



*Área de Conocimiento de Tecnología de la Información y
Comunicación*

**Dispositivo Electrónico para el Monitoreo en Tiempo Real de
Propiedades Físico-Químicas del Agua Aplicando
Tecnología IoT para Estanques de Agua Dulce para la
Producción y Crianza de Peces**

*TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO*

Elaborado por:

Br. Antony Ángel
Rodríguez Matamoros
Carnet: 2019-0006U

Br. Malison Franco
Picado Solórzano
Carnet: 2019-0209U

Tutor:

TkL. Marco Antonio
Munguía Mena

10 de octubre de 2024

Managua, Nicaragua



Área de Conocimiento de
Tecnología de la Información
y Comunicación

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

RODRIGUEZ MATAMOROS ANTONY ANGEL

Carné: **2019-0006U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRÓNICA**, en el año 2023 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los diecinueve días del mes de agosto del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,



Ing. Cedrick Elksnherr Dalla Torre Farrales
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



Móvil: (505) 8588 8333



Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595



www.uni.edu.ni

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 19-ago.-2024



Área de Conocimiento de
Tecnología de la Información
y Comunicación

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

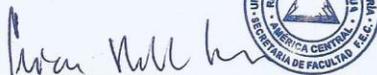
El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

PICADO SOLORZANO MALISON FRANCO

Carné: 2019-0209U Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRÓNICA**, en el año 2023 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los diecinueve días del mes de agosto del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,



Ing. Cedrick Elksnherr DallaTorre Parrales
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

 Móvil: (505) 8588 8333

 Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria,
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

 www.uni.edu.ni

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 19-ago.-2024

10 de Octubre de 2024

A Quien Corresponda

Reciba un cordial saludo de mi parte.

Por medio de la presente misiva, hago constar que el trabajo monográfico titulado: "Dispositivo Electrónico para el Monitoreo en Tiempo Real de Propiedades Físico-Químicas del Agua Aplicando Tecnología IoT para Estanques de Agua Dulce para la Producción y Crianza de Peces" y desarrollado por el Br. Antony Ángel Rodríguez Matamoros, carne: 2019-0006U y el Br. Malison Franco Picado Solórzano, cerne: 2019-0209U cumple con los estándares de calidad y requerimientos definidos por la Universidad Nacional de Ingeniería para este fin.

Sin más a que hacer referencia, se extiende la presente a solicitud de los bachilleres Rodríguez y Picado:

Atentamente,



Tecn. Marco Munguía Mena
Tutor

Profesor Titular
Programa Académico de Ingeniería en Telecomunicaciones
Área de Conocimiento de Tecnología de la Información y Comunicación
Universidad Nacional de Ingeniería



Decanatura FEC

Universidad Nacional de Ingeniería
Recinto Universitario "Simón Bolívar"
Facultad de Electrotecnia y Computación
Decanatura
DF-10-2023-53

Managua, 30 de octubre del 2023.

Bachilleres.

Malison Franco Picado Solorzano 2019-0209U.
Antony Ángel Rodríguez Matamoros 2019-0006U.
Egresados de la Carrera de Ingeniería Electrónico.

Estimados Bachilleres:

El suscrito Decano de la Facultad de Electrotecnia y Computación, a través de la presente autoriza de manera formal la inscripción de la Monografía Titulada "**Dispositivo Electrónico para el monitoreo en tiempo real de propiedades Físico-química del agua aplicando Tecnología IoT para Estanques de agua dulce para la Producción y Crianza de Peces.**". Para optar al Título de Ingeniero Electrónico para tal efecto se nombra como Tutor de la Monografía al **TkL. Marco Antonio Munguía Mena.**

Así mismo le solicito proceda a la **Inscripción de dicho Tema Monográfico** en secretaria Académica de la facultad, con la finalidad de darle control y seguimiento, de acuerdo a los reglamentos establecidos.

Se les recuerda que, según la normativa para los trabajos monográficos, a partir de la fecha de inscripción tiene 12 meses para defender dicho trabajo.

Sin más a que referirme y deseándoles mucho éxito en la culminación de esta etapa, me despido.

Atentamente



Msc. Augusto César Palacios Rodríguez
Decano UNI-FEC

C/c: Ing. María Lourdes Montes.
Ing. Marlo Robleto Alemán.
TkL. Marco Munguía Mena.
Archivo.

Secretaría Académica.
Jefe de Dpto. de Sistema Digitales y Telecomunicaciones.
Tutor.

☎ Teléfono: (505) 2270 5126

📍 Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

✉ agosto.palacios@fec.uni.edu.ni
www.fec.uni.edu.ni

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al señor José Martínez Valverde, cuya generosidad al permitirnos usar sus estanques de cultivo y compartir su profundo conocimiento en piscicultura que fue invaluable para nuestra investigación, donde su apoyo y disposición nos permitieron avanzar significativamente en nuestro estudio. Asimismo, agradecemos a nuestro tutor, el Tkl. Marco Munguía Mena, por su incansable apoyo y guía durante todo el proceso de elaboración de este trabajo. Su experiencia y orientación fueron fundamentales para el desarrollo de nuestro trabajo monográfico, ayudándonos a superar los desafíos y enriqueciendo nuestra experiencia académica.

Antony Ángel Rodríguez Matamoros

Malison Franco Picado Solórzano

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada, en primer lugar, a Dios, por haberme dado la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para completar mi carrera universitaria y culminar este proyecto. Sin su guía, no habría podido superar los desafíos que se presentaron en mi camino.

De igual manera, dedico este logro a mis padres, Rosaura Matamoros Meléndez y Ángel Rodríguez Durán, quienes con su amor incondicional y sus enseñanzas se han convertido en los pilares fundamentales de mi vida. Su apoyo constante, sus consejos llenos de sabiduría y su ejemplo de esfuerzo y dedicación han sido mi mayor fuente de inspiración. A lo largo de mi vida, ellos me han mostrado el valor del trabajo arduo y la importancia de nunca rendirse ante las dificultades. A toda mi familia, les agradezco profundamente por su cariño, su apoyo inquebrantable y por haber compartido conmigo cada alegría y cada desafío en este camino. Su presencia y aliento han sido esenciales para que hoy pueda celebrar este importante logro.

Antony Ángel Rodríguez Matamoros

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico primeramente a Dios, fuente de toda sabiduría y guía. Gracias a Él por concederme la fortaleza y la perseverancia necesarias para completar este proyecto. Su presencia constante en mi vida me ha brindado consuelo y motivación en cada paso del camino.

Con especial cariño, dedico este trabajo a mis queridos padres, Francisco J. Picado y Lilliam L. Solórzano. Su amor incondicional, sus sacrificios y su apoyo han sido fundamentales en mi vida y en la consecución de mis metas. Gracias por creer siempre en mí, por su paciencia y por inculcarme los valores que me han llevado a este logro. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Malison Franco Picado Solórzano

RESUMEN

En esta investigación monográfica se desarrolla en el diseño de un dispositivo electrónico de medición de los parámetros de calidad del agua de los peces de agua dulce en estanques, en la utilización del IoT para la visualización de los datos mediante una aplicación móvil, esta investigación, se organiza en capítulos que permiten comprender en detalle los fundamentos de la piscicultura y el funcionamiento del dispositivo electrónico en relación con el IoT.

En el “Capítulo I: Conceptos Teóricos fundamentales de la Piscicultura en Agua Dulce” introduce la definición e importancia del desarrollo de la piscicultura, fundamentando los diferentes sistemas de cultivos y la investigación del pez Tilapia, Mojarra y Guapote, que serán objeto de análisis en esta investigación.

En el “Capítulo II: Parámetros Clave de Calidad del Agua en la Piscicultura” explora los conceptos relacionados con la calidad del agua, investigando parámetros esenciales como la Temperatura, Potencial de hidrógeno (PH), Total de sólidos disueltos (TDS), Turbidez y Conductividad eléctrica. Este capítulo destaca la importancia de estos parámetros para la salud y crecimiento de estos peces, estableciendo los niveles óptimos para su crianza y reproducción.

En el “Capítulo III: Análisis de Requerimientos Funcionales del Dispositivo Electrónico para la Piscicultura” detalla la entrevista realizada a un piscicultor ubicado en el departamento de León, considerado un proceso crucial para definir los parámetros de calidad del agua y los requerimientos que el dispositivo debe de cumplir para el beneficio del piscicultor.

En el “Capítulo IV: Diseño e Implementación del Sistema Electrónico para el Monitoreo en Tiempo Real de Parámetros de Calidad del Agua en la Piscicultura” se enfoca en los conceptos técnicos fundamentales del funcionamiento del dispositivo electrónico, desglosando cada etapa del diseño e implementación del sistema electrónico en relación al IoT.

Al finalizar la lectura de esta investigación, se comprenderá el cumplimiento de los objetivos planteados y la eficiencia del dispositivo electrónico en el monitoreo de la calidad del agua, demostrando su impacto positivo en el área de la piscicultura en Nicaragua.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS.....	2
2.1.	Objetivo General	2
2.2.	Objetivos Específicos	2
3.	JUSTIFICACIÓN.....	3
4.	MARCO TEÓRICO	4
4.1.	Capítulo I: Conceptos Teóricos Fundamentales de la Piscicultura en Agua Dulce	4
4.1.1.	Fundamentos de la Piscicultura.....	4
4.1.2.	Historia de la Piscicultura en Nicaragua	5
4.1.3.	Sistemas de Cultivo en la Piscicultura	5
4.1.4.	Descripción y Selección del Sistema de Cultivo para la Prueba del Dispositivo Electrónico	7
4.1.5.	Características Básicas de Tilapia, Mojarra y Guapote en Nicaragua.....	8
4.2.	Capítulo II: Parámetros Clave de Calidad del Agua en la Piscicultura	11
4.2.1.	Temperatura.....	12
4.2.2.	Potencial de Hidrógeno	12
4.2.3.	Total de Sólidos Disueltos	13
4.2.4.	Conductividad Eléctrica.....	14
4.2.5.	Turbidez	16
4.2.6.	Parámetros Óptimos de Calidad del Agua en los Peces Tilapia, Mojarra y Guapote	18
4.2.7.	Definición de los Rangos Óptimos de Parámetros de Calidad del Agua para Tilapia, Guapote y Mojarra	20

4.3.	Capítulo III: Análisis de Requerimientos Funcionales del Dispositivo Electrónico para la Piscicultura	22
4.4.	Capítulo IV: Diseño e Implementación del Sistema Electrónico para el Monitoreo en Tiempo Real de Parámetros de Calidad del Agua en la Piscicultura.	24
4.4.1.	Internet de las Cosas: Principios, Protocolos e Implementación en Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real	24
4.4.2.	Diagrama de Bloques de la Estructura del IoT con Relación al Dispositivo Electrónico	27
4.4.3.	Dispositivo Electrónico	29
4.4.4.	Transmisión.....	55
4.4.5.	Procesamiento	56
4.4.6.	Almacenamiento/Base de datos.....	62
4.4.7.	Visualización	67
4.4.8.	Presupuesto del sistema electrónico	71
4.4.9.	Instalación del Dispositivo Electrónico en el estanque de Piscicultura en la Ciudad de León	75
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	77
5.1.	15 de Julio de 2024 hasta el 21 de Julio de 2024	78
5.1.1.	Temperatura (°C)	78
5.1.2.	PH.....	79
5.1.3.	TDS (ppm).....	82
5.1.4.	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	83
5.1.5.	Turbidez (NTU)	84
5.2.	22 de Julio de 2024 hasta el 26 de Julio de 2024	85
5.2.1.	Temperatura (°C)	85



5.2.2.	PH.....	86
5.2.3.	TDS (ppm).....	86
5.2.4.	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	87
5.2.5.	Turbidez (NTU)	87
5.3.	Factores Externos	88
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
6.1.	Conclusiones.....	89
6.2.	Recomendaciones.....	90
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	91
8.	ANEXOS.....	95
8.1.	Diseños de los Componentes Electrónicos en 3D	95
8.2.	Código de Programación Relación Voltaje - TDS	95
8.3.	Programa de Calibración del Sensor PH	96
8.4.	Programa de Relación Voltaje - PH.....	96
8.5.	Estanque Piscicultor José Martínez.....	97
8.6.	Entrevista Realizada al Piscicultor José Martínez.....	98
8.7.	Repositorio Programación General.....	99
8.8.	Evidencia que se ha Realizado el Periodo de 12 Días del Dispositivo Electrónico en el Estanque del Piscicultor.....	99

Índice de figuras

Figura 1: <i>Sistema intensivo</i> (Tomado de LaOpinión, 2020).....	6
Figura 2: <i>Sistema semi-intensivo</i> (Tomado de UNF, 2022).....	7
Figura 3: <i>Sistema extensivo</i> (Tomado de agrotendencia, 2020)	7
Figura 4: <i>Estanque intensivo de José Martínez</i> (Fuente propia)	8
Figura 5: <i>Tilapia del Nilo</i> (Tomado de Velásquez, 2008).....	9
Figura 6: <i>Guapote Jaguar</i> (Tomado de Acuario3web, 2022).....	10
Figura 7: <i>Pez Mojarra</i> (Tomado de Allgayer, 2023).....	10
Figura 8: <i>Escala PH</i> (Tomado de Aguaplanet, 2023)	13
Figura 9: <i>Turbidez del agua</i> (Tomado de Flowen, 2020).....	16
Figura 10: <i>Disco Sechhi</i> (Tomado de Pallares, 2024)	17
Figura 11: <i>Diagrama de Bloques del sistema electrónico</i> (Fuente propia)	28
Figura 12: <i>ESP32 vista en planta</i> (Peter Rodríguez, 2024).....	29
Figura 13: <i>DS18B20 vista en planta</i> (Peter Rodríguez, 2024).....	31
Figura 14: <i>Agua fría</i> (Fuente propia).....	34
Figura 15: <i>PH4502C vista en Planta</i> (Peter Rodríguez, 2024)	34
Figura 16: <i>Agua consumo humano</i> (Fuente propia)	36
Figura 17: <i>Sensor TDS vista en planta</i> (Peter Rodríguez, 2024).....	37
Figura 18: <i>Relación voltaje – TDS</i> (Fuente propia)	38
Figura 19: <i>Agua de consumo humano</i> (Fuente propia)	39
Figura 20: <i>Sensor Turbidez vista en planta</i> (Peter Rodríguez, 2024)	39
Figura 21: <i>Agua turbia</i> (Fuente propia)	41
Figura 22: <i>Lector SD vista isométrica</i> (Peter Rodríguez, 2024)	41
Figura 23: <i>Guardar datos del DS18B20 en una tarjeta microSD</i> (Fuente Propia)	44
Figura 24: <i>Proceso de recuperación de datos en caso de fallo de alimentación</i> (Fuente propia).....	45

Figura 25: <i>Almacenamiento de mediciones durante desconexión de internet</i> (Fuente propia)	45
Figura 26: <i>LED vista isométrica</i> (Peter Rodríguez, 2024)	46
Figura 27: <i>Visualización de LEDS del dispositivo electrónico</i> (Fuente propia)	46
Figura 28: <i>Buzzer vista isométrica</i> (Peter Rodríguez, 2024)	47
Figura 29: <i>Conexión del dispositivo electrónico</i> (Fuente propia)	49
Figura 30: <i>Ensamblaje final del dispositivo electrónico</i> (Fuente propia)	50
Figura 31: <i>Cortocircuitando el conector BNC</i> (Fuente propia)	52
Figura 32: <i>Muestra PH 4 y PH 7</i> (Fuente propia)	53
Figura 33: <i>Lógica del funcionamiento en la configuración del dispositivo vía bluetooth</i> (Fuente propia)	55
Figura 34: <i>Esquema de la base de datos del sistema</i> (Fuente propia)	63
Figura 35: <i>Relación interfaz de usuario y lógica de funcionamiento</i> (Fuente propia)	67
Figura 36: <i>Acceso al manual de usuario desde el servidor</i> (Fuente propia)	68
Figura 37: <i>Acceso del usuario en la aplicación</i> (Fuente propia)	68
Figura 38: <i>Generación de estadísticas</i> (Fuente propia)	69
Figura 39: <i>Descarga de datos en la aplicación</i> (Fuente propia)	69
Figura 40: <i>Configuración del dispositivo electrónico</i> (Fuente propia)	70
Figura 41: <i>Sistema de alarma</i> (Fuente propia)	71
Figura 42: <i>Consumo de base de datos del sistema electrónico</i> (Fuente propia)	74
Figura 43: <i>Consumo de base de datos en tiempo real</i> (Fuente propia)	75
Figura 44: <i>Instalación del dispositivo electrónico</i> (Fuente propia)	76
Figura 45: <i>Evidencia que el monitoreo inicia a partir del 4 de Julio de 2024</i> (Fuente propia)	77
Figura 46: <i>Análisis Temperatura 15/07/2024 - 21/07/2024</i> (Fuente propia)	78
Figura 47: <i>Comprobación utilizando un termómetro</i> (Fuente propia)	79

Figura 48: *Análisis PH 15/07/2024 - 21/07/2024* (Fuente propia).....79

Figura 49: *Evidencia interactividad con el Piscicultor con respecto al PH* (Fuente propia)81

Figura 50: *Funcionamiento de la notificación* (Fuente propia)82

Figura 51: *Análisis TDS 15/07/2024 - 21/07/2024* (Fuente propia).....82

Figura 52: *Análisis Conductividad eléctrica 15/07/2024 - 21/07/2024* (Fuente propia) ..83

Figura 53: *Análisis Turbidez 15/07/2024 - 21/07/2024* (Fuente propia)84

Figura 54: *Agua transparente en el estanque* (Fuente propia)85

Figura 55: *Análisis Temperatura 22/07/2024 - 26/07/2024* (Fuente propia)85

Figura 56: *Análisis PH 22/07/2024 - 26/07/2024* (Fuente propia).....86

Figura 57: *Análisis TDS 22/07/2024 - 26/07/2024* (Fuente propia).....86

Figura 58: *Análisis Conductividad eléctrica 22/07/2024 - 26/07/2024* (Fuente propia) ..87

Figura 59: *Análisis Turbidez 22/07/2024 - 26/07/2024* (Fuente propia)87

Figura 60: *Datos de configuración almacenados* (Fuente propia)88

Figura 61: *Parámetros almacenados en la SD por desconexión* (Fuente propia).....88

Índice de tablas

Tabla 1 *Dureza del agua en relación a la conductividad eléctrica*16

Tabla 2 *Rangos óptimos de la Tilapia del Nilo*.....21

Tabla 3 *Rangos óptimos del Guapote Jaguar*21

Tabla 4 *Rangos óptimos del Pez Mojarra*.....21

Tabla 5 *Comparación Bluetooth clásico con Bluetooth BLE*.....26

Tabla 6 *Relación resistencia y distancia*.....33

Tabla 7 *Fuente de alimentación del Dispositivo electrónico*48

Tabla 8 *Endpoints en el sistema electrónico*58



Tabla 9 *Estructura de datos de los endpoints*.....59

Tabla 10 *Presupuesto del dispositivo electrónico*.....72

Tabla 11 *Presupuesto Firestore*73

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: *Relación TDS y Conductividad eléctrica (Tomado de Guerrero Crespo & Arias Pilatuña, 2014)*15

1. INTRODUCCIÓN

En esta investigación monográfica se enfoca en el diseño de un dispositivo electrónico de medición en tiempo real de las propiedades físico-químicas del agua para el monitoreo de la producción y crianza de peces de agua dulce en estanques utilizando tecnología de internet de las cosas (IoT) donde la razón de este desarrollo surge a partir de la importancia de la piscicultura en el país de Nicaragua, que enfrenta desafíos significativos en el manejo de la calidad del agua. Actualmente, las mediciones se realizan de forma manual, un proceso que dificulta el control preciso y constante de las condiciones del agua, que es importante para la salud y crecimiento óptimo de los peces. Este método tradicional limita la capacidad de los piscicultores para reaccionar a tiempo a cambios críticos en el entorno, resultando pérdidas económicas y una menor eficiencia en la producción.

Para hacer frente a este desafío, se ha desarrollado un dispositivo electrónico de medición basado en IoT que permite el monitoreo continuo en tiempo real de la calidad del agua en estanques de la piscicultura. Este dispositivo conectado a una aplicación móvil, proporciona datos precisos y gráficos estadísticos que facilitará un análisis de las condiciones del agua. El uso de este dispositivo electrónico, permitirá optimizar el crecimiento y supervivencia de los peces, ahorrando costos operativos y mejorar la toma de decisiones donde este avance tecnológico representa un paso significativo en la modernización de la piscicultura en Nicaragua, contribuyendo un manejo sostenible y eficiente de los recursos acuáticos y potenciando el crecimiento económico de este sector.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Desarrollar un dispositivo electrónico para medir e informar en tiempo real las propiedades físico-químicas del agua en estanques de agua dulce destinados a la producción y crianza de peces.

2.2. Objetivos Específicos

- ❖ Determinar los requerimientos funcionales del dispositivo electrónico mediante una entrevista y observaciones del entorno.
- ❖ Diseñar un dispositivo electrónico integrando adquisición, procesamiento, transmisión, almacenamiento y visualización en tiempo real de las propiedades físico-químicas del agua en estanques destinados a la crianza y producción de peces.
- ❖ Desarrollar un sistema de alarma basado en la nube que permita a los usuarios supervisar las condiciones del agua en los estanques de peces de agua dulce de forma remota.

3. JUSTIFICACIÓN

En Nicaragua, la piscicultura desempeña un papel fundamental en la economía, proporcionando empleo y contribuyendo a la seguridad alimentaria en el hogar. Para maximizar la producción y calidad de reproducción de los peces, es esencial optar con ambientes acuáticos controlados y optimizados, es decir, utilizando estanques que permitan un manejo eficiente de los recursos donde la incorporación de tecnología en este sector es importante para la mejora de la productividad y sostenibilidad, permitiendo un monitoreo continuo y preciso de las condiciones del agua que es el factor vital para la reproducción de los peces. Este avance permitirá fortalecer el impulso de la piscicultura nicaragüense, así como asegurar un desarrollo económico sostenible.

Este dispositivo electrónico de monitoreo en tiempo real de las propiedades físico-químicas del agua para la producción y crianza de peces en estanques de agua dulce mediante el uso de la tecnología IoT tiene como objetivo principal proporcionar registros de datos con respecto a la calidad del agua en los estanques de cultivo para reflejar una mejora en la tasa de supervivencia y crecimiento de los peces, contribuyendo en la reducción de costos y tiempo necesarios en la medición manual que se realiza actualmente. Este dispositivo se dirige específicamente a los productores de peces en estanques de agua dulce porque tendrían acceso al monitoreo continuo y la disponibilidad de la información en tiempo real en relación a la calidad del agua que permitirán a los piscicultores tomar decisiones informadas y oportunas sobre el manejo de los estanques de cultivo.

Además, el dispositivo de medición propuesto será una herramienta importante para los investigadores en el campo de la piscicultura, donde los datos recopilados permitirán realizar estudios y análisis detallados sobre la relación de los parámetros físico-químicos del agua con la salud y crecimiento de los peces, proporcionando información valiosa para la mejora continua de las prácticas en este sector. Este avance impulsará la eficiencia y productividad de la piscicultura en Nicaragua, además, aportará de forma significativa a los institutos y centros de investigación que posee Nicaragua, que podrá utilizar estos datos para centro de análisis del comportamiento de los peces en función con la calidad del agua, concluyendo que este dispositivo de medición contribuirá al desarrollo sostenible y expansión económica del país, fortaleciendo la seguridad alimentaria y el bienestar de la población nicaragüense.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Capítulo I: Conceptos Teóricos Fundamentales de la Piscicultura en Agua Dulce

4.1.1. *Fundamentos de la Piscicultura*

Para entender la definición de este nuevo método de cultivo, debemos desglosar la palabra “Piscicultura” que Según Pérez Porto & Merino (2023):

El significado literal del término alude al «cultivo de peces», si tenemos en cuenta los tres componentes latinos que son los que le dan forma: el sustantivo piscis, que significa «pez»; el adjetivo cultus, que se traduce como «cultivado»; y el sufijo –ura, que se emplea para indicar lo que es el «resultado de una actividad»

La piscicultura es el conjunto de técnicas y procedimientos que permiten impulsar y controlar la reproducción de peces en agua dulce, utilizando diferentes medios como los ríos, estanques, peceras, entre otros. Es decir, tiene como objetivo el cultivo racional de los peces, comprendiendo el control de su crecimiento y su reproducción donde la persona que se encarga de realizar estos procedimientos es llamada “Piscicultor” que tiene como responsabilidad observar y regular la multiplicación, alimentación y el crecimiento de los peces con el propósito de obtener una producción sostenible de peces para autoconsumo o como a fines comerciales, fomentando un empleo estable y un enfoque emprendedor.

Actualmente, se ha realizado un impulso en el desarrollo de la piscicultura en el país de Nicaragua, formando un grupo de apoyo mediante el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) con el Instituto Nicaragüense de la Pesca y Acuicultura (INPESCA) donde se ha implementado un laboratorio nacional de investigación de la piscicultura ubicado en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria (Managua) con el propósito de promover la producción, cuidado y reproducción de los peces incentivando a proyectos de investigación de la piscicultura con respecto al comportamiento de los peces en relación a los parámetros de calidad del agua.

El cultivo de peces en estanque es una forma más sencilla en comparación con la ganadería, las técnicas de producción son más sencillas para una familia que no tiene muchos recursos y espacios donde a través del acompañamiento técnico a las familias productoras, se ha estado promoviendo iniciativas que permitan minimizar los costos de producción con el propósito de que las familias garanticen la producción durante todo el

año permitiéndoles la comercialización mejorando su nivel de vida. (INTA_NICARAGUA, 2019)

4.1.2. Historia de la Piscicultura en Nicaragua

En 1982 inicia el gobierno un programa de agro acuicultura y de repoblamiento de embalses, actividad que se desarrolló durante toda la década de los ochenta, Orozco Méndez & Martínez López (2022) afirma:

En esos años se trabaja con Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y Tilapia aurea (*Oreochromis aureus*), guapote (*Cyclopterus managuense*) y se introdujo carpas (*Cyprinus carpio*) al país. Sin embargo, el gobierno a finales de los ochenta decidió cerrar el programa piscícola y concentrar los esfuerzos en el cultivo de camarón que parecería más promisorio.

Se ha realizado un estudio investigativo afirmando que la actividad piscícola está distribuida en la zona central norte, departamentos de Estelí, Matagalpa, Managua, Jinotega, Masaya, León, Chinandega y Madriz, siendo éstas unidades muy pequeñas y familiares donde la mayor unidad de producción es la Tilapia.

A partir del año 2000 hasta la actualidad, se ha impulsado la piscicultura con el apoyo del gobierno nicaragüense para la creación de estrategias dirigidas a pequeñas escalas, donde se ha dado un incremento de capacitaciones e investigaciones con respecto a esta área impulsada por Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) con el Instituto Nicaragüense de la Pesca y Acuicultura (INPESCA). Además, la Universidad Nacional Agraria (UNA) “Es una de las instituciones que promueve y apoya la piscicultura, específicamente la producción y explotación de la especie tilapia *Oreochromis* que cuenta con una granja demostrativa de estanques semi-intensivo” (Altamirano Bucardo & Meza Castillo, 2020).

4.1.3. Sistemas de Cultivo en la Piscicultura

Los sistemas de cultivo son las diversas formas en las que se pueden criar y cultivar organismos acuáticos para diversos fines, en el ámbito de la piscicultura, encontramos 3 diferentes sistemas de cultivo para impulsar el área de reproducción de los peces de agua dulce.

4.1.3.1. Sistema intensivo. En este sistema se utilizan estanques dando un enfoque de reproducción de espacio limitado, pero con alta densidad, teniendo una cantidad de peces por unidad de área permitiendo una mayor producción en un espacio reducido.

La densidad de siembra es un poco mayor de 6 a 20 peces por m^2 y la densidad de siembra está por el rango de 21 a 50 peces por m^2 y es ideal para proyectos comerciales. Además, todos los días se deben de tomar los parámetros del agua. (Altamirano Bucardo & Meza Castillo, 2020). Concluyendo que en este sistema se debe controlar cuidadosamente el medio ambiente para optimizar el crecimiento y la salud de los peces.



Figura 1: *Sistema intensivo* (Tomado de LaOpinión, 2020)

4.1.3.2. Sistema Semi-intensivo. Este sistema es la combinación del sistema extensivo e intensivo, donde aprovecha los recursos naturales del entorno como plancton y otros organismos acuáticos y se necesita un poco de manejo adecuado de calidad del agua reduciendo los costos operativos de inversión para este sistema considerándose para personas con recursos limitados permitiendo maximizar la producción.

Se llevan a cabo en estanques rústicas de tierra o tierra con paredes de cemento, su tamaño es mediano (de 250 metros cuadrados a una hectárea), en donde la densidad de organismos es media, llegando a tener de 1 a 10 peces $/m^3$, se alimentan parcialmente del alimento natural del agua complementándose con alimento balanceado. (Altamirano Bucardo & Meza Castillo, 2020)



Figura 2: *Sistema semi-intensivo* (Tomado de UNF, 2022)

4.1.3.3. Sistema Extensivo. Se implementa en grandes áreas, donde no se utilizan los estanques, este sistema es difícil de realizar un control del medio ambiente porque los peces dependen drásticamente de los recursos que proporciona la naturaleza. Su manejo se centra únicamente en la siembra y cosecha de organismos, el alimento está dado por la producción natural del agua (plancton y zooplancton) que forma la cadena alimenticia, concluyendo que no se requiere tecnología, la reproducción es natural.



Figura 3: *Sistema extensivo* (Tomado de agrotendencia, 2020)

4.1.4. Descripción y Selección del Sistema de Cultivo para la Prueba del Dispositivo Electrónico

Se realizó una visita al piscicultor José Santos Martínez Valverde, ubicado en el departamento de León – Sutiaba dónde nos facilitó la autorización de inspección de sus estanques de crianza de peces de agua dulce, donde visualizamos que se implementa un sistema de cultivo intensivo, al haber comprendido que este sistema se debe controlar cuidadosamente el medio ambiente, se concluye que es muy importante mantener un control de monitoreo de la calidad del agua para tener beneficios en la supervivencia y

crecimiento de los peces donde esta investigación monográfica tiene como beneficio al piscicultor poder reducir costos y tiempos en comparación a las mediciones de forma manual que empleaba el piscicultor José Martínez. Al finalizar la visita que se aprovechó para entrevistarlo para obtener los parámetros fundamentales de la calidad del agua, se llegó a un acuerdo donde se realizó las pruebas necesarias del funcionamiento del dispositivo electrónico en el estanque intensivo del piscicultor que se podrá observar en la figura 4.



