20000 / indiceEEPROM; // 20s total

    for (int i = 0; i < indiceEEPROM; i++) {

        Muestra m;

        EEPROM.get(i * sizeof(Muestra), m);

        // Publicar en MQTT

        client.publish("GsmClientTest/temp", String(m.temp).c_str());

        client.publish("GsmClientTest/tds", String(m.tds).c_str());

        client.publish("GsmClientTest/ph", String(m.ph).c_str());

        client.publish("GsmClientTest/turbidez", String(m.turb).c_str());

```

```
Serial.printf("📡 Enviado -> T:%.2f TDS:%.1f pH:%.2f Turb:%.1f\n",
              m.temp, m.tds, m.ph, m.turb);

// Mostrar en LCD cada dato

lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Dato ");

lcd.print(i+1);

lcd.print("/");

lcd.print(indiceEEPROM);

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("T:");

lcd.print(m.temp, 1);

lcd.print("C TDS:");

lcd.print((int)m.tds);

lcd.setCursor(0, 2);

lcd.print("pH:");

lcd.print(m.ph, 2);

lcd.print(" Turb:");

lcd.print((int)m.turb);

lcd.print("%");

delay(tiempoPorDato); // Mantener visible
```

```

    }
}

// Cerrar conexión

modem.gprsDisconnect();

modem.poweroff();

lcd.clear();

lcd.print("AUTO: Envio OK");

delay(2000);

return true;
}

// --- Motor ---

void moverMotor(int a, int b, int fin) {

    digitalWrite(MOTOR_A, a);

    digitalWrite(MOTOR_B, b);

    unsigned long start=millis();

    while (digitalRead(fin)==LOW) { // activo con LOW

        if (millis()-start>10000) {

            Serial.println("Timeout motor!");

            break;

        }

    }

    delay(100);
}

```

```

}

digitalWrite(MOTOR_A,LOW);

digitalWrite(MOTOR_B,LOW);

}

// --- Sensores ---

float leerTDS() {

    int val = analogRead(TDS_Pin);

    float volt = val * 3.3 / 4095.0;

    return (133.42 * volt * volt * volt - 255.86 * volt * volt + 857.39 * volt) * 0.5;

}

float leerPH() {

    int val = analogRead(PH_SENSOR_PIN);

    float volt = val * 3.3 / 4095.0;

    return -5.70 * volt + 21.8;

}

float leerTurbidez() {

    int val = analogRead(TURBIDITY_PIN);

    return map(val, 0, 4095, 0, 100);

}

// --- Mostrar modo en LCD ---

void mostrarModo() {

```

```
lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0);

if (modoActual == AUTO) {

    lcd.print("Modo: AUTO");

} else {

    lcd.print("Modo: MANUAL");

}

}
```