Figura 4: *Estanque intensivo de José Martínez (Fuente propia)*

4.1.5. Características Básicas de Tilapia, Mojarra y Guapote en Nicaragua

La idea principal de creación del desarrollo del dispositivo electrónico de monitoreo es debido al gran impulso del área de la piscicultura en Nicaragua donde se ha escogido el ámbito de agua dulce porque hay mayor demanda de crianza de peces como la Tilapia, Mojarra y Guapote.

4.1.5.1. Tilapia del Nilo. La tilapia del Nilo o *Oreochromis niloticus* como su científico, es originaria del continente africano, donde se ha introducido artificialmente en la mayoría de los países tropicales como Asia, India y Latinoamérica con fines alimenticios y comerciales.



Figura 5: *Tilapia del Nilo* (Tomado de Velásquez, 2008)

La característica más distintiva de esta especie es la presencia de rayas verticales regulares a lo largo de la profundidad de la aleta caudal, el margen de la aleta dorsal es gris o negro, presenta de 7 a 12 barras verticales en la caudal. Presenta un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal. Presenta de 16 a 18 espinas en la aleta dorsal, de 12 a 13 rayos blandos en la dorsal, 3 espinas y entre 9 y 11 rayos blandos en la aleta anal. (Velásquez, 2008)

Las aletas pares las constituyen las pectorales y las ventrales; las impares están constituidas por las aletas dorsales, la caudal y la anal. La parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta, consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, disponiendo sus aletas dorsales en forma de cresta. La aleta caudal es redonda, trunca y raramente cortada, como en todos los peces, esta aleta le sirve para mantener el equilibrio del cuerpo durante la natación y al lanzarse en el agua. (Saavedra Martínez, Manejo del cultivo de Tilapia, 2006)

4.1.5.2. Guapote Jaguar. El guapote Jaguar o *Parachromis managuensis* como su nombre científico, es bastante común entre malezas en el litoral del lago de Nicaragua donde habita en aguas estancadas entre 0 y 45 metros de altura. Se distribuye en la vertiente Atlántica del río Ulúa en Honduras hasta la cuenca del río Matina en Costa Rica. Según Velásquez (2008) afirma:

Esta especie se caracteriza por su boca grande, mandíbula inferior saliente y el cuerpo y las aletas manchadas de negro, tiene el lóbulo en el ángulo inferior del preopérculo y el mayor número de branquiespinas. La coloración generalmente varía de un verde dorado a morado, el lomo es verde musgo, los costados dorados con un matiz morado y el vientre amarillento.



Figura 6: *Guapote Jaguar* (Tomado de Acuario3web, 2022)

4.1.5.3. Pez Mojarra. El pez Mojarra o *Cichlasoma urophthalmus* conocido como su nombre científico, es de origen de América central en los países de Belice, Honduras, México y Nicaragua. Según Allgayer (2023) afirma:

Tiene un tamaño de 30cm y como máximo de 35 cm que se caracteriza por tener una vida de 12 años, se ha investigado que los machos dominantes pueden alcanzar hasta los 35cm. Estos peces son ovíparos, tienen una dieta omnívora y no son territoriales.



Figura 7: *Pez Mojarra* (Tomado de Allgayer, 2023)

En esta investigación monográfica se analizará el comportamiento de estos 3 peces de agua dulce con respecto a los parámetros de calidad del agua, donde con la ayuda de entrevista e investigación, se recopilaron 5 parámetros fundamentales que estos 3 peces deben mantener un rango óptimo de calidad de agua para realizar una excelente reproducción y éxito total en su crecimiento, porque recordemos, para que los peces tengan una buen reproducción y disminuir la mortalidad, deberá mantener un control estricto para evitar la contaminación del agua, esto es muy importante y es la fuente principal del funcionamiento del dispositivo electrónico de medición que hemos diseñado,

que permitirá mantener un monitoreo en tiempo real visualizando los 5 parámetros fundamentales de calidad del agua.

4.2. Capítulo II: Parámetros Clave de Calidad del Agua en la Piscicultura

Conceptualmente, la calidad del agua “es el conjunto de características físicas, químicas y biológicas de un cuerpo de agua en su estado natural o después de ser alteradas por la acción del hombre” (Orozco Méndez & Martínez López, 2022). Este concepto se relaciona como un factor importante en la piscicultura, porque el crecimiento y la buena producción en el establecimiento de los peces dependerá en gran medida, de las consideraciones y estrategias dirigidas a conservar la calidad del agua, porque recordemos que está determinada por condiciones físico-químicas que dependerá de la especie a cultivar.

Según Orozco Méndez & Martínez López (2022) afirma:

La calidad de agua es un componente vital que debe vigilarse constantemente en ambientes de piscicultura, es el producto de la relación entre un conjunto de elementos, que, en muchos casos, el piscicultor tiene limitada participación. No obstante, diferentes resultados son debido a su intervención, llegando a evitarse estos últimos por medio de la prevención.

Actualmente, muchos piscicultores enfrentan un gran desafío que consiste en observar y analizar la calidad del agua en sus estanques de peces de agua dulce, donde este proceso es complicado debido a la necesidad de realizar monitoreo de forma manual, por ejemplo, el piscicultor mide la temperatura del agua con un termómetro, la alcalinidad con una sonda de PH, la turbidez con un disco secchi, entre otras herramientas. Este enfoque manual requiere estar físicamente en el estanque, consumiendo tiempo y dificultad de llevar un control constante y preciso de los parámetros de calidad del agua. Para abordar este problema, se ha desarrollado un dispositivo electrónico con la utilización de IOT que permitirá monitorear en tiempo real parámetros de calidad del agua, asegurando la salud y crecimiento óptimo de los peces de manera eficiente y sostenible.

El día 27 de mayo de 2024, se realizó una visita para inspeccionar el estanque de crianza de peces de agua dulce del piscicultor José Santos Martínez Valverde, ubicado en el departamento de León – Sutiaba, además, se ha realizado una pequeña entrevista detallando los últimos requerimientos del dispositivo electrónico de monitoreo, teniendo la valiosa recopilación de información dado por el piscicultor e investigación en libros y

sitios web, se menciona que existe 5 parámetros fundamentales en la calidad del agua que se utilizará como medio de medición realizado por el dispositivo para proporcionar un análisis de la calidad del agua en el estanque del piscicultor, estos parámetros son: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Potencial de Hidrógeno PH, Total de sólidos disueltos TDS (ppm), Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Turbidez (NTU).

4.2.1. Temperatura

Recordemos que la temperatura es una magnitud escalar que se define como la cantidad de energía cinética de las partículas de una masa gaseosa, líquida o sólida, teniendo la siguiente relación: cuanto mayor es la velocidad de las partículas, mayor es la temperatura y viceversa.

La temperatura es un factor controlador que condiciona el metabolismo de los diferentes organismos acuáticos, principalmente el consumo de alimentos. Se hace necesario estrategias de manejo, así como el conocimiento del ambiente y de la fisiología de los organismos para lograr que ellos estén en su mejor estado de salud y confort. (Silva, 2022)

En el dispositivo electrónico de medición se utilizará la escala Celsius que es conocida como escala centígrada ($^{\circ}\text{C}$), recordemos que, en esta escala, el punto de congelación del agua es equivalente a 0°C y su punto de ebullición es de 100°C .

“La temperatura es especialmente importante para la sobrevivencia y el crecimiento de los peces de agua dulce, donde cada especie de pez tiene una temperatura a la que su metabolismo funciona mejor, lo que se denomina temperatura óptima” (Silva, 2022). Este parámetro influye directamente en los procesos fisiológicos importantes para el desarrollo de los organismos de los peces como la respiración, digestión, crecimiento, reproducción y comportamiento.

Una información adicional, Silva (2022) expresa que “La temperatura es un factor importante que afecta el crecimiento y la supervivencia de todos los organismos, ya que los peces son animales de sangre fría y, por tanto, su temperatura corporal varía con la del agua.”

4.2.2. Potencial de Hidrógeno

El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) en una solución, Orozco (2023) afirma lo siguiente:

Una solución es cualquier cosa que tenga un solvente (generalmente líquido) que contenga un soluto (la sustancia disuelta). Los iones de hidrógeno son átomos de hidrógeno que han perdido su electrón y, por lo tanto, tienen una carga positiva. La concentración de estos iones determina si una solución es ácida o alcalina.

El PH es una variable fundamental que indica el grado de acidez o alcalinidad del agua, este factor es importante en la calidad del agua, porque determina si un cuerpo de agua es dura o blanda. El PH permite evaluar los niveles de carbonatos presentes para el desarrollo del cultivo de la piscicultura. Para entender la escala de PH presente, la siguiente ilustración comprenderá los niveles de PH:

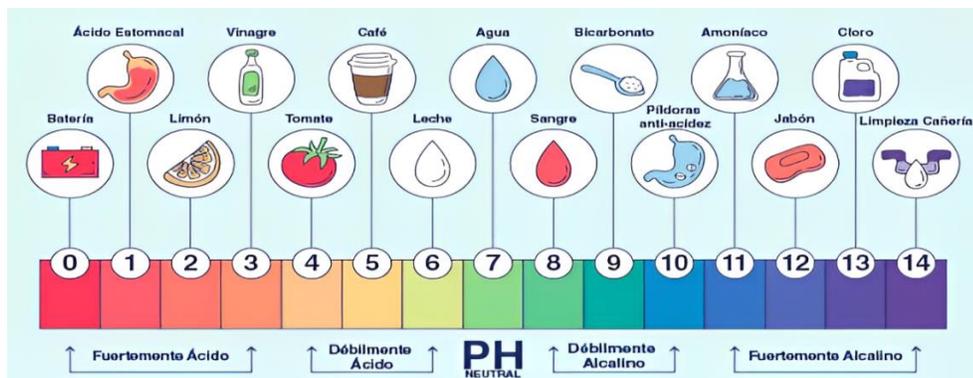


Figura 8: Escala PH (Tomado de Aguaplanet, 2023)

4.2.3. Total de Sólidos Disueltos

El total de sólidos disueltos o TDS permite medir la concentración total de los sólidos disueltos en el agua, se componen de sales minerales como calcio, magnesio, potasio, sodio, entre otros. Este parámetro de calidad del agua tiene una gran relación con la conductividad del agua, donde la unidad de medida del TDS es partes por millón (ppm).

El agua pura H₂O o agua destilada, no conduce la electricidad, por lo que si se sumerge un lector de TDS en un agua totalmente destilada el resultado será «0» o un número muy bajo en el caso de que existan rastros de minerales en el agua. Es la carga de electrones que componen los minerales lo que conduce la electricidad. En definitiva, un agua con más minerales conduce más electricidad que un agua sin minerales. (Dropson, 2019)

Para entender este parámetro de calidad del agua, se presenta un ejemplo sencillo utilizando agua destilada y un poco de sal, si nosotros ingresamos un poco de sal en el

agua destilada, la lectura del TDS aumentará porque se realiza una elevación de la conductividad eléctrica, esto es debido porque la sal, es un cloruro de sodio, por lo que está compuesto de dos minerales donde Dropson (2019) afirma:

Si añadimos estos dos minerales, sodio y cloruro al agua, la carga electrónica de estos elementos hace conducir la electricidad en el agua, aumentando la conductividad y la medida de TDS en el agua. El medidor TDS calcula una medición general de la conductividad que depende de la cantidad global de minerales disueltos en el agua. Por lo tanto, no podemos saber qué niveles de calcio, magnesio o potasio, por ejemplo, tiene el agua.

Los principales constituyentes de TDS son los cationes de calcio, magnesio, sodio, potasio y los aniones de carbonato, bicarbonato, cloro, sulfato y, especialmente en aguas subterráneas, nitrato. Típicamente, el agua mineral natural y el agua de grifo tienen un valor de TDS entre 100 y 200 ppm. (framework, 2022)

4.2.4. Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica del agua es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica. “En el Sistema Internacional de Unidades la CE se expresa como siemens por metro (S/m), pero por simplicidad se utiliza $\mu\text{S}/\text{cm}$ a una temperatura de 25°C ” (Solís Castro, Zuñiga, & Alvarado, 2017).

Solís, Zuñiga & Alvarado (2017) afirma que “La conductividad eléctrica del agua, está relacionada con la concentración de sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la corriente eléctrica. Las sales disueltas en agua se descomponen en iones cargados positivamente y negativamente”. Concluyendo que este parámetro de calidad del agua determina la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos.

La cantidad total de estos sólidos disueltos en el agua incide sobre el valor de la conductividad del agua: cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica. Otro factor determinante en la conductividad del agua es la temperatura: a mayor temperatura mayor conductividad. (Lenntech, 2023)

4.2.4.1. Relación TDS y Conductividad Eléctrica. Recordemos que la conductividad eléctrica (EC) nos permite reflejar la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y se ha investigado que existe una relación directa con la concentración de sales disueltas en el agua, concluyendo que existe una relación de estos dos parámetros de calidad del agua. Si tenemos el valor del TDS, existe una pequeña fórmula de conversión para encontrar la conductividad eléctrica:

$$TDS = (0.64)(EC)$$

Ecuación 1: *Relación TDS y Conductividad eléctrica (Tomado de Guerrero Crespo & Arias Pilatuña, 2014)*

Donde:

TDS: Total de sólidos disueltos (ppm)

EC: Conductividad eléctrica (μ Siemens/cm)

“Nótese que esta es una relación aproximada. Las sales en el agua se disuelven en iones con carga positiva y iones con carga negativa, que conducen electricidad” (Guerrero Crespo & Arias Pilatuña, 2014).

4.2.4.2. Clasificación del Agua según su Dureza. “Como la dureza del agua está formada por iones, al igual que la conductividad es posible definir la constancia del agua con respecto a la dureza por medio de la conductividad, de esta manera veremos la relación existente entre ambos factores” (Llamas Torrenegra & Pimienta Moreno, 1997).

En la tabla 1 se expresa la clasificación del agua según su dureza y conductividad eléctrica respectiva. (según varios autores), recopilado en el documento de tesis de grado por la fuente Llamas Torrenegra & Pimienta Moreno (1997):

Tabla 1

Dureza del agua en relación a la conductividad eléctrica

Tipo de agua	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)
Agua destilada	0.2 - 4
Agua de lagos pobres de las montañas	10
Agua de peces ornamentales en regiones selváticas	25 - 150
Aguas muy blandas	Hasta 120
Aguas blandas	120 - 240
Aguas medianas	240 - 360
Aguas poco duras	360 - 540
Aguas duras	540 - 900
Aguas muy duras	Mayor a 900

Nota: Datos tomados de Torrenegra & Pimienta Moreno (1997)

4.2.5. Turbidez

La turbidez del agua es un aspecto fundamental en el desarrollo de la actividad acuícola, ya que puede afectar de manera significativa la productividad y la salud de las especies cultivadas. Este parámetro se refiere a la cantidad de partículas suspendidas en el agua, las cuales pueden reducir su transparencia y dificultar la penetración de la luz, afectando la disponibilidad de oxígeno para los organismos acuáticos. (Henry, 2022)



Figura 9: Turbidez del agua (Tomado de Flowen, 2020)

La turbidez informa si el agua está clara o turbia, haciendo una relación directamente proporcional que, a mayor turbidez, tendremos un agua turbia concluyendo que los niveles altos de turbidez pueden ser causados por partículas suspendidas en el agua

como por ejemplo la tierra, sedimentos y plancton. Este parámetro de calidad del agua su unidad de medida es el Nefelométricas de Turbidez (NTU) que según la Organización Mundial para la Salud (OMS), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5NTU.

“Si la turbidez del agua es alta, habrá muchas partículas suspendidas en ella. Estas partículas sólidas bloquearán la luz solar y evitarán que las plantas acuáticas obtengan la luz solar que necesitan para la fotosíntesis” (Alberto, 2018).

Mantener un buen control de la turbidez del agua es muy importante, porque este factor si el agua es turbia, puede obstruir las branquias de los peces e interferir con su capacidad para respirar adecuadamente, además, puede dificultar la visibilidad, causando estrés en estos animales acuáticos. Según Henry (2022) afirma lo siguiente:

Un nivel excesivo de turbidez puede crear problemas en la acuicultura. Puede disminuir la disponibilidad de oxígeno en el agua, ya que las partículas en suspensión absorben calor y aumentan la temperatura del agua, reduciendo su capacidad para contener oxígeno. Esto puede afectar negativamente la salud y la supervivencia de los organismos acuáticos.

4.2.5.1. Método Artesanal para Medir la Turbidez. En la entrevista al piscicultor José Santos Martínez Valverde, nos relata que, para medir la turbidez del agua, utilizaba un método artesanal, que es el uso del disco sechhi. Este instrumento permite establecer la penetración de la luz en cuerpos de agua, estableciendo el grado de turbidez del agua.

Según Pallares (2024), el dispositivo se compone de tres partes principales, que se podrá observar en la figura 10:

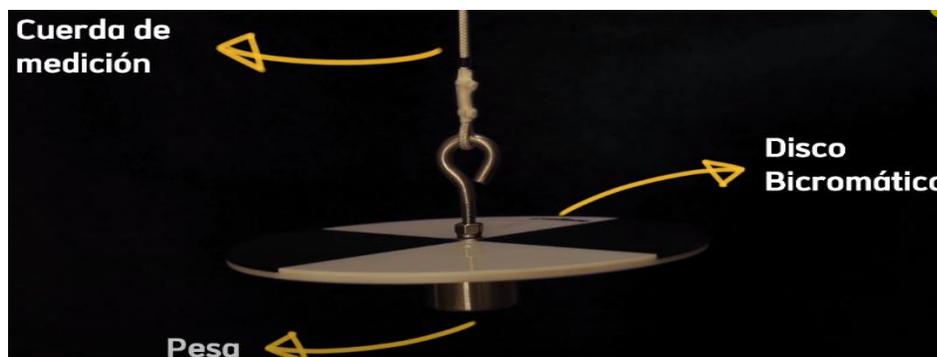


Figura 10: Disco Sechhi (Tomado de Pallares, 2024)

- a) La cuerda de medición: tiene una longitud de 3 metros con marcaciones cada 5 cm, esto nos indica la profundidad a la que se sumerge el disco bajo el agua.
- b) Disco bicromático: cuenta con un diámetro de 30cm y se divide en cuartos de color blanco y negro para mejorar el contraste bajo el agua.
- c) Pesa: se encarga de evitar que el disco flote en la superficie que está elaborada en acero inoxidable, teniendo un peso aproximado de 250 gramos.

Según el análisis proporcionado por Pallares (2024), si la cuerda de medición al sumergirlo en el agua llega menos de 20 centímetros, expresa un alto nivel de turbidez. Si la cuerda de medición está entre 20 y 30 centímetros, expresa un nivel de turbidez excesivo. Si la cuerda de medición está entre 30 y 45 centímetros, tiene un buen nivel de turbidez. Si la cuerda de medición está entre 45 y 60 centímetros, expresa un bajo nivel de fitoplancton. Si la cuerda de medición está a más de 60 centímetros, expresa que el agua es demasiado clara.

4.2.6. Parámetros Óptimos de Calidad del Agua en los Peces Tilapia, Mojarra y Guapote

4.2.6.1. Tilapia del Nilo

4.2.6.1.1. Temperatura. El rango óptimo es de 28-32°C, cuando disminuye a los 15°C los peces dejan de comer. Durante los meses fríos los peces dejan de crecer y el consumo de alimento disminuye, las temperaturas letales se ubican entre los 10 y 11°C. Cuando la temperatura es mayor a 30°C los peces consumen más oxígeno. (AGRI, 2019)

4.2.6.1.2. Potencial de Hidrógeno. “El crecimiento de tilapia se reduce en aguas ácidas, toleran un pH de 5 y hasta 11, sin embargo, los valores óptimos son de 6.5 a 9” (AGRI, 2019).

“El PH interviene determinando si un agua es dura o blanda, la tilapia crece mejor en aguas de PH neutro o levemente alcalino. Su crecimiento se reduce en aguas ácidas y toleran hasta un PH de 5” (Saavedra Martínez, Manejo del cultivo de Tilapia, 2006).

Se ha investigado que, si el pez Tilapia está en entorno de aguas ácidas, es decir, un PH por debajo de 6.5, se observará un crecimiento reducido de los peces debido a la disminución de la disponibilidad de nutrientes esenciales y la alteración en el metabolismo de los peces.

4.2.6.1.3. Total de Sólidos Disueltos. "Los niveles óptimos de TDS para la tilapia están entre 100 y 300 ppm. Dentro de este rango, los peces pueden crecer y desarrollarse de manera saludable" (framework, 2022). Sin embargo, niveles de TDS superiores a 400 ppm pueden causar estrés osmótico, lo que afecta la capacidad de los peces para regular el equilibrio de agua y sales en sus cuerpos, llevando a problemas de salud como deshidratación, reducción del crecimiento y mayor susceptibilidad a enfermedades.

4.2.6.1.4. Conductividad eléctrica. Recordemos que existe una relación de Total de Sólidos Disueltos y conductividad eléctrica, por lo que se recomienda tener los valores de 156 a 468 $\mu\text{S/cm}$.

4.2.6.1.5. Turbidez. "La turbidez del agua, medida en unidades nefelométricas de turbidez (NTU), debe estar entre 1 y 5 NTU para el consumo humano, pero los peces pueden soportar rangos de 1 a 1000 NTU" (Alberto, 2018). Sin embargo, niveles superiores a 1000 NTU indican agua muy sucia y no transparente, lo que puede reducir la penetración de la luz.

4.2.6.2. Guapote Jaguar

4.2.6.2.1. Temperatura. La temperatura óptima de estos peces debe estar entre los 23°C hasta los 26°C, si se encuentra en entornos fuera del rango, son perjudiciales provocando la infección ICH, es un parásito que se adhiere a la piel y las branquias de los peces, provocando irritación, formación de puntos blancos y lesiones. Si no se trata, puede llevar a infecciones secundarias, problemas respiratorios y, en casos severos, la muerte de los peces afectados. (Sergio, 2022)

4.2.6.2.2. Potencial de Hidrógeno. Alonso (2022) afirma que "Los valores óptimos es de 7 a 9, idealmente beneficioso para el pez en un PH de 7". Se aplica las mismas consecuencias del pez tilapia, por lo que estos peces son susceptibles a enfermedades y problemas de oxigenación.

4.2.6.2.3. Total de Sólidos Disuelto. "Requiere niveles de entre 230 y 340 ppm para un crecimiento y salud óptimos" (framework, 2022). Si los niveles de TDS están fuera de este rango, pueden ocurrir problemas como estrés osmótico, reducción en la eficiencia de la absorción de nutrientes y un mayor riesgo de enfermedades, afectando negativamente su desarrollo y supervivencia.

4.2.6.2.4. Conductividad Eléctrica. El agua ideal debe ser de clasificación poca dura, por lo que los valores óptimos están entre los 360 hasta los 530 $\mu\text{S/cm}$.

4.2.6.2.5. Turbidez. Los valores óptimos deben ser los mismos del pez Tilapia, si se presenta mayor turbidez, puede reducir la penetración de luz, afectando la fotosíntesis de las plantas acuáticas y disminuyendo la calidad del oxígeno.

4.2.6.3. Pez Mojarra

4.2.6.3.1. Temperatura. “Es una especie que habita de forma natural a una temperatura comprendida entre 20°C y 30°C. Para un buen mantenimiento, la temperatura no debe superar nunca los 33°C durante largos periodos” (Allgayer, 2023).

4.2.6.3.2. Potencial de Hidrógeno. Allgayer (2023) afirma que estas especies soportan PH de 6.8 hasta los 7.2 pueden experimentar alteraciones en la reproducción y el comportamiento si el pH no se encuentra en este rango. Además, un pH inadecuado puede afectar la capacidad de los peces para regular el equilibrio iónico, llevando a estrés y desequilibrio fisiológico

4.2.6.3.3. Total de Sólidos Disueltos. Estos peces son susceptibles a enfermedades y problemas de oxigenación, por lo que se requieren rango óptimo de 200 a 340 ppm.

4.2.6.3.4. Conductividad Eléctrica. El rango es de 312 y 350 $\mu\text{S/cm}$, es crucial para el bienestar de los peces en piscicultura. Fuera de este rango, puede afectar la osmorregulación y la capacidad de los peces para absorber nutrientes, lo que puede llevar a estrés y problemas de salud.

4.2.6.3.5. Turbidez. Los valores óptimos deben ser los mismos del pez Tilapia, si se presenta mayor turbidez, puede reducir la penetración de luz, afectando la fotosíntesis de las plantas acuáticas y disminuyendo la calidad del oxígeno.

4.2.7. Definición de los Rangos Óptimos de Parámetros de Calidad del Agua para Tilapia, Guapote y Mojarra

Tras una investigación, análisis y recopilación de datos a través de la entrevista realizada hacia el piscicultor, se establecieron rangos de valores óptimos de calidad del agua para los peces Tilapia, Mojarra y Guapote (Observar tabla 2, 3 y 4), estos valores serán integrados en el dispositivo electrónico.

4.2.7.1. Tilapia del Nilo

Tabla 2

Rangos óptimos de la Tilapia del Nilo

	Valor mínimo	Valor máximo
Temperatura	28 °C	32°C
PH	6	9
TDS	150 ppm	300 ppm
Conductividad eléctrica	235 μ S/cm	468 μ S/cm
Turbidez	1 NTU	400 NTU

4.2.7.2. Guapote Jaguar

Tabla 3

Rangos óptimos del Guapote Jaguar

	Valor mínimo	Valor máximo
Temperatura	22 °C	27°C
PH	7	9
TDS	230 ppm	340 ppm
Conductividad eléctrica	360 μ S/cm	531 μ S/cm
Turbidez	1 NTU	500 NTU

4.2.7.3. Pez Mojarra

Tabla 4

Rangos óptimos del Pez Mojarra

	Valor mínimo	Valor máximo
Temperatura	23 °C	30°C
PH	6.8	7.2
TDS	150 ppm	300 ppm
Conductividad eléctrica	235 μ S/cm	468 μ S/cm
Turbidez	1 NTU	500 NTU

4.3. Capítulo III: Análisis de Requerimientos Funcionales del Dispositivo Electrónico para la Piscicultura

El día 27 de mayo de 2024, se realizó una visita al piscicultor José Santos Martínez Valverde, ubicado en el departamento de León - Sutiaba, donde nos presentó un estanque de crianza de peces de agua dulce de 30 metros cúbicos con un radio de 2.40 metros y una altura de 120 cm. Se aprovechó en realizar una entrevista al piscicultor que se puede observar las preguntas y respuestas en el apartado de anexo, donde de forma de resumen, nos expresó que la crianza de peces de agua dulce debe abordarse como un emprendimiento serio, debido que las condiciones del agua influyen de manera directa en el crecimiento, bienestar de los peces y en definitiva, en la seguridad alimentaria del consumidor final. El piscicultor nos expresó que los parámetros de calidad del agua son fundamental para el crecimiento y supervivencia de los peces, donde nos informó que la temperatura, PH, Turbidez, Total de sólidos disueltos, oxígeno y amonio es importante mantener un valor óptimo en el agua, debido que estos parámetros cambian dependiendo del entorno y la alimentación proporcionada por los peces. Además, le informamos del dispositivo electrónico que se estaba desarrollando y nos comentó que considera la idea como un avance significativo que le aportaría beneficios a su emprendimiento, donde destacó la importancia de un monitoreo constante, debido que actualmente realizaba de manera manual la medición de los parámetros de calidad del agua, sin embargo, debido a sus múltiples responsabilidades, como la exportación de peces y la supervisión de otros estanques de peces y camarones en el departamento de Chinandega, nos expresó que se le complicaba hacerlo diariamente. Nos mencionó que dispone de acceso a internet las 24 horas del día, lo cual resulta favorable, debido a que el dispositivo electrónico requiere de conexión a internet de forma constante para el funcionamiento del IoT.

Al informarle que el dispositivo electrónico permitirá monitorear en tiempo real los parámetros de calidad del agua como la Temperatura, Total de sólidos disueltos, PH, turbidez y conductividad eléctrica donde estos datos serán observado a través de una aplicación móvil, se le preguntó cuánto estaría dispuesto a pagar por el producto donde respondió que estaría dispuesto a invertir aproximadamente C\$ 3000. Se observó que el estanque se encuentra en un patio al aire libre, dentro de la propiedad del piscicultor, aproximadamente 20 metros del estanque, se localiza un tomacorriente utilizado para operar una bomba de agua que garantiza la circulación del agua en el estanque. El piscicultor nos informó que facilitará una extensión eléctrica, por lo que se determinó que el dispositivo electrónico será alimentado a través de una fuente de alimentación AC.

También nos indicó que las interrupciones en el suministro eléctrico son poco frecuentes y que, en caso de ocurrir, cuenta con un pequeño sistema de respaldo.

Esta entrevista, fue fundamental porque nos comprobó que la temperatura, Total de sólidos disueltos, PH y turbidez son esencial para determinar la calidad del agua y buscar sensores económicos y de calidad para guiarnos en el presupuesto ideal del piscicultor, además, nos brindó información teórica de los valores óptimos de calidad del agua de los peces de agua dulce, la importancia de la notificación a través de la aplicación móvil y el impulso de la tecnología en la piscicultura. Por otra parte, se evidenció que el manejo de calidad del agua se realiza de forma manual, por ejemplo, el piscicultor para medir la temperatura utiliza un termómetro, para el PH utiliza un papel PH y para la turbidez recurre a un disco secchi, donde estas mediciones manuales consumían tiempo y no permitían un análisis constante, debido que los cambios en estos parámetros pueden ser influenciados por factores ambientales. Al observar la dificultad de realizar estas mediciones manualmente de manera continua, el dispositivo electrónico de medición propuesto permitirá un monitoreo constante y preciso lo que brindará al piscicultor la capacidad de mantener una vigilancia óptima sobre las condiciones del estanque y la salud de los peces.

4.4. Capítulo IV: Diseño e Implementación del Sistema Electrónico para el Monitoreo en Tiempo Real de Parámetros de Calidad del Agua en la Piscicultura

4.4.1. *Internet de las Cosas: Principios, Protocolos e Implementación en Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real*

El internet de las cosas (IoT) es un tema emergente de interés técnico, social y económico que ha venido a revolucionar el mundo con la implementación de dispositivos con la conexión de la tecnología. El IoT es una interconexión de dispositivos con el internet, que ha realizado un cambio novedoso en el paradigma de las Tecnologías de la Información (TI). Esta definición se enlaza mediante dos palabras, la primera es “Internet” que es un sistema global de redes informáticas interconectadas mediante un conjunto de protocolos de internet estándar (TCP/IP) con el propósito de prestar servicios a miles de millones de usuarios en todo el mundo y la segunda palabra es “Cosa” que se considera cualquier dispositivo que integra un sensor con la capacidad de recopilar datos y transmitirlos a través de la red sin intervención manual.

4.4.1.1. Conceptos Básicos. Existen muchos conceptos de IoT, debido que no está definitivamente limitada y definida actualmente, es decir, no existe una definición general aprobada por una comunidad global de usuarios, concluyendo que el Internet de las Cosas es un tema amplio y que ha venido desarrollando y seguirá impulsando en el mundo de la tecnología de la información.

“El IoT es una red de dispositivos, electrodomésticos y otros objetos cotidianos equipados con chips y sensores de computadora que pueden recopilar y transmitir datos a través de Internet” (Dictionary, 2022).

“Internet de las cosas (IoT) está surgiendo como una red global para conectar cualquier objeto (físico o virtual) en todo el mundo, que abarca toda la electrónica de consumo” (Renu & Manik, 2020).

Todas las definiciones comparten un concepto en común, se define como una red de objetos que interactúan entre sí, sin embargo, en el ámbito de la ingeniería y para los propósitos de esta investigación monográfica, se ha seleccionado la siguiente definición:

“es una red de dispositivos electrónicos conectados que recopilan, intercambian y procesan datos a través de internet, facilitando una gestión más inteligente y automatizada de sistemas y entornos”

Esta definición es crucial porque destaca la capacidad que incorpora el IoT para crear redes adaptativas y autosuficientes, realizando una conexión con los objetos inteligentes capaces de intercambiar información.

4.4.1.2. Comunicación. El internet de las cosas, consta de múltiples dispositivos inteligentes que se comunican entre sí que permiten intercambiar y recopilar los datos, en esta investigación monográfica se utilizará la comunicación “Dispositivo a la nube” donde R.A (2021) afirma:

El dispositivo IoT se conecta directamente a la nube de internet. Este servicio proporciona intercambio de datos y control del movimiento de mensajes, este enfoque a menudo aprovecha los mecanismos de comunicación del Ethernet o Wifi con el propósito de crear una conexión entre el dispositivo y la red IP que eventualmente se conecta a los servicios en la nube.

Además, existen diferentes tipos de comunicación para establecer el funcionamiento del IOT, como por ejemplo “Comunicación a dispositivo” que “Representa dos o más dispositivos que se comunican directamente entre sí a través de Bluetooth, Z-wave o ZigBee” (R.A, 2021). Tenemos la comunicación “dispositivo a puerta de enlace” que se “comunica a través de una puerta de enlace de capa a la aplicación (ALG) que sirve como un canal para acceder a los servicios de la nube” (R.A, 2021). Y la comunicación “Back-end” que “permite a los usuarios exportar y analizar datos de objetos inteligentes desde un servicio en la nube en combinación con datos de otras fuentes” (R.A, 2021).

4.4.1.3. Tecnologías

4.4.1.3.1. Wireless Fidelity (WI-FI). “Es un conjunto de estándares para redes inalámbricas (WLAN) basadas en las especificaciones IEEE 802.11 del Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica (IEEE) que permite la comunicación inalámbrica entre dispositivos” (Andrade, Salas, & Paredes, 2008). Esta tecnología opera en las bandas de frecuencia 2.4GHz que ofrece un mayor rango de cobertura y mejor penetración a través de obstáculos, pero es más susceptible a la interferencia, mientras, la banda de 5GHz proporciona mayores velocidades de datos con menor interferencia, pero tienen un rango de cobertura más corto.

4.4.1.3.2. Bluetooth. Es una tecnología de comunicación inalámbrica mediante ondas de radio de corta distancia que permite la conexión en el hogar y la transferencia de datos entre diferentes dispositivos electrónicos. “Esta tecnología funciona con radiofrecuencia de onda corta (normalmente 2.4 Ghz/s), estas ondas conectan un dispositivo con otro y reemplazan una conexión que tradicionalmente se haría a través de un cable” (Vieira, 2022).

Según (Kuan, 2023) afirma que existen dos tipos de tecnologías bluetooth utilizadas actualmente, que se puede observar en la tabla 5.

Tabla 5

Comparación Bluetooth clásico con Bluetooth BLE

	Bluetooth Clásico	Bluetooth BLE
	Bluetooth Basic	Bluetooth Low Energy
Nombre	Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR)	(BLE)
Surgimiento	1998	2010
Velocidad de datos	3 Mbps	1 Mbps
Consumo de energía (TX/RX)	30 mA	15 mA
Consumo de energía (sleep)	Alto	1µA
Frecuencia de operación	2.4 GHz	2.4 GHz
Tipo de conexión	Conexión continua, adecuada para streaming de datos	Conexión intermitente, ideal para aplicaciones de bajo consumo
Versión	1.0 a 5.0	4.0 y versiones superiores (4.1, 4.2, 5.0, etc.)

Nota: Datos tomado de Kuan (2023)

Concluyendo que el Bluetooth clásico requiere alta velocidad y transferencia continua de datos, pero consumiendo más energía, mientras que el Bluetooth Low Energy (BLE) está diseñado para aplicaciones de bajo consumo de energía, con conexiones intermitentes y menor velocidad de datos.

4.4.1.4. Protocolos. Los protocolos se agrupan en dos categorías, tenemos el “cliente-servidor” que requieren que el cliente se conecte al servidor para realizar solicitudes, donde el servidor tiene los datos y responde a los pedidos del cliente. La siguiente categoría es “publicar-suscribir” donde requiere que los dispositivos se conecten a un tópico de un gestor intermediario para que publique la información, para comprender más esta categoría se define un ejemplo de obtener un sensor de temperatura que se publica los datos en el tópico llamado “temperatura/análisis”, donde cualquier dispositivo suscrito a ese tópico, recibirá los datos dado por el sensor, esto permite agregar o quitar dispositivos fácilmente sin interrumpir la comunicación entre los demás.

En esta investigación monográfica se utilizará el protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) que es un protocolo cliente-servidor donde existen incontables herramientas de código abierto que usan HTTP y que todo lenguaje de codificación tiene bibliotecas muy accesibles. El HTTP en IoT gira en torno a la transferencia de estado representacional (REST) que es un modelo donde los clientes pueden acceder a recursos en el servidor a través de pedidos. Este protocolo provee transporte, por lo que puede contener HTML, JavaScript, JSON, XML y demás donde en la mayoría de los casos, IoT está estandarizando JSON para HTTP.

Además, Semle (2016) afirma otros protocolos como la cola de mensajes telemetría y transporte (MQTT) que es un protocolo publicar-suscribir donde se centra en un mínimo encabezado (dos bytes de cabeza) y comunicaciones confiables donde está diseñado para ser eficiente en términos de consumo de ancho de banda y energía.

4.4.2. Diagrama de Bloques de la Estructura del IoT con Relación al Dispositivo Electrónico

A continuación, en la figura 11, se presenta el diagrama general que detalla el funcionamiento interno del sistema electrónico.

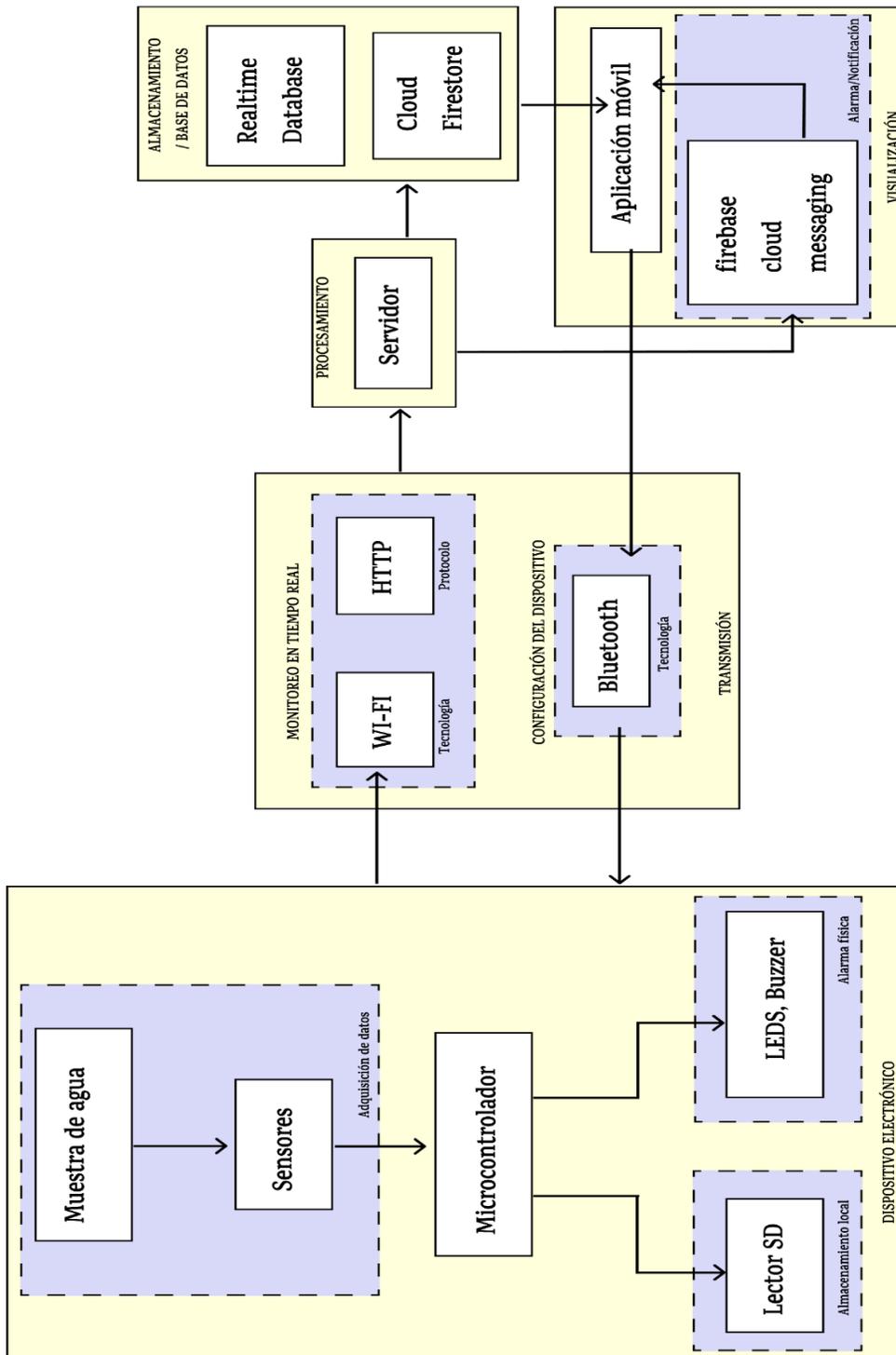


Figura 11: Diagrama de Bloques del sistema electrónico (Fuente propia)

4.4.3. Dispositivo Electrónico

4.4.3.1. Microcontrolador ESP32

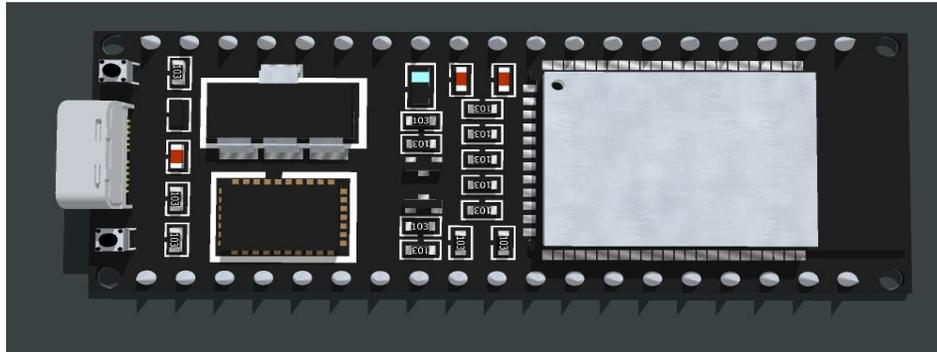


Figura 12: ESP32 vista en planta (Peter Rodríguez, 2024)

4.4.3.1.1. Especificaciones. Según la hoja del fabricante (*Espressif, 2023*), este microcontrolador permite la adquisición de datos (recolección de datos obtenidos por los sensores), procesamientos de los datos, comunicación inalámbrica (utilización de Wifi y Bluetooth) y control de dispositivos (actúa como un controlador principal).

- ❖ Microprocesador: Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 con 600 DMIPS
- ❖ WiFi: 802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps)
- ❖ Bluetooth: Bluetooth v4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specification
- ❖ Gama de frecuencias centrales: 2412 ~ 2484 MHz
- ❖ Interfaces de módulo: SD card, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC, Two-Wire Automotive Interface (TWAI®), compatible with ISO11898-1 (CAN Specification 2.0)
- ❖ Cristal integrado: 40 MHz crystal
- ❖ Flash SPI integrada: 4 MB
- ❖ Voltaje de operación: 3.0V a 3.6V
- ❖ Corriente de operación: 80mA
- ❖ Corriente mínima suministrada por la fuente: 500mA
- ❖ Temperatura de operación: -40 °C ~ +85 °C

4.4.3.1.2. Núcleos. La esp32 integra 2 microprocesadores (core 0 y core 1) y soporta el núcleo FreeRTOS (Sistema operativo en tiempo real libre) que consiste en realización de multitareas que es capaz de dividir las tareas en unidades más pequeñas,

esto permite intercalar las tareas a un nivel más bajo para aprovechar los tiempos muertos, además, permite crear, eliminar y administrar múltiples tareas que se ejecutan paralelamente en el sistema. Este sistema permite crear slots de tiempo pequeños para ejecutar tareas en paralelo donde las tareas se mantienen separadas y protegidas con el propósito de realizar una comunicación entre tareas.

Esto se utiliza para crear tareas vinculando en un núcleo, donde el núcleo 1 es el principal, es decir, es el que utiliza la esp32 por defecto debido que se destina para tareas de procesamiento intensivo, mientras que el núcleo 0 por defecto está inactivo que usualmente se utiliza para tareas y manejo de comunicación. (Carrasco, 2021)

Para involucrar una tarea dentro de un núcleo, se utiliza la siguiente función:

```
TaskHandle_t Taskname
```

```
xTaskcreatePinnedToCore(TaskFunction, "Taskname", 1024, NULL, 1, NULL, 0);
```

Donde:

- ❖ TaskFunction: es la función de la tarea, es decir, nuevo void loop
- ❖ "Taskname": es el nombre de la tarea
- ❖ 1024: es el tamaño de la pila de memoria asignada
- ❖ NULL: es el parámetro de entrada
- ❖ 1: es la prioridad de la tarea (0-25)
- ❖ NULL: es el nombre del objeto
- ❖ 0: es el núcleo donde se ejecuta el core (0 o 1)

4.4.3.1.3. Importancia. Para el diseño del dispositivo electrónico se ha seleccionado el microcontrolador ESP32 debido a que incorpora capacidades profesionales y eficientes en el manejo del procesamiento de los datos y la creación de múltiples tareas. Esto permitió la ejecución de tareas simultáneas de adquisición de datos y comunicación, optimizando el rendimiento del sistema. Otras de las razones es que incorpora el funcionamiento del Wi-Fi y Bluetooth, que es crucial para el funcionamiento en conjunto del dispositivo, donde el uso del Bluetooth es utilizado para la configuración del dispositivo electrónico y el Wi-Fi para proporcionar la comunicación con el servidor utilizando el protocolo HTTP.

Recordemos, que la ESP32 ofrece un bajo consumo de energía, ideal para operaciones continuas utilizando el IoT donde su capacidad de procesamiento fue esencial para

integrar los sensores de temperatura, PH, TDS y turbidez, garantizando un monitoreo preciso y en tiempo real de los parámetros de calidad del agua en el área de la piscicultura.

4.4.3.2. Adquisición de Datos

4.4.3.2.1. Sensor de Temperatura DS18B20

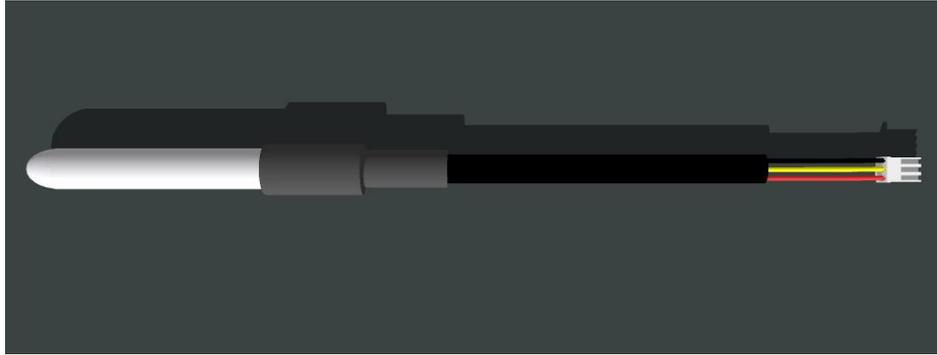


Figura 13: DS18B20 vista en planta (Peter Rodríguez, 2024)

Según la hoja de fabricante (INC, DS18B20, 2019), es un sensor de temperatura en el cual se lleva la conversión analógica a digital dentro del encapsulado, proporciona mediciones de temperatura Celsius de 9 bits a 12 bits donde se comunica a través de un bus 1-Wire que por definición requiere sólo una línea de datos (y tierra) para la comunicación con un microprocesador central.

- ❖ Voltaje de operación: 3V - 5.5V DC (5 a 10 mA)
- ❖ Rango de medición: -55°C hasta 125° C
- ❖ Precisión de medición: ± 0.5 °C
- ❖ Resolución ACD: 9-12 bits
- ❖ Protocolo: 1-Wire
- ❖ Cubierta: Acero inoxidable de alta calidad
- ❖ Sonda: A prueba de agua
- ❖ Longitud del cable: 3 metros
- ❖ Peso: 23 gramos

Protocolo 1-Wire

El protocolo 1-Wire es un esquema de señalización, direccionamiento que permite una comunicación bidireccional entre un dispositivo maestro y varios periféricos (esclavos) utilizando un solo hilo de cobre. Es decir, este protocolo permite la comunicación entre

múltiples sensores de temperatura utilizando un solo bus de datos (un solo cable de transmisión de datos).

El sensor DS18B20 permite transmitir datos al microcontrolador a través de una sola línea de datos, donde el microcontrolador lee la temperatura de varios sensores DS18B20 conectados en el mismo cable de datos, donde el protocolo 1-Wire permite identificar cada sensor por su dirección única, todo este proceso del protocolo realiza las siguientes operaciones:

- ❖ Reset: El esclavo envía un pulso de 480 microsegundos y luego “deja flotar” el bus, el esclavo (o esclavos) responden “jalando” el bus a estado bajo (pulso de presencia). Esta operación sincroniza el bus e indica a los esclavos que el maestro va a enviar información.
- ❖ Escribir bit 0: El maestro envía un pulso de estado bajo de 60 microsegundos, luego libera el bus.
- ❖ Escribir bit 1: El maestro envía un pulso en estado bajo de 6 microsegundos, luego libera el bus.
- ❖ Leer bit (desde esclavo): El maestro genera un pulso bajo de 6 microsegundos y luego libera el bus. Si el esclavo desea transmitir un “1”, el esclavo “deja flotar” el bus, si desea enviar un “0”, mantiene un estado lógico bajo.

“El dispositivo maestro inicia y controla todas las operaciones anteriores, toda la funcionalidad de 1-Wire se fundamenta en estas 4 sencillas operaciones, incluyendo el descubrimiento y direccionamiento de dispositivos” (Factory, 2019).

Configuración Pull-Up

Para que se realice la comunicación en el sensor DS18B20 se necesita realizar una conexión Pull-UP, es decir, utilizar una resistencia establecida en función con el largo del cable de este sensor, que se puede observar en la tabla 6:

Tabla 6

Relación resistencia y distancia

Distancia	Valor de resistencia
Hasta 5 metros	4.7 K Ω
5 a 10 metros	3.3 K Ω
10 a 20 metros	2.2 K Ω
20 a 50 metros	1.2 K Ω

Nota: Datos tomado de *Factory* (2019)

Para las conexiones del sensor de temperatura con el microcontrolador ESP32, se utilizó una resistencia en 4.7K ohmios en una configuración Pull-Up, debido que el sensor DS18B20 que se obtuvo tiene una distancia de 3 metros.

Librerías

Este sensor de temperatura, al utilizar el protocolo 1-Wire, se debe instalar sus librerías correspondientes en el software de arduino, para realizar este proceso, se debe abrir la biblioteca de librería en el software de arduino y se deberá buscar e instalar las siguientes 2 librerías para que este sensor funcione correctamente.

- ❖ OneWire by Jim Studt, Tom Pollard, Robin James, Glenn Trewitt, Jason Dangel, Guillermo Lovato, Paul Stroffregen, Scoot Roberts, Bertrik sikken, Mark Tillotson, Ken Butcher, Roger Clark, Love Nystrom Version 2.3.3
- ❖ DallasTemperature by Miles Burton, Tim Newsome, Guil Barros, Rob Tillaart Version 3.7.6

Lógica del funcionamiento

El sensor DS18B20 mide la temperatura utilizando un termistor interno y comunica el valor digitalmente a través del protocolo 1-Wire, lo que permite la conexión de múltiples sensores en un solo pin de datos. Envía los datos de temperatura a la microcontroladora en formato digital, evitando la necesidad de conversión analógica-digital y permitiendo una lectura precisa y estable.

Validación del funcionamiento

Se realizaron las conexiones utilizando una resistencia de 4.7K ohmios en modo de configuración pull-up utilizando el microcontrolador ESP32 con el propósito de validar las

conexiones, programación y funcionamiento del sensor, donde se realizó pruebas con agua de temperatura ambiente (32°C), fría (17°C) y caliente (51°C). La figura 14 muestra la prueba de funcionamiento del sensor con una muestra de agua con hielo, donde se observa el valor de la temperatura medido por el sensor.

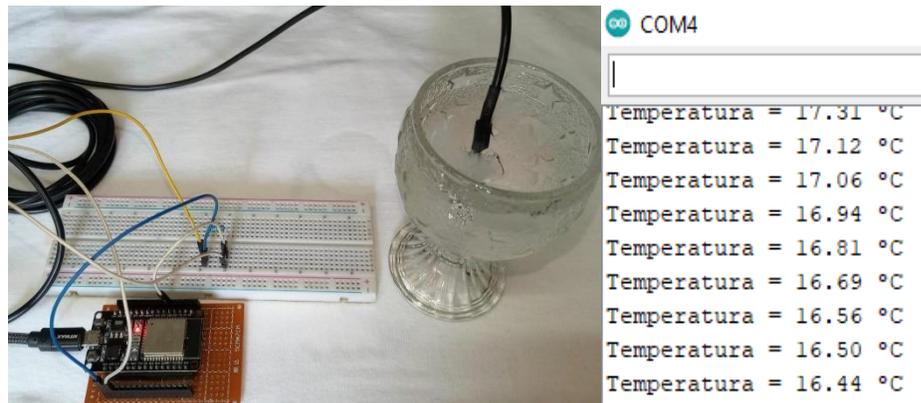


Figura 14: Agua fría (Fuente propia)

Importancia

La temperatura es factor importante para medir la calidad del agua, este dato fue recopilado por la entrevista realizada al piscicultor José Martínez y la investigación que se ha realizado en este documento, donde se seleccionó este sensor de temperatura DS18B20 por su capacidad de operación bajo condiciones acuáticas, siendo sumergible y resistente a factores externos como la lluvia, que es muy importante porque el estanque está ubicado en el aire libre. Además, ofrece precisión con un margen de error de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, considerando datos confiables, alta precisión y un bajo costo económico que lo convierte en una opción ideal para nuestro diseño electrónico en el uso de la piscicultura.

4.4.3.2.2. Sensor PH4502C

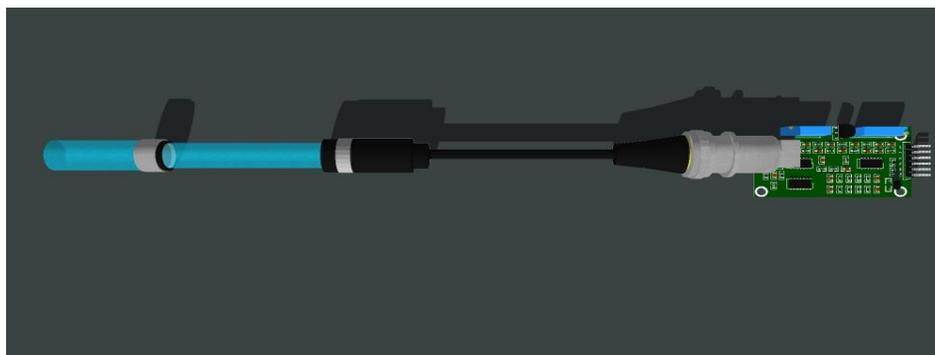


Figura 15: PH4502C vista en Planta (Peter Rodríguez, 2024)

Es un dispositivo de medición de PH utilizando comúnmente en el área de medición de calidad del agua, donde permite convertir el valor de PH en una señal de voltaje que utiliza la relación a una ecuación de la recta que es determinada mediante la calibración del sensor, con el propósito de proporcionar datos precisos en la gestión de iones de hidrógeno en la solución. A continuación, se detallarán las especificaciones técnicas del sensor PH4502C

Módulo: PH-4502C

- ❖ Voltaje de alimentación: 5V
- ❖ Corriente: 10mA
- ❖ Dimensiones: 42x32x30 mm

Electrodo: E201-BNC

- ❖ Tipo de sonda: Grado de laboratorio
- ❖ Tiempo de respuesta: 5seg
- ❖ Rango de detección: 0 a 14 (acido/base)
- ❖ Rango de temperatura: 0 a 80°C
- ❖ Temperatura de trabajo: 10 a 50°C

Calibración

Cuando la lectura de PH es 7, la salida se compensa en 2.5V, esto significa que cuando el PH es 0, la Po (dato) estaría en 0V y cuando el PH es 14, el Po estaría en 5V. Por lo que debemos asegurarnos que se comience con la calibración de PH igual a 7, se puede calibrar la lectura para asegurarnos que Po esté en 2.5V, para ello, debemos desconectar la sonda del circuito y cortocircuitando el pin exterior del conector BNC con el anillo BNC exterior. Con un multímetro, mide el valor del pin Po y ajusta el potenciómetro offset a 2.5V, no te preocupes si no tienes un multímetro, puedes cargar un código arduino que permita leer la entrada analógica conectado en Po. (Hydroponics, 2019)

Esto dependerá del microcontrolador a utilizar, si por ejemplo utilizamos un arduino UNO, el rango de 0V equivale a un PH de 0, y de 5V equivale a un PH de 14, pero si utilizamos una ESP32, tendremos que un PH de 0 equivale a 0V, y un PH de 14 equivale a 3.3V.

Lógica del funcionamiento

Según Hydroponics (2019), “la sonda de PH produce una salida de voltaje que depende linealmente del PH de la solución que se mide”. Es decir, se presenta la relación de PH-voltaje, donde con solo utilizar muestras, se puede calcular la ecuación de la recta, que permite convertir las lecturas de voltaje del sensor en valores precisos de PH, asegurando mediciones confiables y precisas en diversas aplicaciones. Se abordará más en detalle el proceso de programación de este sensor.

Validación del funcionamiento

En la figura 16 se presenta la prueba de funcionamiento del sensor, realizada con una muestra de agua, donde se verifica que la medición es precisa.

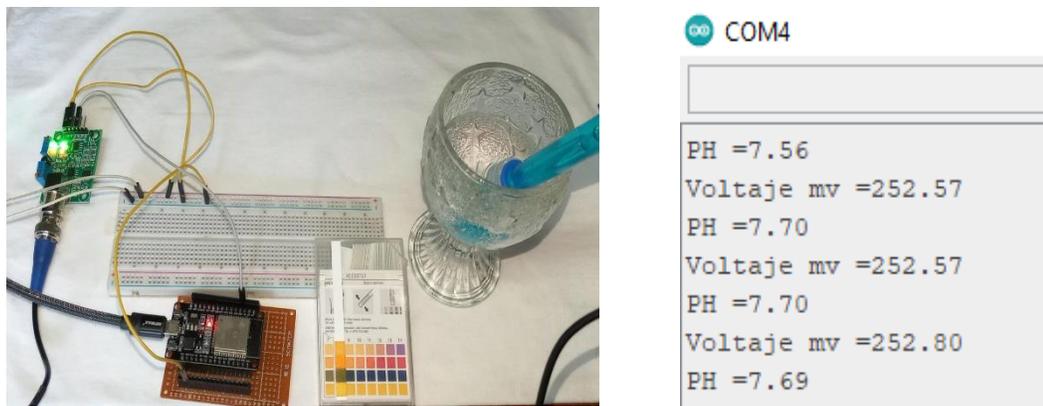


Figura 16: Agua consumo humano (Fuente propia)

Importancia

Recordemos que el valor PH es un factor crítico que influye en la salud y crecimiento de los peces, al escoger este módulo PH, cumple con su alta sensibilidad y facilidad de calibración, permitiendo un monitoreo continuo y preciso, garantizando un control eficiente del PH, optimizando la producción y asegurando la sostenibilidad en la piscicultura.

4.4.3.2.3. Sensor TDS

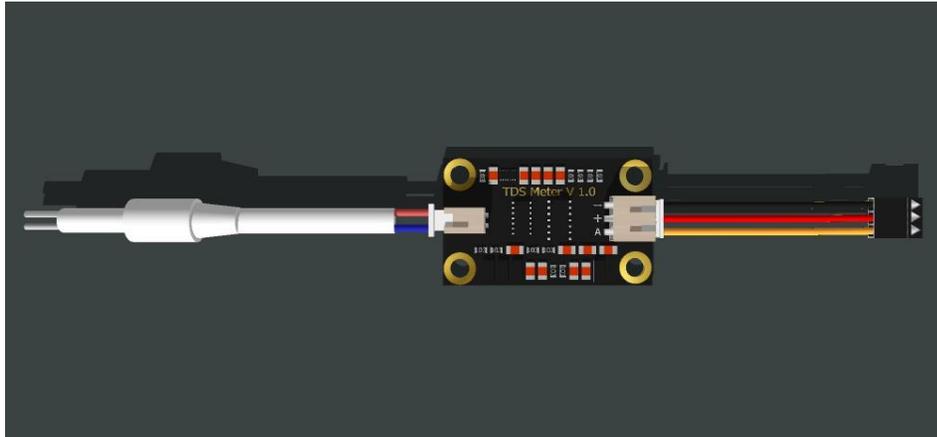


Figura 17: Sensor TDS vista en planta (Peter Rodríguez, 2024)

Según el fabricante (DFROBOT, 2019), este sensor permite medir la concentración total de los sólidos disueltos en el agua, que debemos recordar, se componen de sales inorgánicas, por ejemplos están presentes el calcio, magnesio, potasio, sodio, entre otros. Este sensor cumple las siguientes características:

Placa transmisora de señales

- ❖ Voltaje de entrada: 3,3 ~ 5,5 V
- ❖ Voltaje de salida: 0 ~ 2,3 V
- ❖ Corriente de trabajo: 3 ~ 6 mA
- ❖ Rango de medición de TDS: 0 ~ 1000 ppm
- ❖ Precisión de medición de TDS: $\pm 10\%$ FS (25 °C)
- ❖ Tamaño del módulo: 42 * 32 mm
- ❖ Interfaz del módulo: PH2.0-3P
- ❖ Interfaz de electrodo: XH2.54-2P

Sonda TDS

- ❖ Número de agujas: 2
- ❖ Longitud total: 83cm
- ❖ Interfaz de conexión: XH2.54-2P
- ❖ Color: Negro
- ❖ Otro: Sonda impermeable

Lógica del funcionamiento

“En general, cuanto mayor sea el valor de TDS, más sólidos solubles se disuelven en el agua y menos limpia está el agua” (DFROBOT, 2019). Al observar el código de programación del fabricante, observamos que hay una pequeña ecuación que permite calcular el valor TDS con respecto al voltaje medido, concluyendo que existe una relación de Voltaje-TDS donde se refleja que a mayor voltaje esté midiendo, el agua tendrá una mayor cantidad de TDS, para comprender más en detalle está relación, se elaboró la gráfica de la curva (Observar figura 18) utilizando el lenguaje de programación de Python que podrá observar en el código en el apartado de anexo.

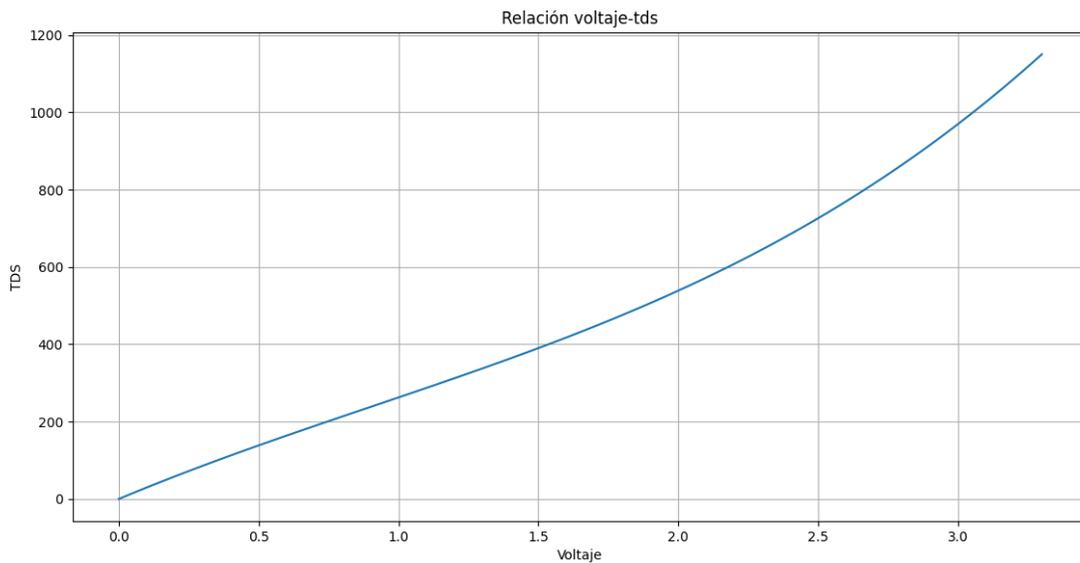
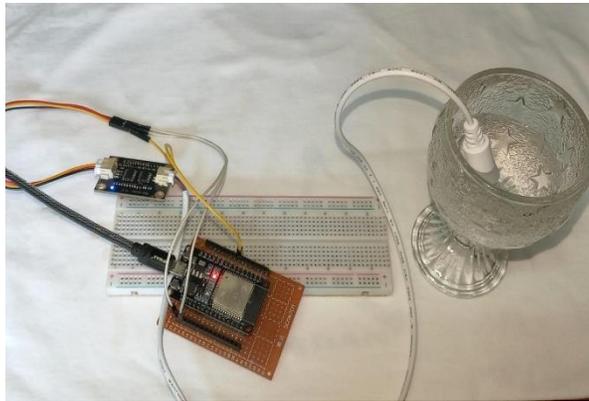


Figura 18: *Relación voltaje – TDS* (Fuente propia)

Validación del funcionamiento

Se realizaron diferentes pruebas en la programación y funcionamiento del sensor, utilizando agua destilada (0 ppm), agua con sal (600 ppm) y agua temperatura ambiente (200 ppm). En la figura 19 se verifica que el valor de TDS para una muestra de agua se mantiene consistentemente dentro del rango de 200 ppm a 230 ppm.



```
TDS Value: 219 ppm
TDS Value: 218 ppm
TDS Value: 218 ppm
TDS Value: 217 ppm
TDS Value: 217 ppm
TDS Value: 217 ppm
TDS Value: 218 ppm
```

Figura 19: Agua de consumo humano (Fuente propia)

Importancia

Al realizar la entrevista al piscicultor José Martínez, determinó que realizaba acciones manuales utilizando un bolígrafo de medidor de TDS que permite saber la pureza del agua, este sensor es muy útil para determinar los totales disueltos del agua y con la relación de conversión para encontrar la conductividad eléctrica, se pudo determinar a qué nivel presenta la pureza del agua del estanque que es muy importante para la salud y el crecimiento de los peces.

4.4.3.2.4. Sensor Turbidez

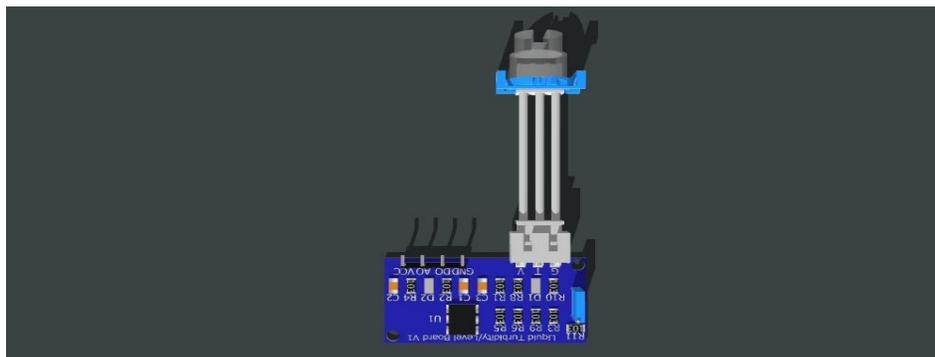


Figura 20: Sensor Turbidez vista en planta (Peter Rodríguez, 2024)

Un sensor de turbidez es un dispositivo que mide la cantidad de partículas suspendidas en un líquido, lo que indica la claridad o turbidez del agua.

- ❖ Voltaje de funcionamiento: 5,00 V CC
- ❖ Corriente de trabajo: 40 mA (máx.)
- ❖ Tiempo de respuesta: <500ms

- ❖ Resistencia de aislamiento: 100 M Ω (mín.)
- ❖ Modo de salida: salida analógica: 0 ~ 4,5 V; salida digital: señal de nivel alto/bajo (se puede ajustar el potenciómetro para seleccionar el umbral correspondiente)
- ❖ Temperatura de funcionamiento: -20 ° C ~ 90 ° C
- ❖ Tamaño del módulo: 38,6 mm x 22,1 mm
- ❖ Interfaz del sensor: conector XH2.54
- ❖ Rango de relación (NTU): 0~1000 \pm 30
- ❖ Diodo emisor de infrarrojos: 940nm (longitud de onda de emisión máxima)
- ❖ Fototransistor: 880 nm (longitud de onda de emisión máxima)

Lógica del funcionamiento

Según la hoja de fabricante (Aorong, 2018) y realizando pruebas de funcionamiento e investigaciones, este sensor utiliza el principio óptico para determinar de forma precisa la turbidez del agua, basándose en la transmitancia y la tasa de dispersión de la luz en la solución. Dentro del sensor, se encuentra un tubo infrarrojo que emite luz a través del agua, la cantidad de luz transmitida depende del grado de turbidez, estableciendo la relación de que, a mayor suciedad, menor será la luz transmitida, generando mayor turbidez. El receptor de luz convierte la intensidad de la luz transmitida, es decir, el módulo del sensor de turbidez transforma la señal de corriente emitida en una señal de voltaje, y posteriormente, el microcontrolador realiza el procesamiento de datos de conversión analógica a digital (AD).

Validación del funcionamiento

Se realizaron pruebas de la comprobación de la programación y lógica del funcionamiento del sensor, utilizando agua de consumo humano (4 NTU), agua con un poco de tierra (1300 NTU) y agua con mucha tierra (2700 NTU).

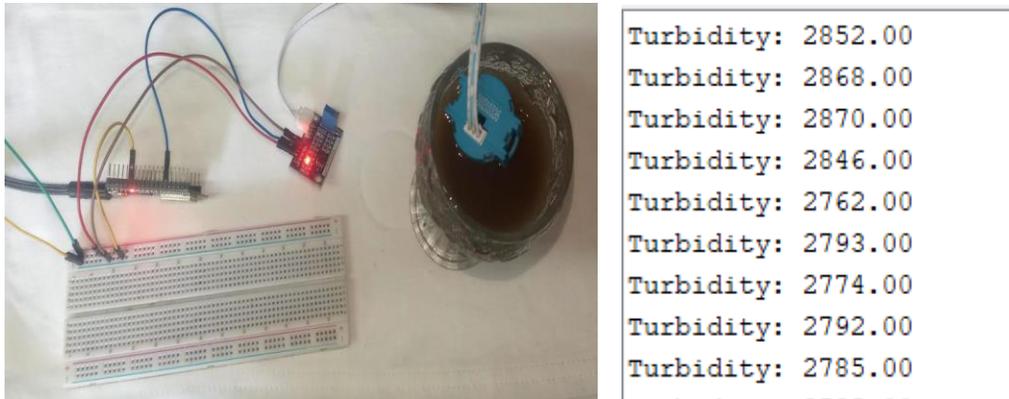


Figura 21: Agua turbia (Fuente propia)

Importancia

El sensor turbidez es crucial para medir la cantidad de partículas suspendidas en el agua, indicando su claridad y posibles contaminaciones, donde debe ir en combinación con el sensor TDS, debido que hay muestras de agua que el TDS muestre un valor óptimo de consumo de 300 ppm pero a simple vista se observa el agua turbia (mayores a 2000 NTU), el turbidez revela que hay contaminación en la muestra, donde el TDS no puede detectarlo, concluyendo que la combinación de estos dos sensores permite una evaluación más completa en la calidad del agua.

4.4.3.3. Almacenamiento Local

4.4.3.3.1. Lector SD

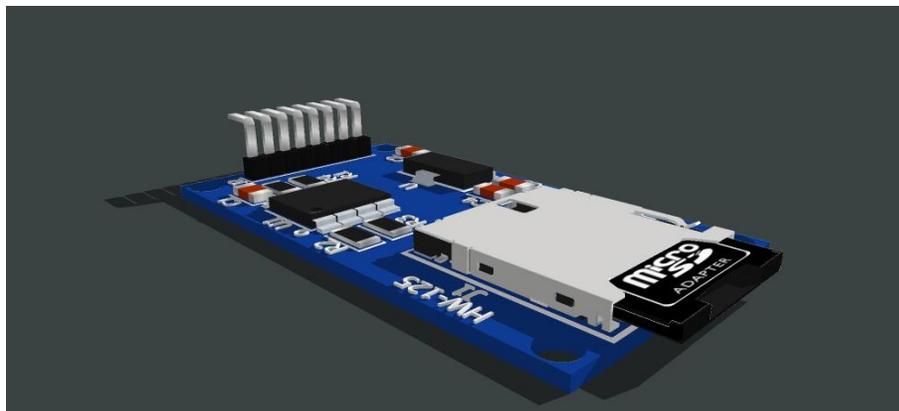


Figura 22: Lector SD vista isométrica (Peter Rodríguez, 2024)

El lector SD es un módulo capaz de realizar lectura de información contenida en una tarjeta microSD, este módulo se utiliza para el registro de los datos donde el microcontrolador a programar es capaz de crear un archivo en la tarjeta SD para escribir

y guardar información usando librería SD que permite la comunicación SPI. (Components, 2021)

- ❖ Voltaje de operación: 4.5V - 5.5V DC
- ❖ Corriente de operación: 0.2 mA - 200 mA
- ❖ Admite el sistema de archivos FAT 32
- ❖ Admite microSD de hasta 2 GB
- ❖ Interfaz: SPI
- ❖ Dimensiones: 24mm x 42mm x 12mm

Lógica del funcionamiento

Se utiliza la Interfaz Periférica Serial (SPI) que es un protocolo de comunicación utilizado para transferir datos entre microcontroladores, sensores y otros dispositivos periféricos. Esta comunicación utiliza 4 cables para comunicarse:

- 1- Master Out Slave In (MOSI)
- 2- Master In Slave Out (MISO)
- 3- Serial Clock (SCK)
- 4- Slave Select (CS)

“El dispositivo maestro controla la comunicación e inicia la transferencia de datos, envía pulsos de reloj a través del cable SCK, indicando a los dispositivos esclavos cuando enviar o recibir datos” (Kanade, 2024). Los dispositivos esclavos, escuchan al maestro y responden en consecuencia, estos datos son enviados a través del cable MISO y reciben datos del maestro a través del cable MOSI. Cuando un dispositivo esclavo necesita comunicarse, el maestro lo selecciona mediante el cable CS.

“SPI es rápido y eficiente porque no tiene esquemas de direccionamiento complicados como otros protocolos, es como tener una línea telefónica directa entre dispositivos para que puedan comunicarse sin confusión” (Kanade, 2024).

El funcionamiento de la Interfaz Periférica Serial (SPI) utiliza 7 procesos de funcionamiento para la lectura y escritura de los datos:

- a) Inicialización: El dispositivo maestro inicializa la comunicación SPI mediante la configuración de parámetros como la velocidad del reloj, formato de datos y selección de chip.

- b) Selección de chip: El maestro selecciona el dispositivo esclavo con el que desea comunicarse activando su pin de selección (CS) correspondiente.
- c) Señal de reloj: El maestro genera pulsos de reloj (SCK) que sincronizan la transmisión de datos entre él y el dispositivo esclavo seleccionado.
- d) Transmisión de datos (maestro a esclavo): El maestro envía datos (bits) en serie por el bus MOSI donde cada bit está sincronizado con la señal de reloj.
- e) Recepción de datos (esclavo a maestro): El esclavo recibe los datos en el bus MOSI mientras envía sus propios datos de regreso al maestro en la línea MISO.
- f) Intercambio de datos: Los dispositivos maestros como los esclavos intercambian datos en modo dúplex completo, es decir, pueden transmitir y recibir datos simultáneamente.
- g) Finalización de la comunicación: Al finalizar el intercambio de datos, el maestro desactiva el pin de selección de chip (CS), indicando el final de la comunicación con el esclavo.

Para realizar todo este proceso de comunicación, se necesita 3 librería instalada en el IDE de arduino:

- a) `#include <FS.h>`: Permite definir las clases y funciones básicas para manejar el sistema de archivos en el microcontrolador.
- b) `#include <SD.h>`: Proporciona funciones para inicializar la tarjeta SD con el objetivo de realizar operaciones básicas como lectura y escritura de archivos.
- c) `#include <SPI.h>`: Establece la comunicación SPI para conectar el microcontrolador con dispositivos periféricos.

Validación del funcionamiento

Se realizó una prueba para almacenar los datos obtenidos del sensor de temperatura en una tarjeta microSD. Consulte la figura 23 para verificar su funcionamiento.

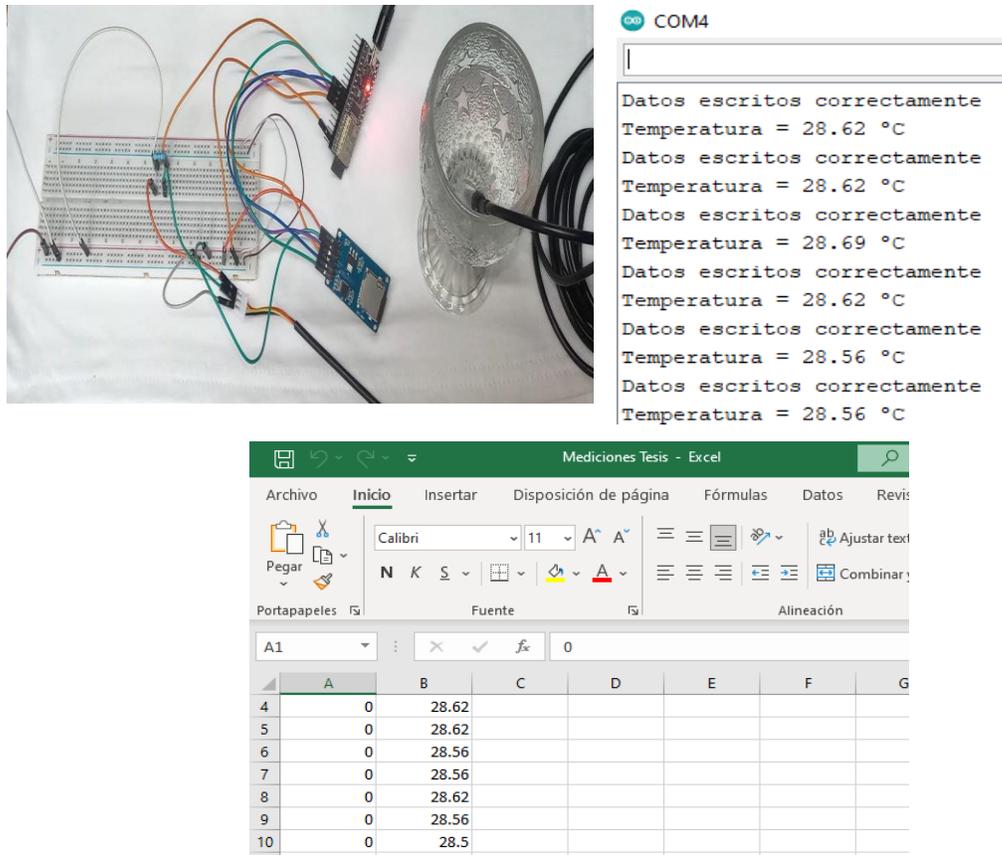


Figura 23: Guardar datos del DS18B20 en una tarjeta microSD (Fuente Propia)

Importancia

La implementación del lector SD es para garantizar la continuidad de los datos, es decir, las mediciones que se reflejan en la aplicación móvil, pueden interrumpirse a causa de desconexión a internet por factores externos incontrolable causando pérdidas de datos vitales, sin embargo, el lector SD actúa como un almacenamiento de respaldo, registrando las mediciones durante estos periodos de desconexión. Además, el lector microSD almacena las configuraciones recientes del dispositivo, facilitando la actualización automática de estas configuraciones una vez que se restablece la conexión a internet, evitando la necesidad de que el usuario repita el proceso de configuración.

4.4.3.3.2. ¿Qué Sucede Cuando el Dispositivo Electrónico se Reinicia? Para que el dispositivo electrónico permita realizar las mediciones, deberá pasar mediante un proceso de configuración inicial, donde una vez completado este proceso, las configuraciones se almacenarán en la tarjeta microSD. En caso de una interrupción de la alimentación en el dispositivo electrónico, los datos de configuración no se perderán, y

cuando la fuente de alimentación retorne, el lector SD enviará estos datos automáticamente, permitiendo que el dispositivo retome las mediciones sin necesidad de que el usuario repita el proceso de configuración. Sin embargo, si la microSD se encuentra vacía, se deberá completar el proceso de configuración para reanudar el monitoreo y almacenar los datos en la microSD. Para una comprensión más clara de esta explicación, consulte la figura 24, que ejemplifica el proceso de manera visual.

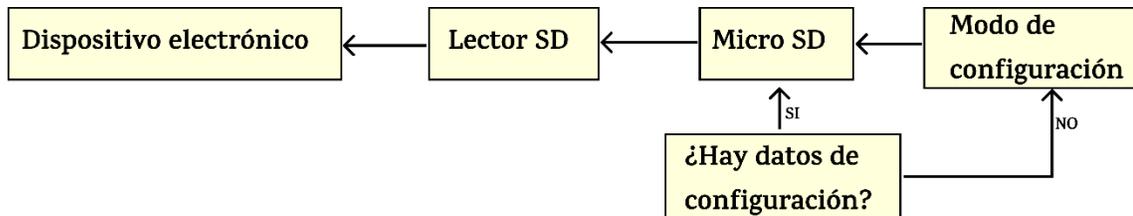


Figura 24: *Proceso de recuperación de datos en caso de fallo de alimentación* (Fuente propia)

4.4.3.3.3. ¿Qué Sucede Cuando el Dispositivo Electrónico presenta

desconexión a internet? En caso de que el dispositivo electrónico esté energizado, pero se produzca una desconexión de internet por factores externos, el lector SD, además de haber almacenado la configuración del dispositivo, permitirá guardar las mediciones en un archivo CSV según el tiempo de muestreo configurado. Para una comprensión más clara de esta explicación, consulte la figura 25, que ejemplifica el proceso de manera visual.

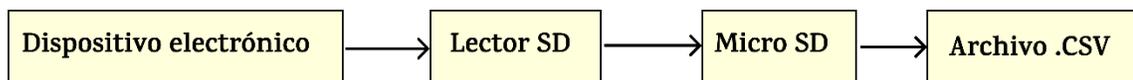


Figura 25: *Almacenamiento de mediciones durante desconexión de internet* (Fuente propia)

4.4.3.4. Alarma Física

4.4.3.4.1. Diodo Emisor de Luz (LED)

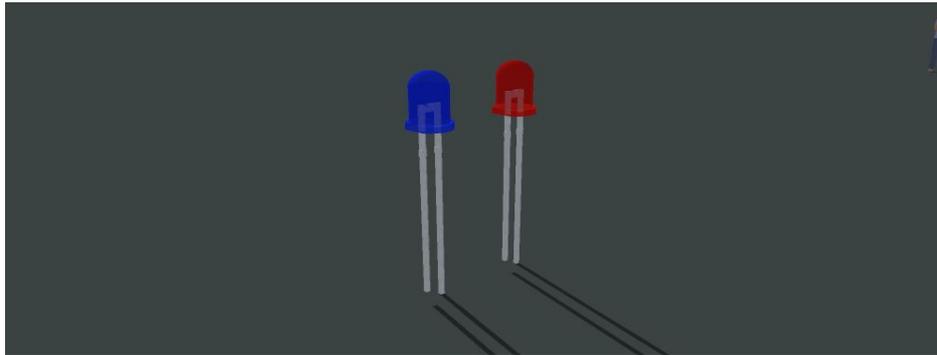


Figura 26: LED vista isométrica (Peter Rodríguez, 2024)

Es un dispositivo semiconductor que permitir el paso de la corriente en un solo sentido con el propósito de emitir luz. La utilidad de este dispositivo es de visualización de las funciones del dispositivo electrónico, donde se basa en 4 funciones:

- ❖ WiFi: Se implementará un LED de color rojo, que cuando se emite la luz, indicará que hay desconexión de internet.
- ❖ Tarjeta SD: Se implementará un LED de color rojo, que cuando se emite la luz, indicará que no hay una tarjeta microSD insertada en el lector SD.
- ❖ Variables fuera de rango: Se implementará un LED de color rojo, que se emite la luz, cuando un parámetro está fuera de rango al establecido por el usuario.
- ❖ Bluetooth: Se implementará un LED de color azul, que se emite la luz, indicando que el bluetooth ha sido activado, es decir, el dispositivo está en modo de configuración.

A continuación, en la figura 27, se muestra de forma visual el uso de los LED en el dispositivo electrónico, complementando la explicación anterior:

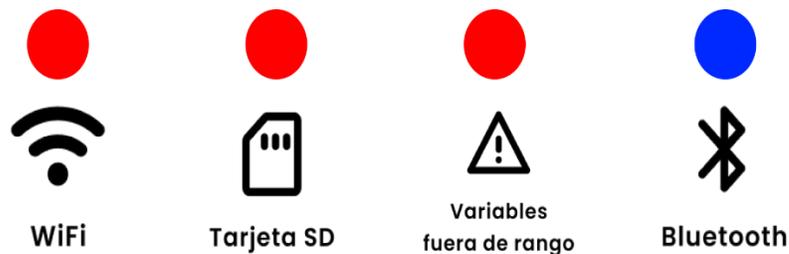


Figura 27: Visualización de LEDS del dispositivo electrónico (Fuente propia)

4.4.3.4.2. Buzzer

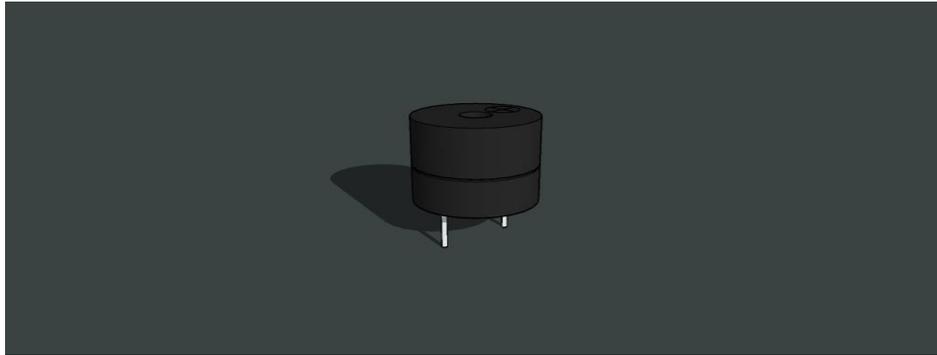


Figura 28: *Buzzer vista isométrica* (Peter Rodríguez, 2024)

Este componente contiene un Zumbador o Buzzer Activo, el cual posee su propia frecuencia de oscilación que permite generar un tono o pitido cuando es alimentado (5v), el buzzer se activa emitiendo un pitido constante, y cuando está en bajo 0 v (sin alimentar), no genera sonido alguno. El buzzer activo en el dispositivo electrónico tiene la función de emitir alertas sonoras en situaciones críticas, este componente alerta cuando los parámetros de calidad del agua están fuera de los rangos establecido indicado posibles problemas, además, emite sonido cuando hay desconexión a internet y durante el modo de configuración, proporcionando una señal auditiva inmediata para la atención y acción del usuario.

4.4.3.5. Fuente de Alimentación. Se realizó una investigación sobre las especificaciones de los componentes electrónicos utilizados, enfocada en determinar el consumo de corriente y voltaje de cada elemento. Los resultados se presentan en la tabla 7, la cual facilita un análisis más detallado del consumo energético del dispositivo electrónico.

Tabla 7

Fuente de alimentación del Dispositivo electrónico

Componentes	Voltaje	Corriente
ESP32	5 V	230 mA
Sensor Temperatura	5 V	10 mA
Sensor PH	5 V	10 mA
Sensor TDS	5 V	5 mA
Sensor Turbidez	5 V	40 mA
Lector SD	5 V	200 mA
LED	5 V	4 (20mA) = 80mA
Buzzer	5 V	25 mA

Concluyendo que el dispositivo electrónico consume un total de 5V y 0.6A, donde se ha elegido una fuente de alimentación de 5V y 2A, que es adecuada para cubrir el consumo requerido. Se observa, que en total el dispositivo consume 3 watt de potencia, evidenciando una eficiente y económica para un monitoreo constante, además, es adaptable para alimentar mediante paneles solares, los cuales pueden proporcionar más potencia al mismo voltaje, ofreciendo mayores beneficios y sostenibilidad.

4.4.3.6. Ensamblaje

4.4.3.6.1. Uso de la caja PVC. Durante la visita del Piscicultor José Martínez que nos otorgó la autorización para la prueba del funcionamiento del dispositivo electrónico, se observó que el estanque seleccionado estaba ubicado al aire libre, por lo que se encontraba el gran desafío que era la lluvia. Para mitigar este riesgo, se decidió utilizar una caja rectangular de material PVC como protección, este material fue seleccionado no solo por su resistencia a la intemperie y su capacidad para aislar el equipo de la humedad, sino también por su bajo costo y facilidad de adquisición, lo que convierte en una solución económica y efectiva que permitirá proporcionar un entorno seguro para el microcontrolador ESP32, el módulo PH, lector SD, módulo TDS, y otro componentes, asegurando la continuidad operativa del dispositivo y prolongando su vida útil frente a factores externos.

4.4.3.6.2. Conexiones Generales del Dispositivo Electrónico. En la figura 29 se muestran las conexiones generales del dispositivo electrónico, proporcionando una explicación clara y concisa sobre dónde conectar cada pin de los componentes.

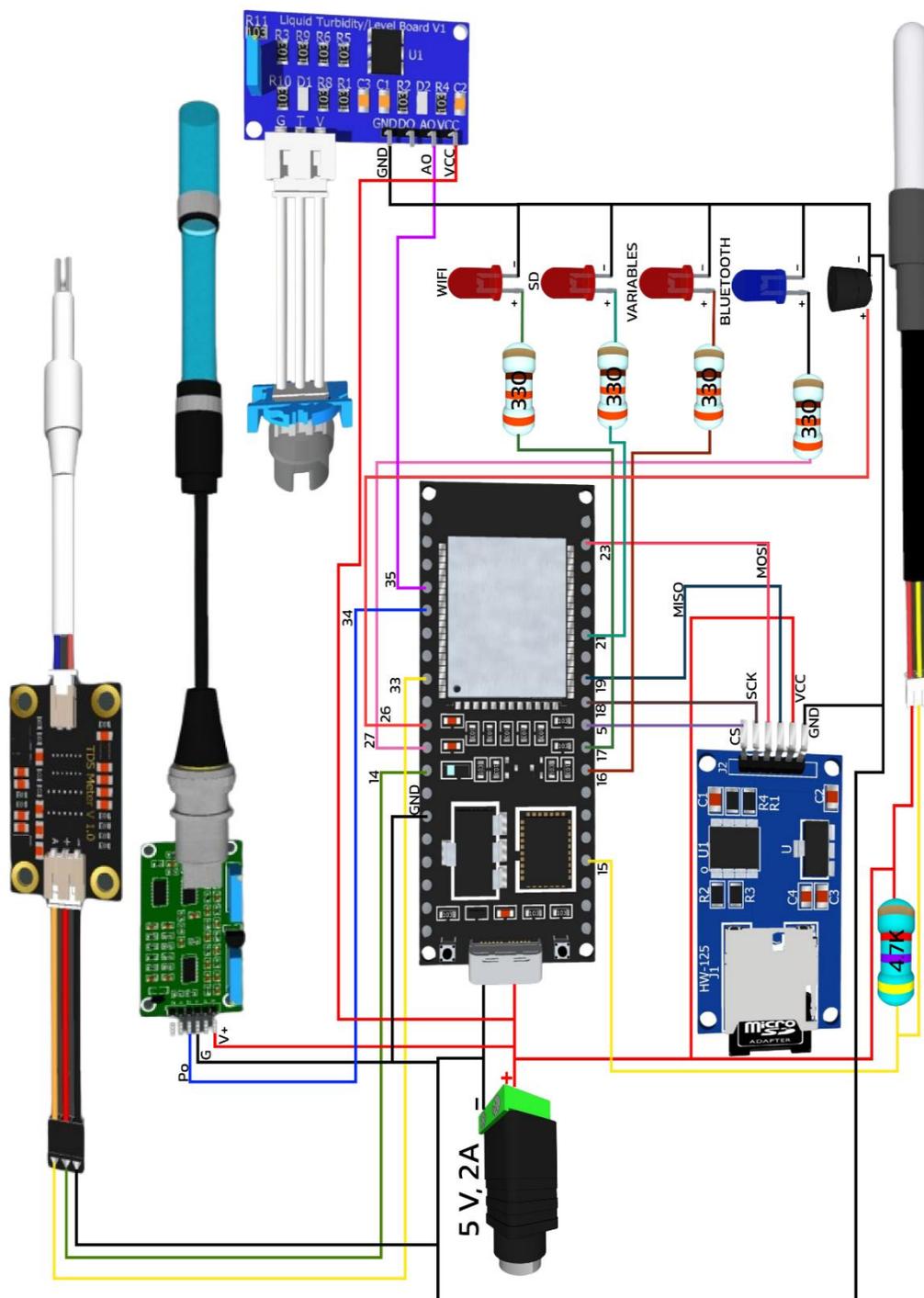


Figura 29: Conexión del dispositivo electrónico (Fuente propia)

4.4.3.6.3. *Evidencia Fotográficas del Ensamblaje Final del Dispositivo Electrónico*



Figura 30: *Ensamblaje final del dispositivo electrónico* (Fuente propia)

4.4.3.7. Desafíos Técnicos y Soluciones en el Desarrollo del Dispositivo Electrónico

4.4.3.7.1. Error de Fabricación del sensor PH4502C. En el momento de calibración de este sensor, recordemos que debemos cargar el código correspondiente de programación y regular el potenciómetro offset, que, si utilizamos el microcontrolador arduino UNO, tendrá una calibración de 0V a 5V, pero si utilizamos la ESP32, tendrá una calibración de 0V a 3.3V. Al realizar este procedimiento, se observó que utilizando el arduino UNO, nos mostraba una calibración de 2.5V a 5V y si utilizamos la ESP32 nos daba una calibración de 2.4V a 3.3V, observando que no cumple con lo recomendado para dejar la calibración de forma adecuada, por lo que se llegó a la investigación de este inconveniente que afecta la precisión del sensor PH. Se encontró una investigación documental para obtener el título de ingeniería electrónica en el país de España, donde afirma que en la mayoría de estos módulos PH, vienen error de fabrica:

Al realizar pruebas con esta placa, se comprobó que el funcionamiento no era el correcto, ya que los valores de la salida Po solo permitían establecer un rango de medida de entre 2.5 a 5V, la mitad del rango, el cual debería de ser de entre 0 a 5V para así poder calibrar el pH neutro de 7 al valor de referencia de 2.5V, cubriendo todo ese rango de 0 a 5V para medir valores de pH de 0 a 14. Por lo que la única conclusión posible debía ser que esta placa presentaba un problema de fabricación o estaba mal diseñada. (Madruga Barriga, 2023).

“Fue que el valor de R1 del circuito de offset era de 5.1K Ω en vez de 10K Ω y el de las resistencias R7 y R6 del circuito de detección de pH, en realidad eran las resistencias R10 y R11 las cuales presentaban valores de 10K Ω y 20K Ω respectivamente” (Madruga Barriga, 2023).

Al comprender este problema, se realizó el proceso de comprobación, donde con un multímetro se comprobó el valor de resistencia, y está en lo correcto, en la placa que se utilizó en el dispositivo electrónico, la resistencia R1 tenía un valor de 5.1 K Ω , donde es incorrecto porque según el fabricante debe ser de 10K Ω y que las etiquetas de resistencias R10 y R11 con los valores de 10K Ω y 20K Ω estaban mal etiquetadas según el fabricante, por lo que esos valores deberían estar en las etiquetas R7 y R6. Al comprender esto, se evidencia que el sensor está mal fabricado, por lo que se siguió con el proceso de calibración y comprobar el funcionamiento del sensor PH para dar la conclusión de este sensor.

Primeramente, se debe iniciar con la calibración del sensor PH, se utilizó el microcontrolador ESP32 donde se le cargó el programa de calibración que se puede observar en el apartado de anexo. El módulo del sensor Ph, se realizó el procedimiento de cortocircuitar el conector BNC (Observar figura 31), luego, se observó en el monitor serial una calibración mínima de 2.44V y máxima de 3.30V, donde estableciendo el procedimiento correcto de calibración, se encontró el punto medio variando el potenciómetro offset, donde visualizamos el valor de 2.87V que es el punto medio que equivale un PH de 7.

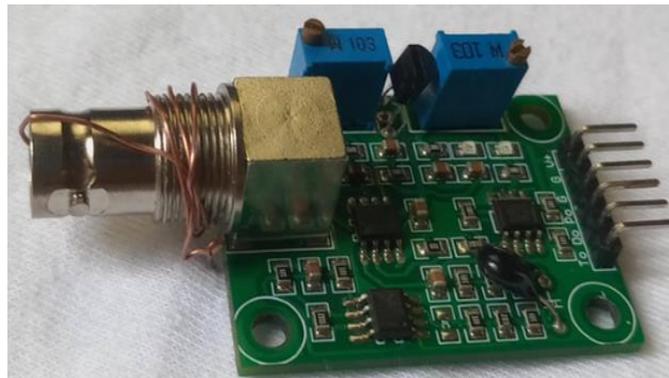


Figura 31: Cortocircuitando el conector BNC (Fuente propia)

Luego de haber calibrado el sensor PH, quitamos el alambre que realiza el proceso de cortocircuitar el BNC y se colocó la sonda PH, donde se cargó la programación que permite establecer valores de referencias de PH, está programación se observará en el apartado de anexo. Este código de programación nos permite identificar el nivel de voltaje que está recibiendo el módulo PH, recordemos que la lógica de funcionamiento de este sensor, consiste en una relación de voltaje - PH que es determinada mediante la ecuación de la recta, para ello, se necesita por lo menos identificar 2 valores de PH diferentes, en estas pruebas, se utilizó un PH de 7 que es el agua de consumo humano y un PH de 4 que fue proporcionado por un ingeniero químico, ambas sustancias fueron comprobadas mediante un papel PH, concluyendo que se tomó de referencia estas dos muestras, para conocer el nivel de voltaje que nos muestra el módulo PH para calcular la ecuación de la recta.

En la figura 32 se presentan las dos muestras utilizadas para calibrar el sensor de pH. Al realizar la prueba, se registró un valor de 335 mV para un pH de 4 y un valor de 275 mV para un pH de 7.



Figura 32: Muestra PH 4 y PH 7 (Fuente propia)

Por lo tanto, tenemos dos puntos de referencias: (335, 4) y (275, 7) donde $X_1 = 335\text{mV}$ y $Y_1 = 4$, además que $X_2 = 275\text{mV}$ y $Y_2 = 7$. Al tener estos dos puntos de referencias, podemos calcular la pendiente, que nos da un resultado de $m = -\frac{1}{20}$, luego, implementamos en la ecuación de la recta y nos da $Y = -0.05X + 20.75$

Y con esa ecuación de la recta, obtenemos la relación de Voltaje -PH, que se implementó en el código de programación anterior donde se utilizó como programación oficial que está incluido en el dispositivo electrónico. Luego, se utilizaron varias pruebas donde se hicieron mezclas de agua con vinagre o ACE que con la ayuda del papel PH obtuvimos el valor PH correcto y se procedió a compararlo con la medición proveniente del sensor, donde se concluye que el sensor PH no puede medir correctamente PH menores de 4 y mayores a 10, esto debido al problema de fábrica que presenta, pero no nos proporciona un inconveniente debido que los valores en la piscicultura están en el rango de 4 a 9 para determinar factores óptimos y dañinos en las condiciones de la calidad del agua.

4.4.3.7.2. Relación Sensor TDS y Sensor PH. Al realizar prueba del diseño electrónico se encontró que existía como una interferencia entre el sensor TDS con el sensor PH, cuando las sondas de los sensores estaban en la misma muestra de agua, la sonda del sensor TDS afecta las mediciones de la sonda del sensor PH, por ejemplo: La muestra era agua de consumo, por lo que debería tener un valor aproximado de TDS de 200 ppm y un PH de 7, al colocar las dos sondas en la misma muestra de agua, nos daba un TDS de 220 ppm y un PH de 10, por lo que no era correcto. Luego, se realizó otra prueba utilizando dos microcontroladores separados, cada uno conectado a un sensor distinto, donde al monitorear las lecturas en pantallas seriales independientes, se

obtuvieron resultados precisos, confirmando que la interferencia era causada por la falta de aislamiento entre los sensores.

Se ha realizado una investigación para encontrar el fenómeno de este problema, se pudo recopilar en foros de comunidad que es debido a que el sensor PH lee pequeñas corrientes eléctricas, que el medidor TDS suministrará, por lo que es necesario desconectar el TDS para que funcione el PH (arduino, 2023). Además, en la revisión de los antecedentes, se encontró que la mayoría de los estudios que empleaban ambos sensores, evitan abordar este problema directamente o lo mencionan únicamente en la sección de recomendaciones sin proporcionar una solución concluyente.

En esta investigación monográfica, se concluye que el fenómeno es causado por una interferencia eléctrica, recordemos al observar las especificaciones de cada uno de los sensores, el sensor TDS actúa como un transmisor y el sensor PH actúa como un receptor, esto significa que las señales eléctricas del sensor TDS pueden acoplarse al sensor PH a través de las líneas de alimentación compartida, induciendo voltaje no deseados que afectan la precisión del sensor PH. Cuando se realizó la prueba de los dos microcontroladores de forma separada, eliminó el acoplamiento permitiendo que cada sensor opere en su propio entorno eléctrico aislado, sin la interferencia del otro. El sensor PH es sensible a interferencias eléctricas debido a su principio de funcionamiento, este sensor, mide pequeñas corrientes y voltajes generados por la interacción química en su sonda, por lo que la hace vulnerable a interferencias provocadas por el sensor TDS que induce corrientes parásitas en el circuito compartido, alterando las mediciones del PH.

La solución a este problema se implementó a través de software, lo que resultó ser el método más económico y eficiente sin necesidad de modificar el diseño general del dispositivo electrónico. La solución consiste en mantener el sensor PH encendido de manera continua, mientras que el sensor TDS permanece apagado y solo se activa al momento de realizar la medición. Específicamente, el sensor TDS se enciende y toma la muestra 200 milisegundos después de que los demás sensores hayan completado sus mediciones. Este enfoque garantiza que no haya interferencia, debido que el sensor PH completa su medición antes de que el sensor TDS entre en funcionamiento, eliminando cualquier posible perturbación entre ambos sensores.

4.4.4. Transmisión

4.4.4.1. Configuración del Dispositivo electrónico. Este proceso permite establecer las configuraciones esenciales para el funcionamiento del dispositivo electrónico, como el ID y la contraseña del Wi-Fi, el enlace del servidor, el nombre del dispositivo, el tiempo de muestreo y los valores óptimos de los parámetros de calidad del agua. La configuración se realiza a través de la tecnología Bluetooth Clásico, lo que requiere que el usuario esté cerca del dispositivo. Cuando el dispositivo entra en modo de configuración, el monitoreo se detiene, y toda la información ingresada en la aplicación móvil se transmite al dispositivo electrónico. Durante este proceso, el dispositivo enviará dos posibles valores de respuesta: un '0' indica un error (por ejemplo, Wi-Fi incorrecto o enlace del servidor mal escrito), y un '1' indica éxito, donde los datos se guardarán en la tarjeta microSD. Para una comprensión más clara de esta explicación, consulte la figura 33, que ejemplifica el proceso de manera visual.

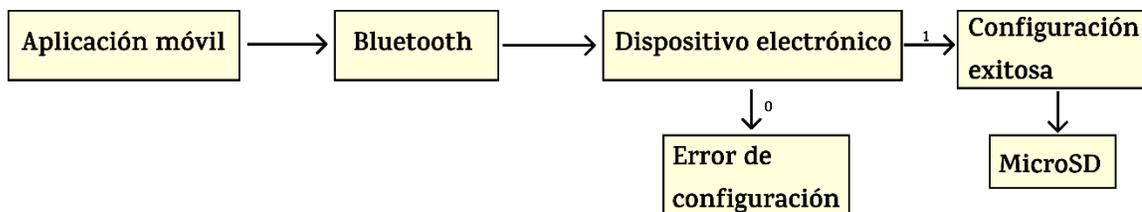


Figura 33: Lógica del funcionamiento en la configuración del dispositivo vía bluetooth

(Fuente propia)

4.4.4.2. Monitoreo en Tiempo Real. En nuestro proyecto, se utilizó el protocolo HTTP debido a su amplio uso y a los vastos recursos de documentación disponibles, lo que facilita la comprensión y modificación del sistema empleado. HTTP es un protocolo de la capa de aplicación ampliamente utilizado en el desarrollo de aplicaciones web, conocido por su simplicidad y eficacia en la transferencia de datos. Además, los costos de alojamiento de un servidor HTTP son más bajos en comparación con alternativas como MQTT. Este protocolo ofrece una amplia variedad de bibliotecas que simplifican el desarrollo de aplicaciones de servidores HTTP, lo que contribuye a una implementación más rápida y eficiente del proyecto. HTTP y su arquitectura cliente-servidor permite simplificar el proceso de IoT de nuestro sistema, además que abarata los costos de alojamiento de servidor ya que es el protocolo más usado de la Web.

Una alternativa al uso de HTTP es el protocolo MQTT, según el organismo de MQTT, “MQTT es un protocolo de mensajería estándar de OASIS para la Internet de las cosas (IoT). Está diseñado como un transporte de mensajería de publicación/suscripción extremadamente ligera, ideal para conectar dispositivos remotos con una huella de código pequeña y un ancho de banda de red mínimo” (MQTT, 2022). Si bien MQTT es muy eficiente en la transmisión de datos comparado con HTTP, la implementación es un poco más compleja.

Para implementarlo se debe de alojar en un “broker”; en MQTT un broker es un intermediario entre los clientes (aplicaciones) y los dispositivos IoT que se encarga de transmitir la información al canal correspondiente. Sin embargo, para almacenamiento de datos y otros procesamientos se requiere de un servidor cliente, que se suscribe o ancla a los canales del broker para realizar operaciones con los datos (como el almacenamiento en base de datos). Para nuestro sistema, implica tener dos servidores, uno que actúe como broker de MQTT y otro que se comunique con el broker y además se comunique con la base de datos, incrementando los costos y la complejidad.

4.4.5. Procesamiento

4.4.5.1. Servidor. Nuestro sistema hace uso de un servidor programado en el lenguaje de programación JavaScript. El servidor actúa como intermediario entre la aplicación, bases de datos y el dispositivo electrónico, encargado del procesamiento de los datos provenientes del dispositivo electrónico. El servidor es una API de tipo REST que actúa bajo el protocolo HTTP. Bajo la definición de la empresa RedHat, “Una API REST, o API RESTful, es una interfaz de programación de aplicaciones (API o API web) que se ajusta a los límites de la arquitectura REST y permite la interacción con los servicios web de RESTful”, esto es, que el servidor actúa como un programa que expone sus funcionalidades bajo la arquitectura REST. REST es la abreviación de “Representational State Transfer”. Este tipo de arquitectura está basada en la interacción cliente-servidor, en donde el cliente realiza una petición a través de un método HTTP como GET, PUT, POST, etc., y el servidor responde con datos representados en distintos formatos como JSON, Text, Media, etc. Bajo esta arquitectura, el servidor no guarda ningún tipo de información.

Esta arquitectura de tipo REST no es un protocolo ni un estándar, tal como lo establece RedHat, “REST no es un protocolo ni un estándar, sino más bien un conjunto de límites

de arquitectura. Los desarrolladores de las API pueden implementarlo de distintas maneras” (Hat, 2023). Si bien la arquitectura establece que no se debe de guardar ningún tipo de información en el servidor, nuestro sistema sí realiza tal acción, debido a que el sistema requiere de saber si un dispositivo tuvo alguna desconexión el servidor debe de estar constantemente guardando el estado de conexión de los dispositivos y corriendo una evaluación de tiempo constante para lograr dicho objetivo.

4.4.5.1.1. Endpoints. En la arquitectura REST, un endpoint es la dirección específica donde se envía una solicitud HTTP para interactuar con un servicio web, similar a la ruta de un directorio de archivos de un sistema operativo. La dirección o URL web en donde está alojando el servidor es el directorio raíz. Nuestro sistema cuenta con once endpoints, 3 de método POST, 6 de método GET, 1 de método PATCH, 1 de método DELETE (Observar la tabla 8).

Tabla 8

Endpoints en el sistema electrónico

Endpoint	Método HTTP	Descripción
/new	POST	Usado para guardar en bases de datos la información de un nuevo dispositivo de monitoreo.
/data	POST	Usado por el dispositivo de monitoreo para guardar los datos obtenidos de los sensores y el estado del propio dispositivo.
/notify	POST	Usado para guardar los identificadores de notificación.
/update/:device_uuid	PATCH	Usado para actualizar la información en bases de datos del dispositivo de monitoreo con UUID definida. <i>:device_uuid</i> es un parámetro de URL, se debe de reemplazar por la UUID del dispositivo que se quiere modificar.
/delete/:device_uuid	DELETE	Usado para eliminar de las bases de datos toda la información, incluida los registros, de un dispositivo de monitoreo.
/verify	GET	Usado para verificar si el servidor está funcionando correctamente. Retorna el código de estado 200 si el servidor se encuentra funcionando. No retorna ningún dato.
/devices	GET	Retorna las UUIDs de los dispositivos registrados en la base de datos.
/history	GET	Retorna un archivo con los datos recolectados por un dispositivo de monitoreo desde una fecha de inicio hasta una fecha final.
/btalarm	GET	Retorna el estado del bluetooth y alarma registrados en la base de datos en tiempo real. El dispositivo de monitoreo hace uso de este endpoint para activar o desactivar la alarma o el bluetooth.
/manual	GET	Retorna el archivo PDF del manual de usuario del sistema.
/time	GET	Retorna la hora y fecha actual de Nicaragua. Usado por el dispositivo de monitoreo para establecer la hora y fecha interna.

Estructura de datos de los endpoints

En la tabla 9, la columna tipo indica si la petición requiere de ingreso o egreso de datos y la ubicación o propiedad en la que se encuentra los datos. En la columna estructura de datos, es el esquema que se debe de seguir para que la petición sea procesada correctamente.

Tabla 9

Estructura de datos de los endpoints

Endpoint	Tipo	Estructura de Dato
/new	input: body de la petición	<pre> { "device_uuid": string, "device_name": string, "bluetooth_name": string, "bluetooth_macaddress": string, "server_url": string, "network_ssid": string, "sampling_time": number, "battery_min": number, "properties": { "ph_min": number, "ph_max": number, "te_min": number, "te_max": number, "tds_min": number, "tds_max": number, "ec_min": number, "ec_max": number, "tu_min": number, "tu_max": number } } </pre>
/data	input: body de la petición	<p>En la propiedad “critical_props” pueda estar vacía, o contener una serie de código de parámetros separados por el símbolo “ ”. Esta propiedad indica si existe algún problema en alguna de las propiedades.</p> <pre> { </pre>



		<pre>"device_uuid": string, "battery_level": number, "connection": bool, "ph": number, "conductivity": number, "temperature": number, "tds": number, "turbidity": number, "bluetooth_enabled": bool, "alarm_enabled": bool, "critical_props": "ph te tds ec tu" }</pre>
/notify	input: body de la petición	<pre>{ "user_id": string }</pre>
/update/:device_uuid	input: parámetro de la petición y body de la petición.	<p>Parámetro: :device_uuid</p> <p>Ejemplo: /update/9ad2ea8c-5b9f-4d00-a09d-5c479600b94b</p> <p>Body:</p> <pre>{ "network_ssid": string, "sampling_time": number, "battery_min": number, "server_url": number, "properties": { "ph_min": number, "ph_max": number, "te_min": number, "te_max": number, "tds_min": number, "tds_max": number, "ec_min": number, "ec_max": number, "tu_min": number, "tu_max": number, } }</pre>



/delete/:device_uuid	input: parámetro de la petición.	Parámetro: :device_uuid Ejemplo: /delete/9ad2ea8c-5b9f-4d00-a09d-5c479600b94b
/verify	output	Código de estado, número.
/devices	output	Lista de tipo texto que contiene las uuid de los dispositivos monitoreo registrados. Vacío en caso de que no haya dispositivos registrados. ["device_uuid", ..., "device_uuid"]
/history	input, en formato de parámetros de consulta output, archivo CSV	Parámetros de consulta: "device_uuid": <device_uuid> "start": <fecha de inicio> DD-MM-YYYY "end": <fecha de finalización> DD-MM-YYYY Ejemplo: /history?device_uuid=<UUID>&start=31-01-2024&end=31-12-2024
/btalarm	input, en formato de parámetro de consulta output, de tipo texto	Parámetro de consulta: "device_uuid": <device_uuid> Formato de salida: <bool: alarma>,<bool: bluetooth> Ejemplo: /btalarm?device_uuid=<UUID> Retorna: "true,false" (alarma activada, bluetooth desactivado)
/manual	output	Retorna el archivo PDF del manual de usuario del sistema.

/time	output	Retorna el siguiente formato de fecha: HH,mm,ss,DD,MM,YYYY Ejemplo: 15,30,55,04,08,2024 => El 4 de agosto de 2024, 3 de la tarde con 30 minutos y 55 segundos.
-------	--------	--

4.4.6. Almacenamiento/Base de datos

En nuestro proyecto se emplean tanto una base de datos en la nube como un sistema de almacenamiento local en una tarjeta SD. El uso combinado de estas tecnologías permite redundancia en el almacenamiento y la persistencia de los datos. La base de datos en la nube utilizada es de tipo NoSQL, lo que la distingue de las tradicionales bases de datos SQL. Mientras que SQL se basa en un modelo relacional estructurado en tablas con esquemas predefinidos, NoSQL es más flexible, permitiendo el almacenamiento de datos sin un esquema fijo. Esta flexibilidad facilita el manejo de grandes volúmenes de datos semiestructurados y no estructurados. Aunque las bases de datos de tipo NoSQL permiten la flexibilidad en la estructuración de los datos nuestra estructura de datos es persistente.

4.4.6.1. Cloud Firestore. Se hace uso de la base de datos del servicio Firebase de Google, llamado Firestore. Esta base de datos es de tipo NoSQL o no relacional lo que significa que no requiere un esquema rígido predefinido. Esto nos permite ser flexibles y agregar nuevos campos a los documentos sin tener que modificar toda la estructura de la base de datos. Sin embargo, para facilitar el procesamiento y entrega de datos es recomendable que los datos tengan un esquema o estructura claramente definidas. La base de datos organiza los datos en colecciones y documentos. Las colecciones son un conjunto de documentos que comparten características comunes, sin un esquema predefinido. Sin embargo, estos documentos pueden tener una estructura de datos diferente entre sí, aún si pertenecen a la misma colección.

Los documentos son la unidad básica de almacenamiento y es donde se encuentran los datos de un sistema. Cada documento tiene un identificador único o ID, cuando no se especifica un ID para cada documento, Firestore le asigna un ID automáticamente. Los

documentos contienen datos en formato de clave-valor y los valores pueden ser de tipo texto, números, booleanos, listas, timestamps o contener sub-colecciones. Las sub-colecciones son colecciones que se encuentran dentro de un documento y se rigen bajo las mismas reglas que las colecciones, y a su vez contienen documentos dentro de sí. Todo documento debe de estar dentro de una colección, y los datos tienen que estar dentro de un documento.

Nuestro sistema electrónico tiene el esquema de base de datos observada en la figura 34:

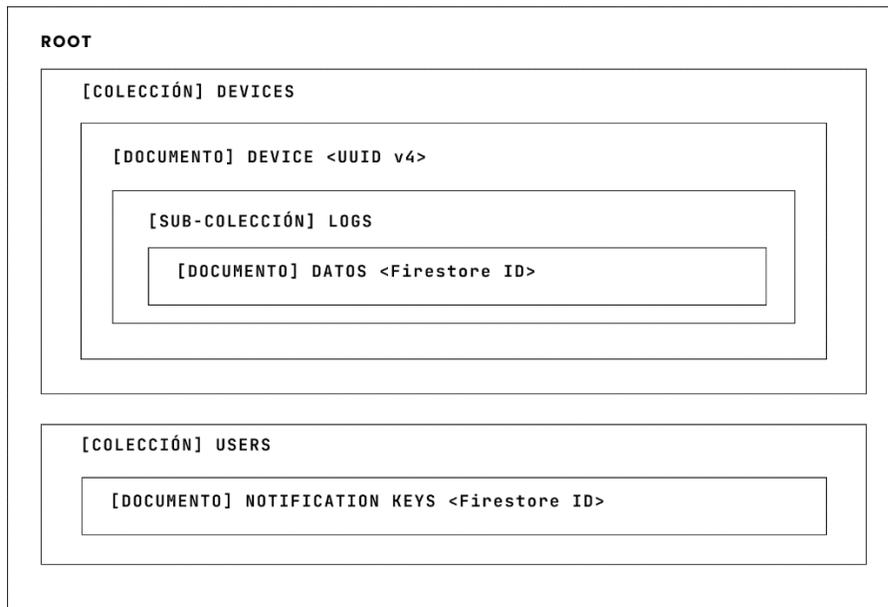


Figura 34: Esquema de la base de datos del sistema (Fuente propia)

En la raíz o “root” de nuestra base de datos se encuentran dos colecciones, la colección llamada “devices” y la colección llamada “users”. En la colección “devices” se encuentran los datos generales de los dispositivos de monitoreo registrados, por cada dispositivo se crea un nuevo documento con una ID generada por la aplicación móvil, esta ID es una UUID versión 4. En la colección “users” se encuentran los identificadores de notificación de cada dispositivo, la ID de estos documentos está generada automáticamente por la base de datos.

Los documentos de la colección “devices” tienen la siguiente estructura de datos:

```
// <nombre del campo>: <tipo de dato>
// clave: valor
logs: firestore subcollection
battery_min: string
bluetooth_macaddress: string
bluetooth_name: string
created_date: timestamp
device_name: string
device_uuid: string
network_ssid: string
properties:
  ec_max: string
  ec_min: string
  ph_max: string
  ph_min: string
  tds_max: string
  tds_min: string
  te_max: string
  te_min: string
  tu_max: string
  tu_min: string
sampling_time: string
server_url: string
```

A su vez, cada documento tiene dentro de sí una subcolección en el campo “logs” en donde se almacena todos los datos registrados por el dispositivo de monitoreo, cada información se guarda en un documento con un nombre generado automáticamente por la base de datos y contiene la siguiente estructura de datos:

```
// <nombre del campo>: <tipo de dato>
// clave: valor
alarm_enabled: bool
battery_level: number
bluetooth_enabled: bool
conductivity: number
connection: bool
ph: number
tds: number
temperature: number
time: timestamp
turbidity: number
```

En la colección “users” se almacenan los tokens de mensajería que se usan como identificador único para el envío de notificaciones a los usuarios del sistema. Cada token es un documento nombrado automáticamente por Firestore y contiene el siguiente esquema de datos:

```
// <nombre del campo>: <tipo de dato>  
// clave: valor  
user_id: string
```

La capacidad de almacenamiento de Firestore es superior a los 5 terabytes de información mensual, debido que el modelo implementado por Google permite escalar la base de datos en base a la demanda necesitada de los clientes.

Firestore no solo es medido en base a la cantidad de almacenamiento, también es medido en base a la cantidad de información que se guarda, se elimina y se consulta mensualmente. Tiene una capacidad de más de cinco mil millones de operaciones de escritura al mes, más diez mil millones de operaciones de eliminación y de consulta mensualmente.

4.4.6.2. Realtime Database. Además de Firestore, también utilizamos la base de datos en tiempo real de Firebase para el almacenamiento de datos. Esta base de datos nos permite almacenar y sincronizar datos de manera eficiente en tiempo real, proporcionando un flujo continuo de información entre los dispositivos de monitoreo y la aplicación. La base de datos en tiempo real de Firebase es especialmente útil para aplicaciones que requieren actualizaciones constantes y rápidas, ya que cada cambio en los datos se refleja inmediatamente en todos los dispositivos conectados.

Al igual que la base de datos de Firestore, esta base de datos en tiempo real proporciona un sistema seguro y escalable, lo que significa que puede crecer en base a la cantidad de dispositivos de monitoreo que se quiera utilizar. Su estructura está basada en JSON y permite almacenar datos estructurados de manera jerárquica, facilitando la organización y el acceso a la información.

A diferencia de Firestore, la base de datos en tiempo real está pensada en transmitir grandes cantidades de información en tiempo real, manteniendo cierta persistencia de los datos. Generalmente, cuando se quiere transmitir datos en tiempo real se utilizan protocolos como WebSockets o MQTT, el problema está en que los datos no son almacenados, simplemente son transmitidos, y es deber de la aplicación o programa de monitoreo el guardar los datos que están siendo entregados de tal forma que si hay alguna interrupción en el sistema aún se pueda saber qué fue lo último que se transmitió.

Para lograr la persistencia de los datos se requiere de implementar un sistema que haga de “caché”, de tal forma que cuando los datos entren al sistema de transmisión se puedan

capturar y almacenarlos hasta que exista una actualización de dichos datos, de esa manera se asegura de siempre tener la última versión de los datos capturados o transmitidos. Si bien se puede lograr el objetivo de esta forma, se requiere de más servidores o capacidad de procesamiento y almacenamiento para lograrlo, lo que implica el incremento de los costos y más probabilidad de fallos en el sistema.

La base de datos en tiempo real de Firebase resuelve dicho problema de una forma escalable y más económica, de tal forma que el programa de monitoreo pueda saber qué datos fueron los últimos en ser transmitidos mientras está a la espera de nuevos datos. Nuestra base de datos en tiempo real tiene la siguiente estructura de datos:

```
// <nombre del campo>: <tipo de dato>
// clave: valor
root
  |- devices:
    |- <device_uuid>:
      |- alarm_enabled: boolean
      |- battery_level: number
      |- bluetooth_enabled: boolean
      |- conductivity: number
      |- connection: boolean
      |- ph: number
      |- tds: number
      |- temperature: number
      |- time: string
      |- turbidity: number
    |- ...
    |- ...
```

La estructura de datos en la base de datos en tiempo real de Firebase para este proyecto está organizada en una jerarquía que comienza con la raíz o "root". Bajo este nodo raíz, se encuentra un nodo principal llamado "devices", el cual actúa como contenedor para todos los dispositivos IoT que forman parte del sistema de monitoreo. Cada dispositivo está identificado por un "device_uuid" único, lo que permite la distinción y el acceso individual a cada dispositivo dentro de la base de datos. Dentro de cada nodo de dispositivo (device_uuid), se almacenan varios atributos clave que representan diferentes aspectos del estado y las mediciones del dispositivo. A través de todo el sistema (aplicación, dispositivo electrónico, base de datos, base de datos en tiempo real) cada dispositivo tiene un identificador único o "uuid" versión 4, lo que permite una fácil identificación a través del sistema si en algún caso se deben de revisar los datos.

4.4.7. Visualización

4.4.7.1. Aplicación Móvil. Se emplea la tecnología de google Flutter, que es un framework de código abierto para desarrollar aplicaciones móviles, que junto con el lenguaje de programación Dart, permite crear interfaces de usuario altamente interactivas y eficientes. En este apartado, se podrá observar los datos de las mediciones en tiempo real y de otras funciones.

4.4.7.1.1. Visualización del Monitoreo. La aplicación se conecta en tiempo real a la base de datos, donde mantiene una comunicación constante con Realtime Database. Al iniciarse, la aplicación consulta al Realtime Database para verificar si se ha establecido el tiempo de muestreo, y en caso de que la aplicación se cierre, Realtime Database almacena la última medición donde lo reflejará en la aplicación. Para una comprensión más clara de esta explicación, consulte la figura 35, que ejemplifica el proceso de manera visual.

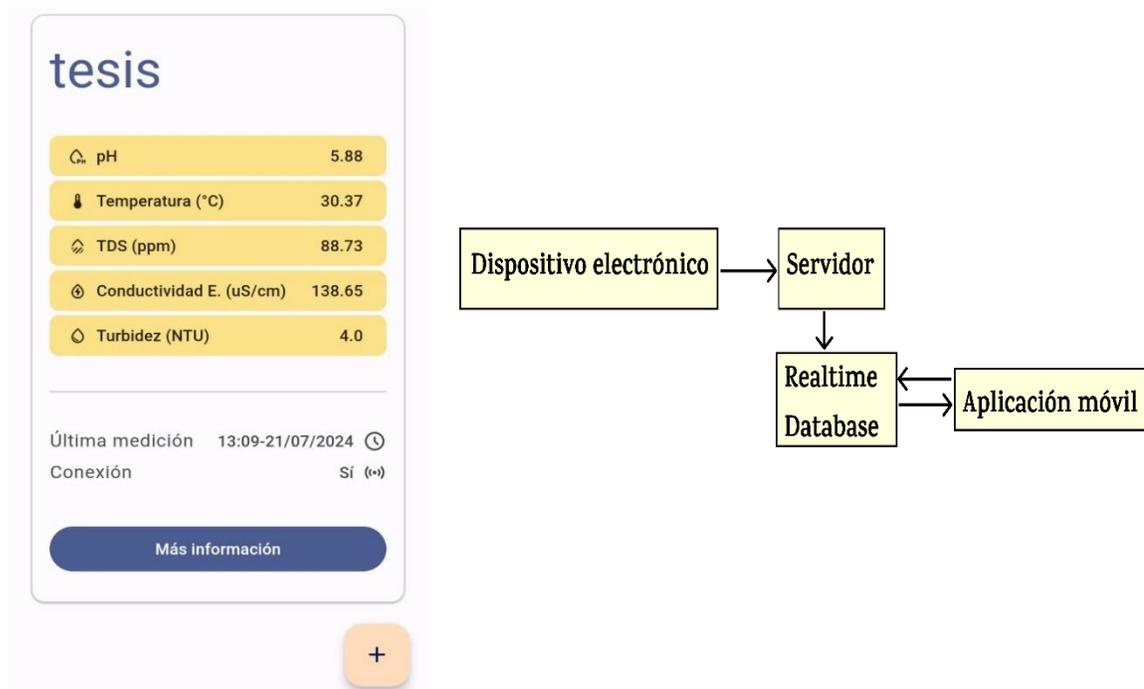


Figura 35: Relación interfaz de usuario y lógica de funcionamiento (Fuente propia)

4.4.7.1.2. Uso del Manual de Usuario. La aplicación consulta el servidor para acceder al PDF almacenado en él. Para una comprensión más clara de esta explicación, consulte la figura 36, que ejemplifica el proceso de manera visual.

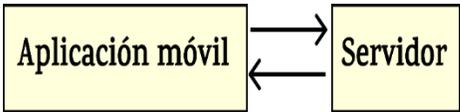
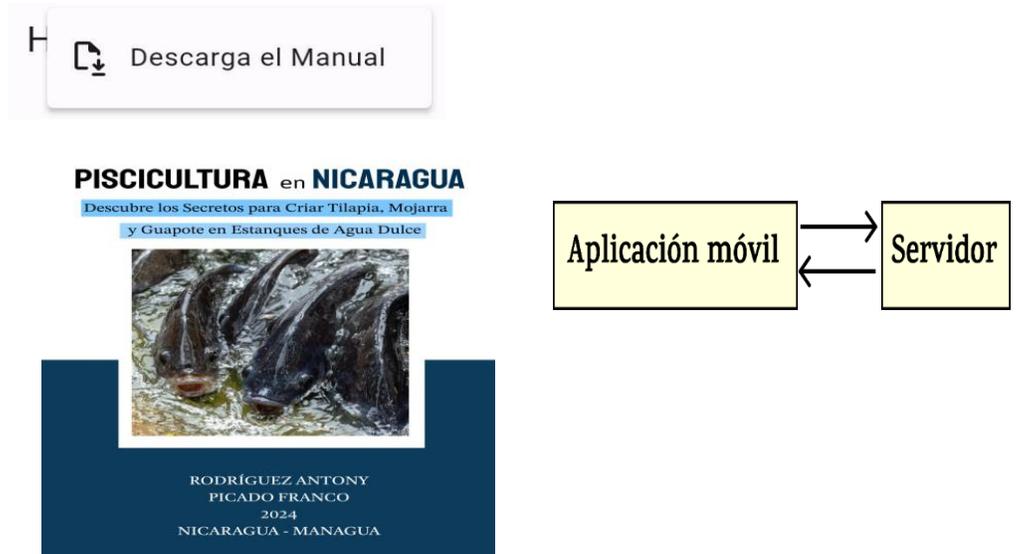


Figura 36: Acceso al manual de usuario desde el servidor (Fuente propia)

4.4.7.1.3. Intervención del usuario. Cuando el usuario realiza una acción, como Apagar el Bluetooth o la alarma, la aplicación envía esta información al Realtime Database, luego, el servidor consulta al Realtime Database en función de las solicitudes del dispositivo electrónico. Por ejemplo, cuando el dispositivo electrónico envía una consulta al servidor, este primero verifica con la Realtime Database, espera la respuesta, y luego la transmite de vuelta al dispositivo electrónico, todo en tiempo real. Para una comprensión más clara de esta explicación, consulte la figura 37, que ejemplifica el proceso de manera visual.

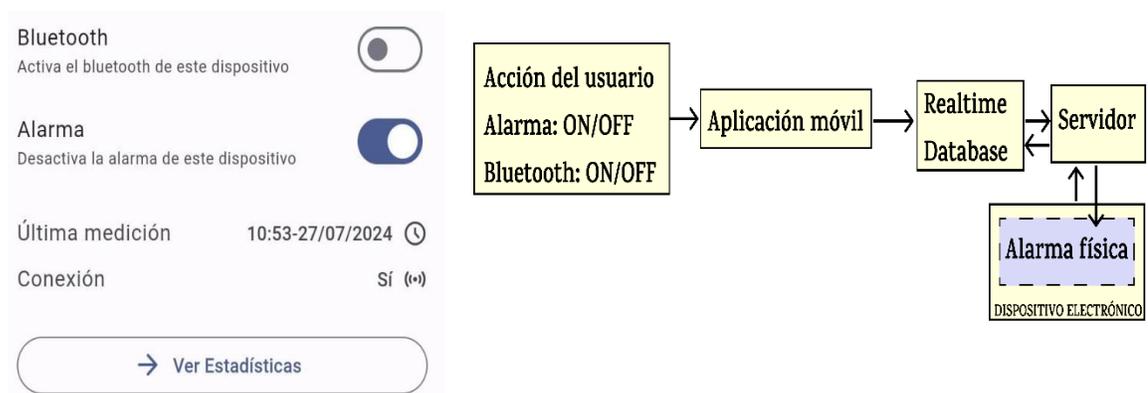


Figura 37: Acceso del usuario en la aplicación (Fuente propia)

4.4.7.1.4. Gráficos Estadísticos. La aplicación consulta la base de datos para generar estadísticas, utilizando fórmulas que fueron integradas durante su desarrollo. Para una comprensión más clara de esta explicación, consulte la figura 38, que ejemplifica el proceso de manera visual.

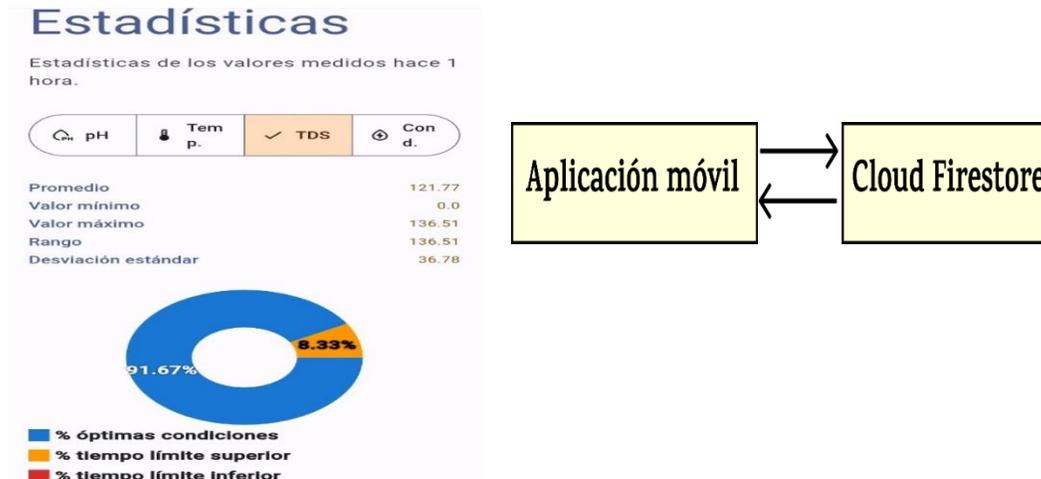


Figura 38: Generación de estadísticas (Fuente propia)

4.4.7.1.5. Descarga de Datos anteriores. La aplicación consulta el servidor, que a su vez consulta la base de datos. La base de datos envía su respuesta al servidor, donde los datos se procesan según el tiempo especificado por la aplicación. Finalmente, el servidor devuelve la información procesada a la aplicación en un archivo CSV. Para una comprensión más clara de esta explicación, consulte la figura 39, que ejemplifica el proceso de manera visual.

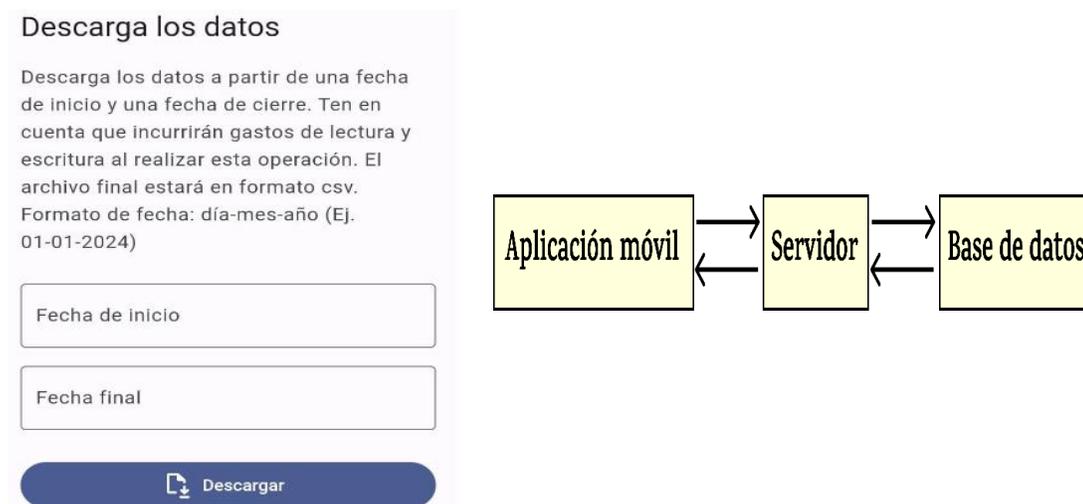


Figura 39: Descarga de datos en la aplicación (Fuente propia)

4.4.7.1.6. Configuración del dispositivo electrónico

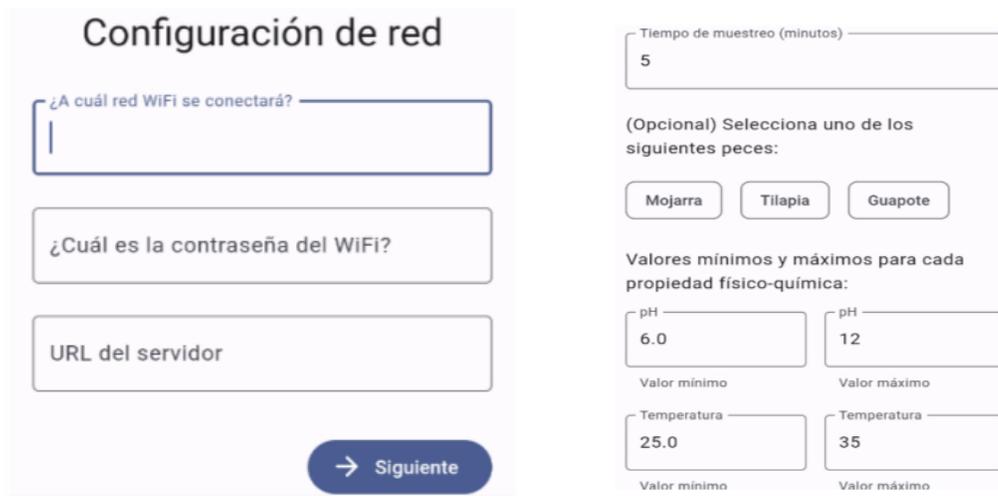


Figura 40: Configuración del dispositivo electrónico (Fuente propia)

4.4.7.2. Alarma/Notificación

4.4.7.2.1. Firebase Cloud Messaging. “Firebase Cloud Messaging (FCM) consta de varios componentes que permiten la creación, transporte y recepción de mensajes. Las herramientas de creación incluyen un compositor de notificaciones con GUI para notificaciones simples y un entorno de servidor confiable para solicitudes complejas usando el SDK de Firebase Admin o el protocolo de servidor FCM. El backend de FCM acepta solicitudes de mensajes, distribuye los mensajes por temas y genera metadatos, como el ID del mensaje. La capa de transporte enruta los mensajes al dispositivo objetivo, aplicando configuraciones específicas de la plataforma. El SDK de FCM en el dispositivo del usuario muestra notificaciones o maneja los mensajes según la lógica de la aplicación” (Google, 2024).

Nuestro sistema hace uso de Firebase Admin SDK para acceder al servicio FCM, este SDK se encuentra en nuestro servidor y también accede a los servicios de base de datos. Cuando existe una variable fuera de su rango permitido, el dispositivo de monitoreo envía, junto a los demás datos, las variables que están fuera de rango en la propiedad “critical_props”; el servidor procesa dicha propiedad y extrae de la base de datos la ID de notificación todos los usuarios registrados; luego el servidor realiza una petición al backend de FCM para que este se encargue de enviar la notificación a todos los usuarios; el dispositivo móvil del usuario recibe la notificación junto al mensaje y por último, si el usuario realiza un clic en la notificación, este lo redirige a la aplicación, si el usuario se

encuentra dentro de la aplicación, esta le notifica mediante un “dialog o popup”. Las llaves o ID de notificación se registran en el momento que el usuario abre por primera vez la aplicación. Esta ID se genera cada vez que el usuario instala o actualiza la aplicación; si el usuario instala o actualiza la aplicación N veces, la base de datos registrará N llaves o identificadores. Los identificadores se encuentran almacenados en la colección llamada “users”. Para una comprensión más clara de esta explicación, consulte la figura 41, que ejemplifica el proceso de manera visual.

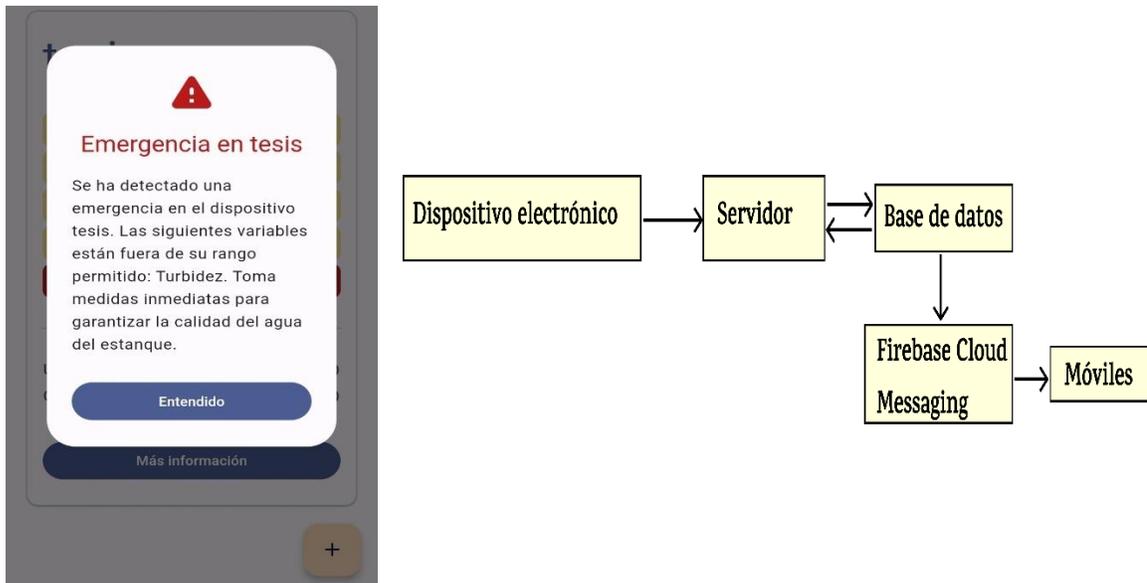


Figura 41: Sistema de alarma (Fuente propia)

4.4.8. Presupuesto del sistema electrónico

4.4.8.1. Dispositivo electrónico. La obtención de los sensores de PH, temperatura y TDS se realizó la compra de forma en línea (aliexpress) debido que estos sensores son limitados hasta no se encuentra disponible de forma nacional, pero los demás elementos se pueden encontrar en tiendas locales de electrónica. A continuación, en Tabla 10, se presenta el listado de componentes que se utilizó para el desarrollo del dispositivo electrónico:

Tabla 10

Presupuesto del dispositivo electrónico

Material	Cantidad	Precio unitario	Total
Sensor TDS	1	C\$ 269	C\$ 269
Sensor PH	1	C\$ 653	C\$ 653
Sensor Turbidez	1	C\$ 920	C\$ 920
Sensor Temperatura	1	C\$ 141	C\$ 141
Resistor 4.7KΩ	1	C\$ 6	C\$ 6
Lector SD	1	C\$ 180	C\$ 180
ESP32	1	C\$ 480	C\$ 480
LED (3 rojo y 1 azul)	4	C\$ 6	C\$ 24
Buzzer activo	1	C\$ 30	C\$ 30
Resistor 330Ω	4	C\$ 6	C\$ 24
Placa electrónica soldar 75mm x 125mm	1	C\$ 70	C\$ 70
Conector plug hembra	1	C\$ 35	C\$ 35
Transformador 5V 2A	1	C\$ 350	C\$ 350
Caja plexo rectangular PVC 155mm x 110mm x 74mm	1	C\$ 374	C\$ 374
Conector Conduit PVC ¾ DURMAN	1	C\$ 8	C\$ 8
Curva PVC ¾	1	C\$ 15	C\$ 15
Pega PVC Durman	1	C\$ 32	C\$ 32
Cable UTP categoría 6	3 metros	1 metro vale C\$ 32	C\$ 96
Cable alarma 22x4	3.5 metros	1 metro vale C\$ 35	C\$ 123
Total			C\$ 3830

Recordemos, que en este presupuesto no se anexó el pago de envío de transporte aéreo proveniente del servicio de Pinolero Box, que se pagó un total de C\$ 592, además, no se involucra accesorios y herramientas externas en este presupuesto, como cortadora, estaño, cautín, pasta para soldar, entre otros.

4.4.8.2. Servicios de Firebase. El costo de uso del servicio Firebase Cloud Messaging, usado para el envío de notificaciones al usuario no tiene ningún costo, en ninguna de sus versiones. Este servicio no supone ningún costo para el usuario.

4.4.8.3. Servicios de Firestore. En cuanto a la base de datos Firestore, esta cuenta con un plan gratuito denominado “Spark” y un plan de pago denominado “Blaze”. En los dos planes existe un límite en la cual Firebase no cobra absolutamente nada; si el usuario elige el plan “Spark” y llega a su límite, Firebase automáticamente bloque todas las operaciones hasta que se restablezcan nuevamente, que podría ser en un día o en un mes, dependiendo de las operaciones que se hayan realizado. Si el usuario elige el plan Blaze, debe de ingresar un método de pago soportado por Google, como una cuenta bancaria o tarjeta de crédito, similar al plan “Spark” existe un límite en la cual Firebase no cobra absolutamente nada, pero se a diferencia del plan gratuito, si se supera este límite, Firebase comienza a facturar en base al uso que haga el sistema y no bloquea el límite, por lo cual el sistema permanece en funcionamiento.

Los límites gratuitos para la base de datos de Firestore, tanto por el plan “Spark” y el plan “Blaze” son los siguientes (cloud, 2022):

Tabla 11

Presupuesto Firestore

Nivel Gratuito	Cuota Gratuito	Cuota/precio luego del límite gratuito
Datos almacenados	1 GiB	\$0.135 GiB/Mes
Operaciones de lectura de documentos	50.000 al día	\$0.045 por cada 100,000 documentos
Operaciones de escritura de documentos	20.000 al día	\$0.135 por cada 100,000 documentos
Operaciones de eliminación de documentos	20.000 al día	\$0.015 por cada 100,000 documentos
Transferencia de datos salientes	10 GiB al mes	\$0.19: 10 GB-1 TB \$0.18: 1-10 TB \$0.15: 10+ TB

Estos precios son en base a la ubicación geográfica de la base de datos que se selecciona al crear un nuevo proyecto de firebase. Nuestro proyecto hace uso de la ubicación: São Paulo (southamerica-east1).

Las operaciones de lectura se realizan cuando existe algún tipo de consulta hecha por alguna de las partes del sistema. En nuestro proyecto se realiza cada vez que el usuario

ingresa a la aplicación, cada vez que observa las estadísticas, el servidor cada vez que se pide descargar los datos en un rango de fecha determinada (cada fila/registro cuenta como lectura).

Las operaciones de escritura se realizan cuando se guardan o actualizan los datos. En nuestro sistema se hace cuando el usuario crea o actualiza un nuevo dispositivo, cuando el dispositivo de monitoreo registra los datos, al ingresar en la aplicación, cuando se guardan las llaves o ID de notificación.

Las operaciones de eliminación son cuando se realiza la eliminación de un documento en la base de datos. Nuestro sistema realiza esta acción cuando se elimina un dispositivo, cada registro eliminado cuenta como una operación de eliminación.

La transferencia de datos saliente es cuando se exportan datos fuera de Estados Unidos. En nuestro proyecto solo se realiza cuando el usuario ingresa a la aplicación y ve todos los dispositivos de monitoreo y vista de las estadísticas, ya que se realiza una consulta directa que no pasa por el servidor (Servidor alojado en estados unidos).

Durante el tiempo de monitoreo, durante todo el mes de julio, incluyendo los datos obtenidos por los fallos del sistema, así como las pruebas realizadas, se obtuvo los siguientes consumos de base de datos:

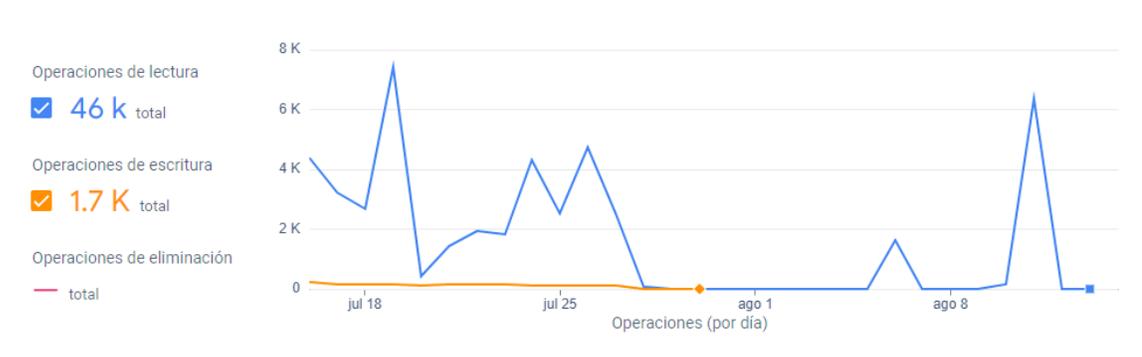


Figura 42: Consumo de base de datos del sistema electrónico (Fuente propia)

Firestore no muestra la cantidad de espacio que actualmente tiene la base de datos. Basados en la cantidad de datos por día que se guardan en la base de datos, se estima que el proyecto usó solamente 2 Megabytes de datos en toda la base de datos.

4.4.8.4. Base de Datos en Tiempo Real. El precio es calculado en base a la a la cantidad de datos almacenados al mes y la cantidad de datos descargados por los usuarios por mes. Tanto en la versión “Spark” como en la versión “Blaze” el límite gratuito es de 1GiB de datos almacenados por mes y hasta 10GiB de datos descargados por mes. Luego de ese límite, se cobra \$5.00 por GiB almacenado y \$1.00 por GiB descargado. Uso realizado en la base de datos en tiempo real:

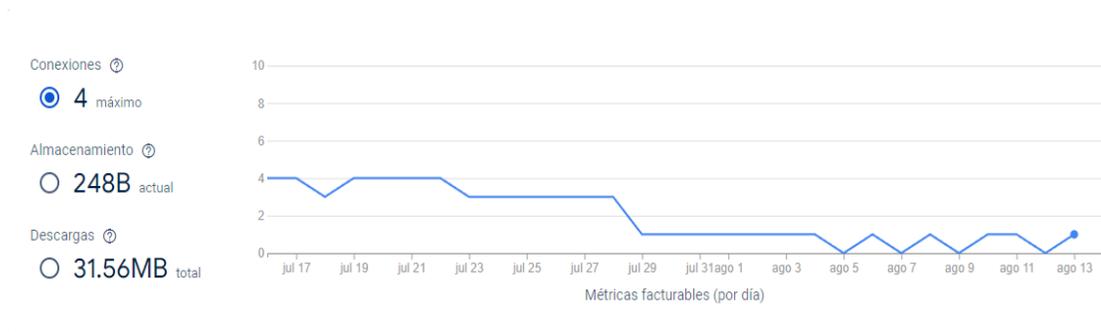


Figura 43: Consumo de base de datos en tiempo real (Fuente propia)

4.4.8.5. Servidor. Depende de la empresa de host que se seleccione, en nuestro proyecto hace uso de la plataforma Render (RENDER, 2024). Esta plataforma permite un ancho de banda de hasta 100GiB mensualmente en su plan individual, la cual no cuesta absolutamente nada. El inconveniente es que el servidor no permanece corriendo constantemente, sino que se activa cuando se realiza una petición, luego de 1 minuto se vuelve a apagar; y existen varias características que no están disponibles para la versión individual/gratuita. La forma de desplegar el servidor es fácil, solo basta con subir el proyecto a un repositorio GitHub y enlazarlo con la plataforma de Render, automáticamente se construye el servidor en la nube y se pone en pie. Nuestro proyecto no llegó a hacer uso total de las capacidades de la plataforma, por lo cual no hubo costo económico.

4.4.9. Instalación del Dispositivo Electrónico en el estanque de Piscicultura en la Ciudad de León

El día 4 de julio de 2024 se realizó la visita al piscicultor José Martínez con el propósito de instalar el dispositivo electrónico en el estanque seleccionado, el piscicultor nos indicó la ubicación del dispositivo electrónico, donde al finalizar la instalación, realizamos pruebas por 1 hora para observar la funcionalidad del dispositivo electrónico, luego de dicho proceso, se instaló la aplicación al piscicultor y se procedió a explicar el

funcionamiento del dispositivo, la aplicación móvil y el mantenimiento de limpieza que debería de realizar 1 vez por día las sondas de los sensores que permiten obtener los parámetros de calidad del agua. Al observar la figura 44, se observa la instalación final del dispositivo electrónico, que fue implementada en el estanque del piscicultor José Martínez con el propósito de realizar pruebas de funcionamiento.



Figura 44: *Instalación del dispositivo electrónico (Fuente propia)*

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El dispositivo electrónico se instaló el día 4 de Julio de 2024 y su finalización de medición es el día 26 de Julio de 2024, en ese rango de medición el dispositivo cumple la función de monitoreo, alarma de notificación al usuario, muestras de gráficos estadísticos y descarga de los datos de mediciones anteriores. Se observaron problemas en la medición del PH, por lo que se le notificó al piscicultor de realizar una visita para resolver el problema, él nos informó que tenía ocupaciones mayores por lo que nos atendió el día 15 de Julio de 2024, a partir de esa fecha, todo estaba correcto en la medición, por lo que en este análisis de resultados, se mostrarán las mediciones del 15 de julio de 2024 hasta el 26 de julio de 2024, teniendo un total de 12 días de análisis con un tiempo de muestreo de 10 minutos. Para confirmar, observar la figura 45, que demuestra que el dispositivo electrónico realizaba correctamente el monitoreo a partir del 4 de julio, sin embargo, no se analizarán los datos por no tener exactitud.

D	E	F	G	H	I	J
Conductividad Electrica	Conexion	pH	Total de Solidos Disueltos	Temperatura	Turbidez	Fecha
51.97	true	7.02	81.21	27.75	4	10:00 - 04/07/2024
100.66	true	6.11	157.29	27.75	4	10:01 - 04/07/2024
94.77	true	6.44	148.07	27.81	4	10:02 - 04/07/2024
100.09	true	5.46	156.4	27.87	4	10:03 - 04/07/2024
100.9	true	5.67	157.66	27.81	4	10:05 - 04/07/2024
102.36	true	6.22	159.94	27.87	4	10:06 - 04/07/2024
78.13	true	5.89	122.08	27.87	4	10:08 - 04/07/2024
51.16	true	7.74	79.94	27.81	4	10:09 - 04/07/2024
47.76	true	8.14	74.62	27.81	4	10:10 - 04/07/2024
71.99	true	7.77	112.48	27.87	4	10:11 - 04/07/2024
102.71	true	5.29	160.48	27.87	4	10:18 - 04/07/2024
109.82	true	6.64	171.6	27.87	4	10:19 - 04/07/2024
110.51	true	6.7	172.68	27.87	4	10:20 - 04/07/2024
78.05	true	7.36	121.95	27.94	4	10:21 - 04/07/2024
100.97	true	6.42	157.76	27.87	4	10:22 - 04/07/2024
82.88	true	7.09	129.5	27.94	4	10:23 - 04/07/2024
62.77	true	8.95	98.08	27.94	4	10:24 - 04/07/2024
81.18	true	8.79	126.85	27.87	4	10:26 - 04/07/2024
76.51	true	8.07	119.55	27.87	4	10:27 - 04/07/2024
102.08	true	7.49	159.49	27.94	4	10:28 - 04/07/2024
75.35	true	7.3	117.73	27.94	4	10:29 - 04/07/2024
59.07	true	7.93	92.3	27.94	4	10:30 - 04/07/2024
95.96	true	7.2	149.94	27.94	4	10:31 - 04/07/2024
110.15	true	6.81	172.11	28.06	4	10:32 - 04/07/2024
110.67	true	6.85	172.92	28.06	4	10:34 - 04/07/2024

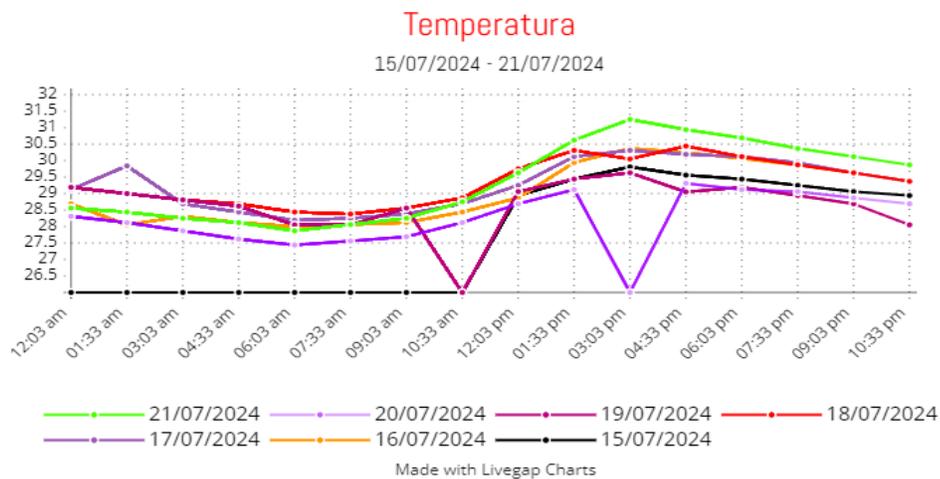
Figura 45: Evidencia que el monitoreo inicia a partir del 4 de Julio de 2024 (Fuente propia)

En las configuraciones del dispositivo electrónico, se implementó un tiempo de muestreo de 10 minutos, en este análisis, mencionaremos los datos obtenidos del 15 de Julio de 2024 hasta el 26 de Julio de 2024, teniendo un total de 12 días y 1655 muestras por

parámetros de calidad del agua, sin embargo, para analizar todo este periodo, se realizarán gráficos tomando un tiempo de muestreo cada hora y media, para abarcar todo el rango de medición.

5.1. 15 de Julio de 2024 hasta el 21 de Julio de 2024

5.1.1. Temperatura (°C)



	12:03 am	01:33 am	03:03 am	04:33 am	06:03 am	07:33 am	09:03 am	10:33 am	12:03 pm	01:33 pm	03:03 pm	04:33 pm	06:03 pm	07:33 pm	09:03 pm	10:33 pm
15/07/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	28.94	29.44	29.81	29.56	29.44	29.25	29.06	28.94
16/07/2024	28.69	28.05	28.31	28.12	28.0	28.06	28.12	28.44	28.87	29.94	30.37	30.25	30.06	29.87	29.63	29.37
17/07/2024	29.12	29.84	28.69	28.44	28.19	28.25	28.38	28.69	29.25	30.12	30.31	30.19	30.12	29.94	29.63	29.37
18/07/2024	29.19	29.0	28.81	28.69	28.44	28.38	28.56	28.87	29.75	30.31	30.05	30.44	30.12	29.87	29.63	29.37
19/07/2024	29.19	29.0	28.81	28.62	28.05	28.05	28.56	0	29.06	29.44	29.63	29.05	29.19	28.94	28.69	28.05
20/07/2024	28.31	28.12	27.87	27.62	27.44	27.56	27.69	28.12	28.69	29.12	0	29.31	29.12	29.06	28.87	28.69
21/07/2024	28.56	28.44	28.25	28.12	27.87	28.06	28.25	28.75	29.63	30.62	31.25	30.94	30.69	30.37	30.12	29.87

Figura 46: Análisis Temperatura 15/07/2024 - 21/07/2024 (Fuente propia)

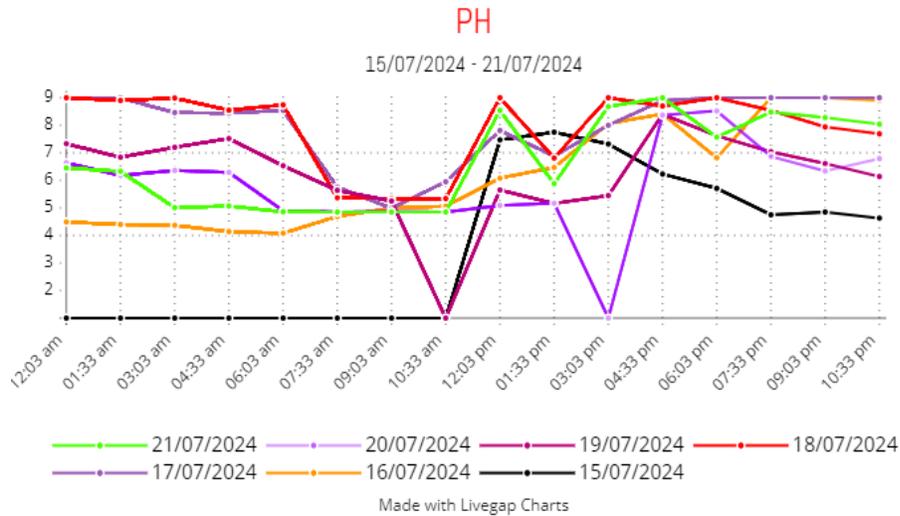
El día 15 de julio del 2024 se realizó la visita al piscicultor, donde se comprobó cada parámetro de calidad del agua que realice su buen funcionamiento, el monitoreo empieza a las 12:03 pm, que es donde se finaliza todas las comprobaciones de los parámetros. Se observa que se registraron valores de temperatura entre 27°C y 31°C, donde estos valores se encuentran dentro del rango óptimo que se analizaron en la Tilapia, Guapote y Mojarra concluyendo que se mantuvo condiciones favorables para el desarrollo de estas especies, además, la precisión del sensor fue válida a través de mediciones comparativas realizadas con un termómetro tradicional, mostrando que el sensor DS18B20 es el adecuado para este uso. Es importante destacar que a partir de las 12 del mediodía, se observó incremento en la temperatura del agua, alcanzando el pico máximo de 31°C, este

fenómeno se atribuye a la exposición directa del estanque a la radiación solar, debido que el estanque se ubica al aire libre. En la figura 47 se realizó pruebas de comparación utilizando un termómetro digital donde se comprueba que las mediciones eran las misma del sensor DS18B20.



Figura 47: Comprobación utilizando un termómetro (Fuente propia)

5.1.2. PH



	12:03 am	01:33 am	03:03 am	04:33 am	06:03 am	07:33 am	09:03 am	10:33 am	12:03 pm	01:33 pm	03:03 pm	04:33 pm	06:03 pm	07:33 pm	09:03 pm	10:33 pm
15/07/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	7.47	7.75	7.32	6.23	5.71	4.75	4.85	4.63
16/07/2024	4.49	4.4	4.37	4.14	4.08	4.69	5.0	5.06	6.08	6.47	8.06	8.41	6.82	9.0	9.0	8.9
17/07/2024	9.0	9.05	8.46	8.44	8.54	5.76	4.99	5.95	7.81	6.89	8.0	8.9	9.0	9.82	9.0	9.08
18/07/2024	9.71	8.9	8.99	8.55	8.74	5.37	5.34	5.34	9.38	6.81	9.0	8.7	9.0	8.54	7.94	7.69
19/07/2024	7.33	6.84	7.2	7.52	6.53	5.64	5.25	0	5.65	5.16	5.45	8.4	7.62	7.04	6.61	6.14
20/07/2024	6.64	6.18	6.36	6.29	4.9	4.85	4.86	4.85	5.09	5.17	0	8.37	8.52	6.87	6.34	6.79
21/07/2024	6.45	6.33	5.01	5.07	4.86	4.85	4.85	4.85	8.54	5.88	8.68	9.0	7.57	8.48	8.28	8.04

Figura 48: Análisis PH 15/07/2024 - 21/07/2024 (Fuente propia)

A lo largo de este periodo, se observaron variaciones en el PH, el dispositivo electrónico detectó en varias ocasiones, que los valores se desviaron con respecto a su rango de valor óptimo, se registraron niveles de PH de 5 y 9, indicando que el ambiente del estanque experimentó cambios que no favorecen la salud óptima de los peces a largo plazo. A pesar de estas variaciones, el sensor PH demostró una alta precisión y confiabilidad, donde se comprueba que se ha realizado una excelente calibración para un buen funcionamiento de este sensor. En momentos en que el PH estaba fuera del rango óptimo, el piscicultor colaboró activamente en la verificación de los datos utilizando un papel PH (Observar figura 49), este proceso de interactividad permitió confirmar que los valores proporcionados por el sensor eran válidos, recordemos, que se identificó que el sensor PH presentaba problema de diseño de fábrica, pero estos resultados obtenidos evidencia que este sensor PH cumplió con la confiabilidad de su funcionamiento.

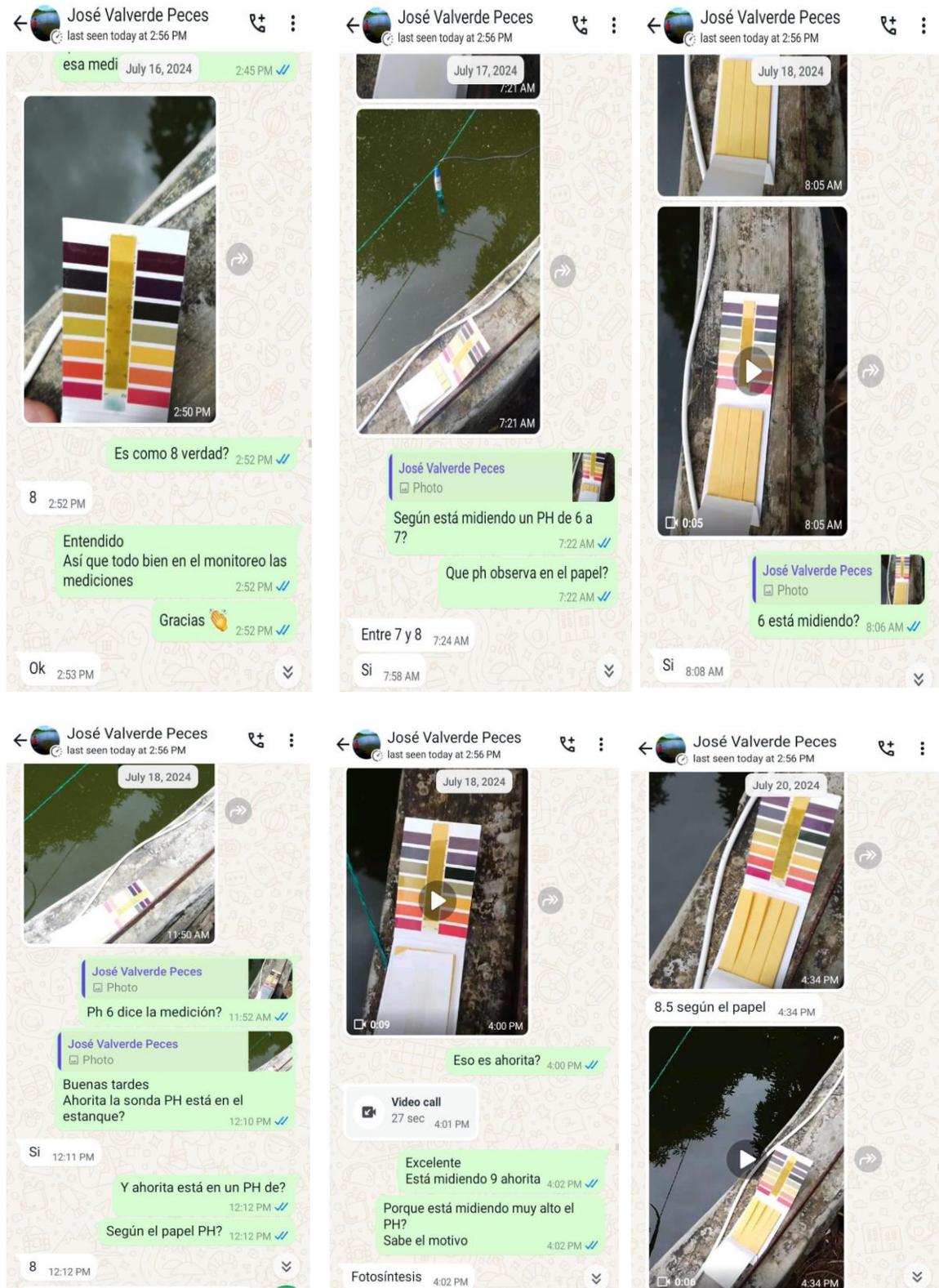


Figura 49: Evidencia interactividad con el Piscicultor con respecto al PH (Fuente propia)

El dispositivo activó alarmas de notificación cuando los niveles de PH u otros valores se encontraban fuera del rango óptimo (Observar figura 50), esta funcionalidad era crucial para alertar al usuario sobre los cambios fuera de los valores óptimos establecidos, concluyendo que el diseño de alarma de notificación cumplió con la herramienta que necesita el piscicultor consultado en la entrevista.

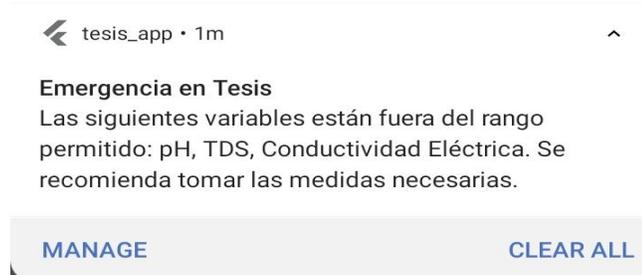
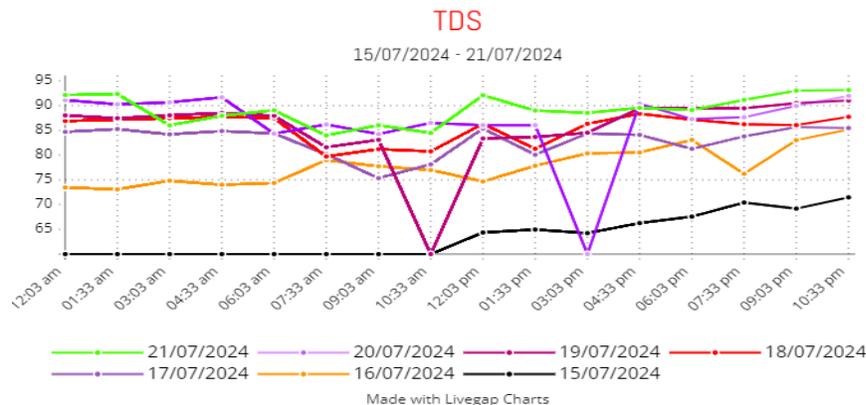


Figura 50: Funcionamiento de la notificación (Fuente propia)

Al consultar con el piscicultor estos cambios bruscos de PH, nos informó que es por la presencia de organismos acuáticos como algas y zooplancton, cuya fotosíntesis afecta al equilibrio ácido-base del agua, donde estos cambios fueron capturados con precisión por el sensor, evidenciando su capacidad para monitorear cambios en tiempo real.

5.1.3. TDS (ppm)

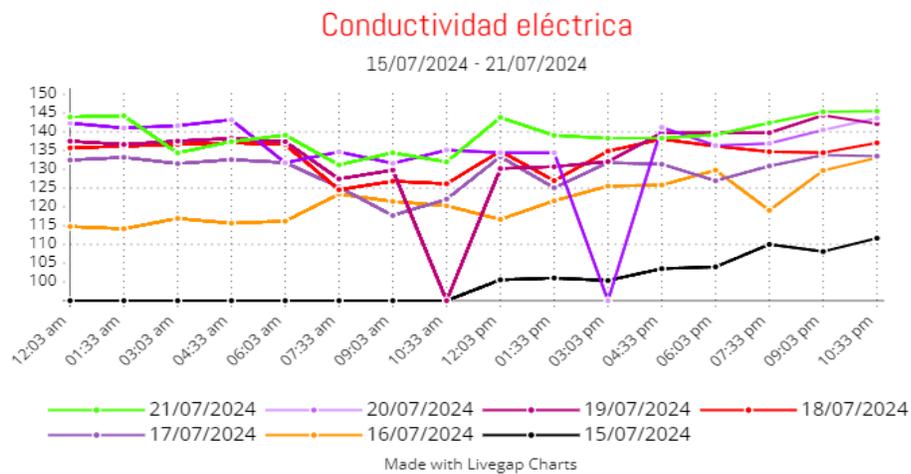


	12:03 am	01:33 am	03:03 am	04:33 am	06:03 am	07:33 am	09:03 am	10:33 am	12:03 pm	01:33 pm	03:03 pm	04:33 pm	06:03 pm	07:33 pm	09:03 pm	10:33 pm
15/07/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	64.36	64.96	64.24	66.27	67.57	70.41	69.19	71.46
16/07/2024	73.46	73.07	74.83	74.02	74.37	78.99	77.73	77.0	74.67	77.84	80.35	80.53	83.06	76.22	83.01	85.17
17/07/2024	84.69	85.26	84.19	84.86	84.36	80.19	75.33	78.12	85.36	80.07	84.36	84.08	81.26	83.78	85.65	85.46
18/07/2024	86.88	87.16	87.45	87.74	87.46	79.72	81.19	80.75	86.32	81.28	86.32	88.36	87.16	86.22	86.05	87.73
19/07/2024	88.02	87.45	88.03	88.51	87.94	81.58	83.08	0	83.35	83.66	84.52	89.43	89.44	89.45	90.51	91.01
20/07/2024	91.11	90.26	90.66	91.66	84.33	86.19	84.24	86.49	86.05	86.04	0	90.38	87.26	87.64	89.93	91.94
21/07/2024	92.14	92.35	86.01	87.94	89.04	83.97	86.03	84.48	92.07	89.0	88.52	89.54	89.09	91.14	93.02	93.14

Figura 51: Análisis TDS 15/07/2024 - 21/07/2024 (Fuente propia)

En la figura 51 se observa que los resultados obtenidos reflejaron que los niveles de TDS en el estanque eran notablemente bajos en comparación con los valores óptimos para el agua de consumo humano. El piscicultor indicó que estos niveles de TDS se deben en parte a la presencia de algas en el estanque, según su experiencia, estos niveles bajos de TDS son aceptables, debido en la crianza a un pez de otra especie que estaba en el estanque que se llama “Dormitator latifrons”, sin embargo, afirma que es recomendable mantenerlo un poco más elevado.

5.1.4. Conductividad eléctrica (µS/cm)



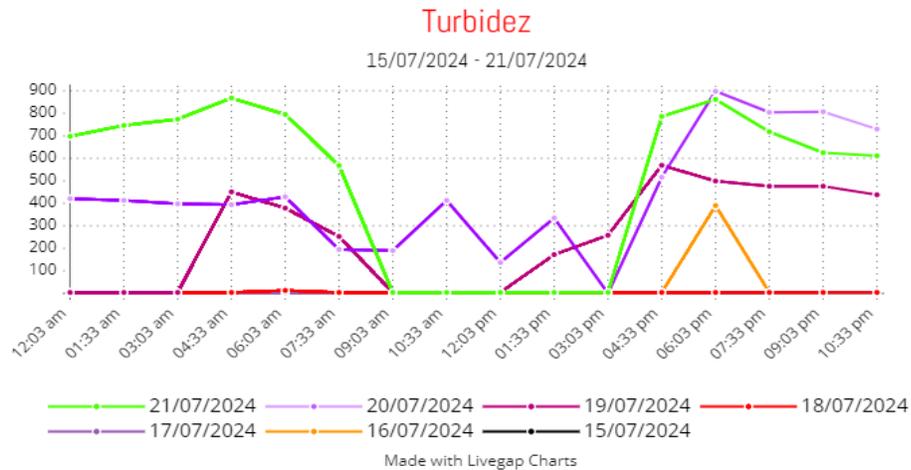
	12:03 am	01:33 am	03:03 am	04:33 am	06:03 am	07:33 am	09:03 am	10:33 am	12:03 pm	01:33 pm	03:03 pm	04:33 pm	06:03 pm	07:33 pm	09:03 pm	10:33 pm
15/07/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	100.56	101.05	100.37	103.54	104.01	110.01	108.10	111.65
16/07/2024	114.78	114.17	116.92	115.65	116.20	123.42	121.45	120.31	116.67	121.62	125.54	125.82	129.78	119.09	129.70	133.07
17/07/2024	132.48	133.21	131.54	132.59	131.81	125.29	117.70	122.06	133.37	125.10	131.81	131.37	126.96	130.90	133.82	133.53
18/07/2024	135.75	136.18	136.64	137.09	136.65	124.56	126.85	126.17	134.87	127	134.87	138.06	136.18	134.71	134.45	137.07
19/07/2024	137.53	136.64	137.54	138.29	137.40	127.46	129.81	0	130.23	130.71	132.06	139.73	139.75	139.76	144.42	142.20
20/07/2024	142.35	141.03	141.65	143.21	131.76	134.67	131.62	135.14	134.45	134.43	0	141.21	136.34	136.93	140.51	143.65
21/07/2024	143.96	144.29	134.39	137.40	139.12	131.20	134.42	132	143.85	139.06	138.31	138.34	139.20	142.40	145.34	145.53

Figura 52: *Análisis Conductividad eléctrica 15/07/2024 - 21/07/2024* (Fuente propia)

Este parámetro de calidad del agua no era considerado por el piscicultor por la entrevista realizada, la decisión de incorporar la conductividad eléctrica se basó en la investigación que revela su utilidad para evaluar la dureza del agua. Los resultados obtenidos (ver figura 52) mostraron que el agua del estanque tiene una baja conductividad eléctrica, indicando que el agua es considerada como “dureza blanda” que se caracteriza por baja concentración de minerales como calcio y magnesio. La validación de esta característica se realizó a través de la relación de TDS y conductividad eléctrica, donde las investigaciones previas comprueban que hay una relación entre estos dos parámetros,

este parámetro no era considerado por el piscicultor, pero se puede considerar importante para tener una mayor respuesta de la calidad del agua.

5.1.5. Turbidez (NTU)



	12:03 am	01:33 am	03:03 am	04:33 am	06:03 am	07:33 am	09:03 am	10:33 am	12:03 pm	01:33 pm	03:03 pm	04:33 pm	06:03 pm	07:33 pm	09:03 pm	10:33 pm
15/07/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4
16/07/2024	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	390	4	4	4
17/07/2024	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
18/07/2024	4	4	4	4	13	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
19/07/2024	4	4	4	451	379	253	4	0	4	172	258	569	499	476	476	438
20/07/2024	421	413	398	394	429	195	190	413	137	335	0	516	898	804	807	730
21/07/2024	698	746	774	868	795	568	4	4	4	4	4	786	862	718	625	611

Figura 53: Análisis Turbidez 15/07/2024 - 21/07/2024 (Fuente propia)

La turbidez, que mide la claridad del agua y su capacidad para transmitir luz, se considera que en aguas turbias afecta la calidad de vida de los peces, en estos resultados obtenidos que se observa en la figura 53, mostraron que los niveles de turbidez se mantuvieron dentro de los valores óptimos, donde la mayor parte del agua se clasificó transparente, indicando una buena calidad del agua en términos de turbidez. Sin embargo, se observó que el agua presentaba un color verde a simple vista (Observar figura 54), el piscicultor nos informó que este color verde del agua se debe a la proliferación de algas en el estanque, que donde mueren, los residuos de algas se depositan en el fondo del estanque, reflejando que el agua tenga un color verdoso. Aunque la apariencia del agua puede ser alterada por la presencia de algas, la claridad del agua no se ve comprometida en términos de medición de turbidez.

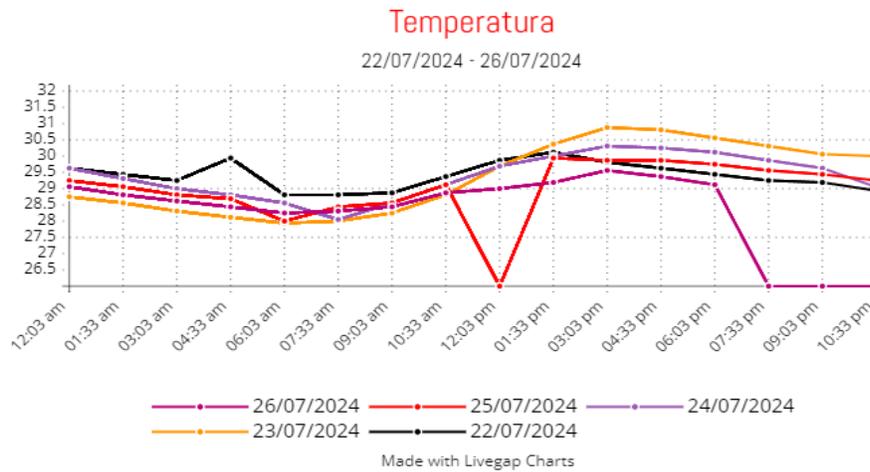


Figura 54: Agua transparente en el estanque (Fuente propia)

Ahora, se mostrará los parámetros obtenidos del 22 de julio hasta el 26 de julio de 2024, donde se observará que se obtiene el mismo patrón reflejado en las fechas anteriores, ver las figuras 55, 56, 57, 58 y 59.

5.2. 22 de Julio de 2024 hasta el 26 de Julio de 2024

5.2.1. Temperatura (°C)

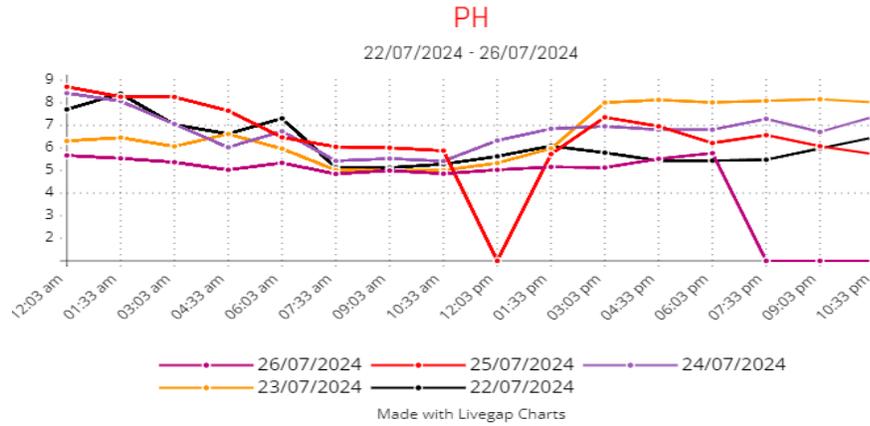


	12:03 am	01:33 am	03:03 am	04:33 am	06:03 am	07:33 am	09:03 am	10:33 am	12:03 pm	01:33 pm	03:03 pm	04:33 pm	06:03 pm	07:33 pm	09:03 pm	10:33 pm
22/07/2024	29.63	29.44	29.25	29.94	28.81	28.81	28.87	29.37	29.87	30.12	29.81	29.63	29.44	29.25	29.19	28.94
23/07/2024	28.75	28.56	28.31	28.12	27.94	28.0	28.25	28.81	29.69	30.37	30.88	30.81	30.56	30.31	30.06	30.0
24/07/2024	29.63	29.31	29.0	28.81	28.56	28.05	28.56	29.12	29.69	30.0	30.31	30.25	30.12	29.87	29.63	29.05
25/07/2024	29.25	29.06	28.81	28.69	28.0	28.44	28.56	29.12	0	29.94	29.87	29.87	29.75	29.56	29.44	29.25
26/07/2024	29.06	28.81	28.62	28.44	28.25	28.31	28.44	28.87	29.0	29.19	29.56	29.37	29.12	0	0	0

Figura 55: Análisis Temperatura 22/07/2024 - 26/07/2024 (Fuente propia)



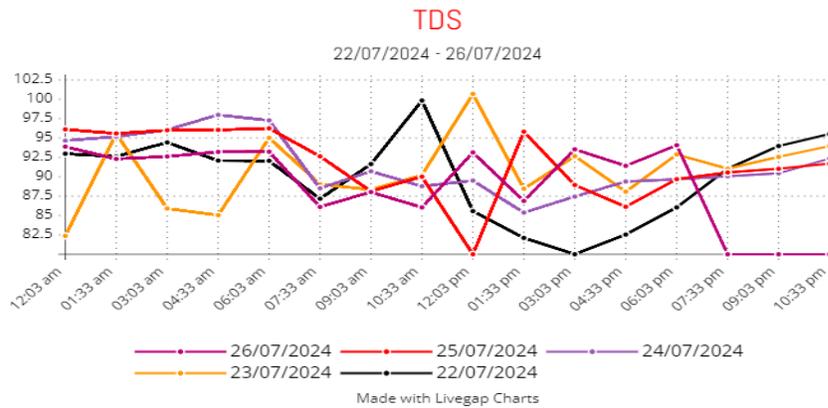
5.2.2. PH



	12:03 am	01:33 am	03:03 am	04:33 am	06:03 am	07:33 am	09:03 am	10:33 am	12:03 pm	01:33 pm	03:03 pm	04:33 pm	06:03 pm	07:33 pm	09:03 pm	10:33 pm
22/07/2024	7.71	8.41	7.03	6.63	7.31	5.14	5.13	5.28	5.63	6.09	5.79	5.44	5.44	5.48	5.98	6.47
23/07/2024	6.31	6.46	6.07	6.62	5.97	5.02	5.0	5.01	5.33	5.98	8.01	8.13	8.02	8.09	8.16	8.02
24/07/2024	8.43	8.08	7.06	6.03	6.74	5.43	5.53	5.42	6.33	6.85	6.96	6.81	6.81	7.29	6.71	7.39
25/07/2024	8.71	8.27	8.26	7.65	6.47	6.05	6.01	5.88	0	5.73	7.36	6.96	6.22	6.57	6.08	5.72
26/07/2024	5.67	5.54	5.37	5.03	5.34	4.85	5.0	4.86	5.03	5.16	5.13	5.52	5.77	0	0	0

Figura 56: Análisis PH 22/07/2024 - 26/07/2024 (Fuente propia)

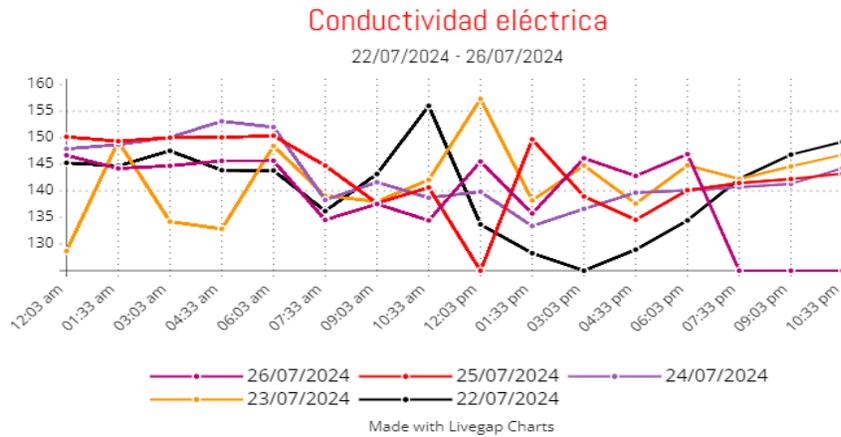
5.2.3. TDS (ppm)



	12:03 am	01:33 am	03:03 am	04:33 am	06:03 am	07:33 am	09:03 am	10:33 am	12:03 pm	01:33 pm	03:03 pm	04:33 pm	06:03 pm	07:33 pm	09:03 pm	10:33 pm
22/07/2024	92.98	92.62	94.43	92.09	92.06	87.17	91.64	99.84	85.57	82.11	76.59	82.54	86.05	91.04	93.97	95.51
23/07/2024	82.37	95.57	85.91	85.04	95.02	89.03	88.33	90.23	100.69	88.46	92.66	88.08	92.88	91.05	92.56	93.97
24/07/2024	94.66	95.17	96.05	97.99	97.28	88.51	90.71	88.78	89.51	85.38	87.44	89.39	89.67	90.06	90.45	92.34
25/07/2024	96.12	95.59	96.01	96.05	96.25	92.64	88.13	90.01	0	95.82	88.94	86.13	89.69	90.55	91.03	91.69
26/07/2024	93.89	92.31	92.62	93.21	93.23	86.11	88.03	86.05	93.14	86.88	93.54	91.41	94.07	0	0	0

Figura 57: Análisis TDS 22/07/2024 - 26/07/2024 (Fuente propia)

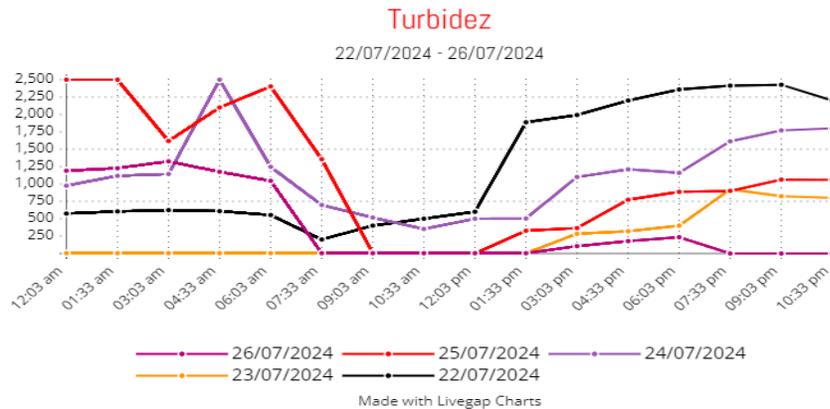
5.2.4. Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)



	12:03 am	01:33 am	03:03 am	04:33 am	06:03 am	07:33 am	09:03 am	10:33 am	12:03 pm	01:33 pm	03:03 pm	04:33 pm	06:03 pm	07:33 pm	09:03 pm	10:33 pm
22/07/2024	145.28	144.71	147.54	143.89	143.84	136.20	143.18	156	133.70	128.29	119.67	128.96	134.45	142.25	146.82	149.23
23/07/2024	128.70	149.32	134.23	132.87	148.46	139.10	138.01	142.07	157.32	138.21	144.78	137.62	144.81	142.26	144.62	146.82
24/07/2024	147.90	148.70	150.07	153.10	152	138.29	141.63	138.71	139.85	133.40	136.62	139.67	140.10	140.71	141.32	144.28
25/07/2024	150.18	149.35	150.01	150.07	150.39	144.75	137.70	140.64	0	149.71	138.96	134.57	140.14	141.48	142.23	143.26
26/07/2024	146.70	144.23	144.71	145.64	145.67	134.54	137.54	134.45	145.53	135.75	146.15	142.82	146.91	0	0	0

Figura 58: Análisis Conductividad eléctrica 22/07/2024 - 26/07/2024 (Fuente propia)

5.2.5. Turbidez (NTU)



	12:03 am	01:33 am	03:03 am	04:33 am	06:03 am	07:33 am	09:03 am	10:33 am	12:03 pm	01:33 pm	03:03 pm	04:33 pm	06:03 pm	07:33 pm	09:03 pm	10:33 pm
22/07/2024	574	605	624	609	553	201	400	500	600	1887	1992	2200	2359	2414	2427	2200
23/07/2024	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	284	320	400	922	824	800
24/07/2024	975	1117	1143	2662	1246	697	517	353	500	503	1100	1209	1160	1613	1770	1800
25/07/2024	2759	2770	1618	2100	2403	1356	7	4	0	327	365	773	886	900	1062	1060
26/07/2024	1190	1226	1325	1175	1045	4	4	4	4	4	105	178	234	0	0	0

Figura 59: Análisis Turbidez 22/07/2024 - 26/07/2024 (Fuente propia)

5.3. Factores Externos

Se presentaron factores externos que afectaron el monitoreo, incluyendo cortes de energía eléctrica el 25 de julio a las 12:03 pm y el 19 de julio a las 10:33 am, así como fallos de desconexión a internet el 20 de julio a las 3:03 pm y el 26 de julio a partir de las 7:33 pm. Posteriormente al análisis, se realizó una visita al piscicultor para inspeccionar el estado del dispositivo electrónico, durante esa visita, se verificó que el dispositivo se encontraba en buenas condiciones, a pesar de las lluvias ocurridas en esos días, comprobando que el uso de la caja PVC había protegido adecuadamente el equipo. Además, el lector SD había registrado los datos durante los periodos de desconexión a internet, confirmando la eficacia del sistema de almacenamiento de respaldo, ver figura 60 y figura 61.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
9ad2ea8c-5b9f-4d00-a09d-5c479600b94b	Tesis2024	Uni2025.tes#12	https://thesis-backend-5005.o	1	0	6	9	25	32	100	300	67	201

Figura 60: Datos de configuración almacenados (Fuente propia)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Alarma Habilitada	Nivel de Batería	Bluetooth Habilitado	Conductividad	Conexión	pH	Total de Soluciones	Temperatura	Turbidez	Fecha
2	false	0	false	137.23	false	7.03	87.82	29.13	200	20/07/2024 - 15:13
3	false	0	false	137.89	false	7.89	88.24	29.78	210	20/07/2024 - 15:23
4	false	0	false	140.03	false	6.99	89.61	29.5	340	20/07/2024 - 15:33
5	false	0	false	136.89	false	6.06	87.6	29.05	200	20/07/2024 - 15:43
6	true	0	false	137.9	false	5.16	88.25	29.4	250	20/07/2024 - 15:53
7	false	0	false	138.23	false	6.87	88.46	29.13	200	20/07/2024 - 16:05
8	true	0	false	138.76	false	7	88.8	29.6	230	20/07/2024 - 16:15
9	true	0	false	138.45	false	7.68	88.6	29.45	210	20/07/2024 - 16:26
10	true	0	false	140.02	false	7.51	89.61	29.87	200	20/07/2024 - 16:37

Figura 61: Parámetros almacenados en la SD por desconexión (Fuente propia)

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En conclusión, el desarrollo de este proyecto logró cumplir con los objetivos específicos planteados inicialmente. En primer lugar, a través de entrevistas y observaciones del entorno, se determinaron los requerimientos funcionales críticos para el dispositivo electrónico, destacando la necesidad de contar con almacenamiento tanto local como en la nube, transmisión en tiempo real, sensores específicos (pH, temperatura, TDS y turbidez), alarmas físicas, y protección contra elementos externos como sol, polvo y agua.

El diseño e integración de estas funciones se realizó exitosamente. Para la adquisición de datos se utilizaron sensores que capturan las propiedades físico-químicas del agua, procesados por un microcontrolador ESP32. La transmisión de datos se estableció mediante protocolo HTTP a través de conexión Wi-Fi, y el almacenamiento se gestionó en tiempo real con Firebase y Firestore. La visualización en tiempo real y el desarrollo de una aplicación móvil con Flutter permitieron a los usuarios monitorear las condiciones de los estanques de forma eficiente y accesible. El sistema de alarma basado en la nube, utilizando Firebase Cloud Messaging, garantiza que los usuarios sean notificados inmediatamente sobre cualquier anomalía en las condiciones del agua, incluso cuando hay una desconexión o si los parámetros exceden los límites establecidos.

Este proyecto no solo proporciona un sistema de monitoreo continuo y eficaz de la calidad del agua en los estanques de cultivo de peces, sino que también contribuye significativamente a mejorar la tasa de supervivencia y crecimiento de los peces, reduciendo costos y pérdidas económicas. Esto permite a los productores tomar decisiones informadas y oportunas, asegurando un manejo más eficiente y rentable de los estanques.

6.2. Recomendaciones

- ❖ Implementar un sistema de alimentación con baterías de respaldo para situaciones de fallas eléctricas. Sin embargo, este proceso no se llevó a cabo debido a que el piscicultor ya contaba con un pequeño sistema de respaldo. Además, se sugiere diseñar un sistema de alimentación con paneles solares para estanques que no dispongan de una fuente eléctrica cercana.
- ❖ La implementación del análisis de la conductividad eléctrica se utilizó para complementar la información proporcionada por el sensor TDS. Sin embargo, si se prefiere no depender exclusivamente de este sensor, se ha investigado y comprobado un diseño alternativo para la medición de conductividad eléctrica utilizando materiales económicos. Para más detalles sobre este diseño, se recomienda consultar el libro *Environmental Monitoring with Arduino: Building Simple Devices to Collect Data about the World* en la página 35, disponible en el apartado de bibliografía de (Gertz & Justo, 2012).
- ❖ Se ha verificado que el sensor utilizado en esta monografía cumple con las funciones establecidas, a pesar de presentar fallas de fábrica. Sin embargo, si se requiere un sensor de pH más completo que permita leer toda la escala de pH, se recomienda considerar el uso de este sensor alternativo que se encuentra en el apartado de bibliografía de (DFROBOT, 2021).
- ❖ En caso de desconexión a internet, los datos almacenados en la tarjeta SD deben ser subidos automáticamente al servidor y guardados en la base de datos una vez se restablezca la conexión, permitiendo así su visualización en la aplicación.
- ❖ Seleccionar una plataforma de hosting que funcione de manera continua, para que se garantice la verificación constante de la conexión del dispositivo electrónico.
- ❖ Se recomienda desarrollar una investigación futura enfocada en la automatización de estanques intensivos en piscicultura, complementando este sistema de monitoreo en tiempo real. Este sistema automatizado debería gestionar de manera autónoma las condiciones del agua, aplicando soluciones correctivas cuando los parámetros críticos se desvíen de los valores óptimos, como la adición de productos o el cambio de agua. Además, el sistema podría integrar funciones para la alimentación automática de los peces y generar un historial estadístico detallado de los datos recolectados, el cual podría ser utilizado por centros de investigación en Nicaragua para optimizar las prácticas de cultivo piscícola.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acuario3web. (2022). *Acuario de peces*. Obtenido de <https://acuario3web.com/wp-content/uploads/2022/05/Jaguar-Cichlid-Managuense-Cuidado-Tamano-Companeros-de-Tanque%E2%80%A6.jpg>
- AGRI. (2019). Requerimientos del cultivo de Tilapia. Calidad del agua. *INTAGRI*, 3.
- agrotendencia. (2020). *Piscicultura*. Obtenido de <https://agrotendencia.tv/wp-content/uploads/2019/10/10.jpg>
- Aguaplanet. (2023). *PH*. Obtenido de https://aguaplanet.cl/wp-content/uploads/2023/04/8802126_Mesa-de-trabajo-1.jpg
- Alberto. (24 de Diciembre de 2018). *¿Que nos dice la turbidez sobre la calidad del agua potable?* Obtenido de [higieneambiental.com: https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable](https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable)
- Allgayer, R. (12 de Noviembre de 2023). *Mayaheros urophthalmus*. Obtenido de fishIPEDIA: <https://www.fishipedia.es/pez/cichlasoma-urophthalmus>
- Altamirano Bucardo, V. D., & Meza Castillo, Y. I. (12 de Septiembre de 2020). *Manual de bioseguridad para granjas piscícolas de*. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/4386/1/tnm01a465.pdf>
- Andrade, R. A., Salas, P. H., & Paredes, D. S. (Julio de 2008). *Tecnología Wi-Fi*. Obtenido de https://www.enacom.gob.ar/multimedia/bibliotecas/archivos/biblioteca_16398.pdf
- Aorong. (11 de Julio de 2018). *Turbidity Sensor*. Obtenido de https://nafcom.es/fotos_pdt/108.MD0736/108.MD0736_FICHA.pdf
- arduino, F. (Agosto de 2023). *Interferencia entre PH y sensor TDS*. Obtenido de <https://forum.arduino.cc/t/interference-between-ph-sensor-and-tds-sensor/1161050>
- Carrasco, D. (03 de Mayo de 2021). *FREERTOS en ESP32/ESP8266 (multi tarea)*. Obtenido de <https://www.electrosoftcloud.com/freertos-en-esp32-esp8266-multi-tarea/>
- cloud, G. (2022). *Precios de Firestore*. Obtenido de <https://cloud.google.com/firestore/pricing?hl=es>
- Components. (11 de Junio de 2021). *Micro SD Card Adapter Module*. Obtenido de <https://components101.com/modules/micro-sd-card-module-pinout-features-datasheet-alternatives>
- DFROBOT. (2019). *Introduction TDS*. Obtenido de https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_TDS_Sensor__Meter_For_Arduino_SKU__SEN0244
- DFROBOT. (30 de Mayo de 2021). Obtenido de Sensor de PH: <https://www.dfrobot.com/product-1782.html>

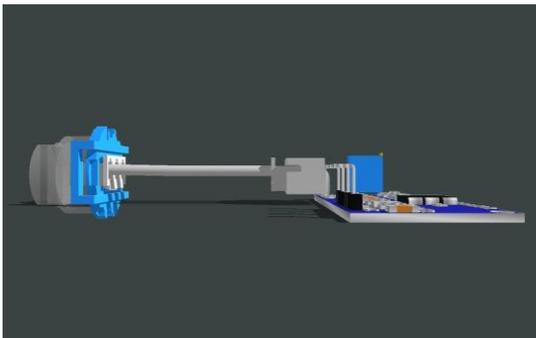
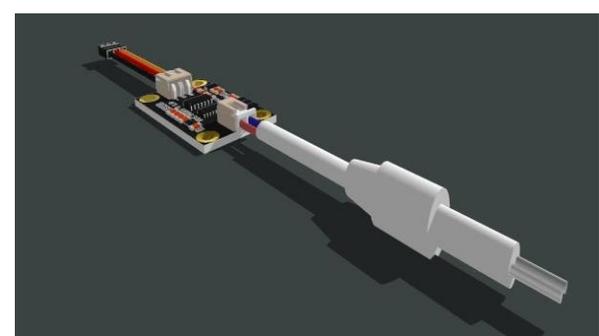
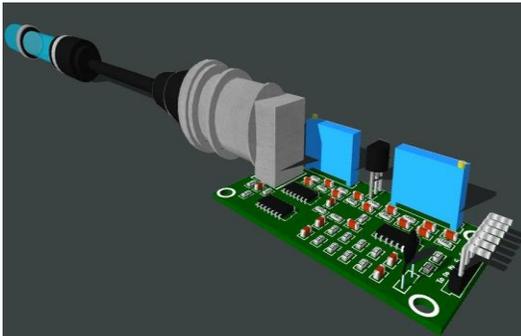
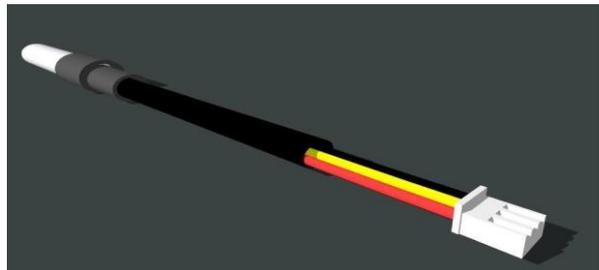
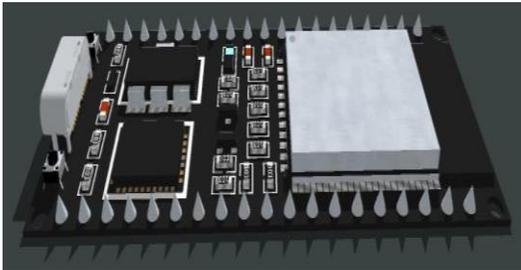
- Dictionary. (2022). *Internet of things*. Obtenido de <https://www.dictionary.com/browse/internet-of-things>
- Dropson. (06 de Diciembre de 2019). *Medidor TDS: ¿Qué es y qué mide realmente?* Obtenido de <https://www.dropson.es/blog-lata-filtrante/medidor-tds-que-es-y-que-mide-realmente/>
- Espressif. (2023). *Datasheet ESP32*. Obtenido de https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf
- Factory, A. (30 de Junio de 2019). *DS18B20 con Arduino: Sensor de temperatura digital*. Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tutoriales-arduino/ds18b20-con-arduino-sensor-de-temperatura-digital/#:~:text=El%20sensor%20DS18B20%20utiliza%20una,que%20participan%20en%20el%20bus>
- Flowen. (2020). *Turbidez*. Obtenido de <https://flowen.com.pe/wp-content/uploads/2020/08/turbidez-min.jpg>
- framework, w. (22 de Septiembre de 2022). *TDS: ¿Una manera fiable de medir la calidad del agua?* Obtenido de <https://tappwater.co/es/blogs/blog/tds-grifo-agua-filtro-calidad>
- Gertz, E., & Justo, P. (20 de Enero de 2012). *environmental monitoring with Arduino*. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=7wm1IW18K3oC&oi=fnd&pg=PR5&dq=environmental+monitoring+with+Arduino+building+Simple+Devices+to+collect+data+about+the+world+ar&ots=4vrE5TMrG1&sig=pbtUYGyyZMlfUrymRByhY4m3JRc#v=onepage&q=environmental%20monitoring>
- Google. (22 de Marzo de 2024). *Descripción general de la arquitectura de FCM*. Obtenido de <https://firebase.google.com/docs/cloud-messaging/fcm-architecture?hl=es>
- Guerrero Crespo, M. d., & Arias Pilatuña, H. E. (2014). *DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y LA CANTIDAD DE OXÍGENO DISUELTOS EN LAS AGUAS AFLUENTES DEL RÍO CUTUCHI DESDE EL PUENTE CINCO DE JUNIO HASTA LOS MOLINOS POULTIER*. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2750/1/T-UTC-00287.pdf>
- Hat, R. (31 de Julio de 2023). *API REST*. Obtenido de <https://www.redhat.com/es/topics/api/what-is-a-rest-api>
- Henry. (2022). *Turbidez del Agua en Acuicultura: Un Desafío Clave para el Crecimiento Saludable de Especies Marinas*. Obtenido de <https://institutodelagua.es/acuicultura/turbidez-del-agua-en-acuiculturaacuicultura/>
- Hydroponics. (30 de Noviembre de 2019). *Measure pH with a low-cost Arduino pH sensor board*. Obtenido de <https://www.e-tinkers.com/2019/11/measure-ph-with-a-low-cost-arduino-ph-sensor-board/>
- INC, M. I. (2019). *DS18B20*. Obtenido de <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf>

- INC, M. I. (Julio de 2019). *DS18B20*. Obtenido de DS18B20: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf>
- Kanade, V. (03 de Marzo de 2024). *What Is a Serial Peripheral Interface (SPI)? Meaning, Working, and Applications*. Obtenido de <https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/what-is-spi/>
- Kuan, F. (20 de Octubre de 2023). *Bluetooth versus Bluetooth de baja energía: Una comparación detallada*. Obtenido de <https://www.mokosmart.com/es/bluetooth-vs-bluetooth-low-energy-a-detailed-comparison/>
- LaOpinión. (2020). *Sistemas de cultivos*. Obtenido de <https://www.laopinion.co/sites/default/files/2018/02/23/imagen/estanques.jpg>
- Lenntech. (01 de Junio de 2023). *Qué nos dice la conductividad sobre la calidad del agua de consumo*. Obtenido de <https://higieneambiental.com/conductividad-y-calidad-del-agua-potable>
- Llamas Torrenegra, E., & Pimienta Moreno, W. (1997). *Efectos de la dureza total y conductividad eléctrica del agua en el cultivo de postlarvas de bocachico*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/270125897.pdf>
- Madrugá Barriga, J. (Mayo de 2023). *Diseño de un sistema de capacitación y monitorización de los parámetros de operación de un biorreactor*. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/59758/TFG-I-2505.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MQTT. (2022). *MQTT: The Standard for IoT Messaging*. Obtenido de <https://mqtt.org/>
- NICARAGUA, I. (20 de Diciembre de 2019). *Avances de la piscicultura en Nicaragua*. Obtenido de INTA NICARAGUA: https://www.youtube.com/watch?v=nQkW6_n3rcM
- Orozco Méndez, J. A., & Martínez López, J. A. (20 de Julio de 2022). *Análisis de calidad de agua en estanque de cultivo de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en dos tipos de sustratos en la granja acuícola - Universidad Nacional Agraria*. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/4624/1/tnm12o74.pdf>
- Orozco, L. (27 de Abril de 2023). *¿Qué es el pH? ¿Cómo se mide? ¿Cuál es su importancia?* Obtenido de <https://www.orozolab.info/que-es-el-ph-como-se-mide-cual-es-su-importancia>
- Pallares, C. (12 de Mayo de 2024). *¿CÓMO USAR EL DISCO SECCHI? - BIOLÓGICA*. Obtenido de Biológica proyecto: <https://www.youtube.com/watch?v=sgp7UmtUSUM>
- Pérez Porto, J., & Merino, M. (5 de Diciembre de 2023). *Piscicultura - Qué es, orígenes, definición y concepto*. Obtenido de Definición.DE: <https://definicion.de/piscicultura/>
- R.A, M. (21 de Abril de 2021). *Internet of Things (IoT)*. Obtenido de https://www.scirp.org/pdf/jdaip_2021042015324548.pdf
- RENDER. (2024). *RENDER*. Obtenido de <https://render.com/>

- Renu, A., & Manik, D. (17 de Agosto de 2020). *RFID security in the context of "internet of things"*. Obtenido de ACM DIGIYAL LIBRARY: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2490428.2490435>
- Saavedra Martínez, M. A. (4 de Agosto de 2006). *Manejo del cultivo de Tilapia*. Obtenido de <https://universidadagricola.com/wp-content/uploads/2018/05/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA.pdf>
- Saavedra Martínez, M. A. (04 de Agosto de 2006). *Manejo del cultivo de Tilapia*. Obtenido de <https://universidadagricola.com/wp-content/uploads/2018/05/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA.pdf>
- Semle, A. (Octubre de 2016). *Protocolos IoT para considerar*. Obtenido de https://editores.com.ar/sites/default/files/aa2_semle_protocolos_ilot.pdf
- Sergio, A. (25 de Mayo de 2022). *Cíclido Jaguar Guapote (Parachromis managuensis): Guía de cuidados en el acuario*. Obtenido de Acuario3web: <https://acuario3web.com/peces/ciclido-jaguar-guapote-parachromis-managuensis/>
- Silva, A. (06 de Febrero de 2022). *Relevancia de la temperatura en sistemas Acuícolas*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/relevancia-de-la-temperatura-en-sistemas-acu%C3%ADcolas-adriana-da-silva#:~:text=Por%20lo%20tanto%2C%20la%20temperatura,la%20reproducci%C3%B3n%20y%20el%20comportamiento>
- Solís Castro, Y., Zuñiga, L. A., & Alvarado, D. M. (11 de Agosto de 2017). *La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica*. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-35.pdf>
- Tecnología. (12 de Septiembre de 2020). *¿Que es un LED?* Obtenido de <https://www.ledtecnologia.com/que-es-un-led/>
- UNF. (2022). *Cosecha Tilapia*. Obtenido de <https://www.unf.edu.ar/wp-content/uploads/2022/04/FOTO-COSECHA-TILAPIA-copia.jpg>
- Velásquez, L. E. (21 de Agosto de 2008). *Manual para reconocer los recursos pesqueros de Ometepe y principales leyes que los atañen*. Obtenido de INPESCA: <http://www.inpesca.gob.ni/images/Otros%20Documentos%20Cientificos/Manual%20para%20identificar%20los%20recursos%20pesqueros%20de%20Ometepe.pdf>
- Vieira, D. (05 de Octubre de 2022). *Bluetooth: qué es y cómo funciona*. Obtenido de <https://www.hostgator.mx/blog/bluetooth-que-es/>

8. ANEXOS

8.1. Diseños de los Componentes Electrónicos en 3D



8.2. Código de Programación Relación Voltaje - TDS

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

VREF = 3.3
x = np.linspace(0, 3300, 100)
averageVoltage = x * VREF / 4096.0 #0.815332
compensationCoefficient = 1.0 + 0.02 * (32.0 - 25.0)
compensationVoltage = averageVoltage / compensationCoefficient

tdsValue = (133.42 * compensationVoltage ** 3 - 255.86 *
compensationVoltage ** 2 + 857.39 * compensationVoltage) * 0.5
#300.6423

# Crear el gráfico lineal
```

```
plt.plot(x / 1000, tdsValue)

# Agregar etiquetas a los ejes
plt.xlabel('Voltaje')
plt.ylabel('TDS')

# Agregar un título al gráfico
plt.title('Relación voltaje-tds')
plt.grid(True)

# Mostrar el gráfico
plt.show()
```

8.3. Programa de Calibración del Sensor PH

```
void setup() {

  Serial.begin(115200);
}

void loop() {

  int sensorValue = analogRead(34);
  float voltage = sensorValue * (3.3 / 4095.0);

  Serial.println(voltage);

  delay(2000);
}
```

8.4. Programa de Relación Voltaje - PH

```
const int analogInPin = 34;
int buf[10];
int temp = 0;
unsigned long int inValue;
void setup() {

  Serial.begin(115200);
}

void loop() {

  for (int i = 0; i < 10; i++) {

    buf[i] = analogRead(analogInPin);
    delay(10);
  }
}
```

```

for (int i = 0; i < 9; i++) {
    for (int j = i + 1; j < 10; j++) {
        temp = buf[i];
        buf[i] = buf[j];
        buf[j] = temp;
    }
}

inValue = 0;
for (int i = 2; i < 8; i++) {
    inValue = inValue + buf[i];
}
float PHVol = (float)inValue * 100 * 3.3 / 4095 / 6;

Serial.print("Voltaje mv =");
Serial.println(PHVol);
delay(2000);
}
    
```

8.5. Estanque Piscicultor José Martínez



8.6. Entrevista Realizada al Piscicultor José Martínez

1. ¿Qué parámetros de calidad del agua considera más críticos para el bienestar de sus peces?

Los parámetros más críticos para el bienestar de mis peces son la temperatura, pH, oxígeno disuelto, Total de sólidos disueltos, Turbidez, y el amonio. La temperatura afecta el metabolismo de los peces, mientras que el pH influye en su salud y capacidad de adaptación. El oxígeno disuelto es vital para la respiración, y un nivel alto de amonio puede ser tóxico. Estos parámetros deben mantenerse dentro de rangos específicos para garantizar un ambiente saludable en el estanque y evitar problemas que puedan comprometer la producción.

2. ¿Qué problemas comunes enfrenta con la calidad del agua en sus estanques?

Los problemas comunes que he enfrentado con la calidad del agua en mis estanques incluyen fluctuaciones de temperatura, especialmente en temporadas de calor extremo, lo que puede estresar a los peces. También he tenido dificultades con niveles elevados de amonio, que pueden ser letales si no se controlan. La turbidez del agua, causada por lluvias o la actividad de los peces, también es un desafío, ya que afecta la penetración de luz y la producción de oxígeno. Además, la mayor parte del monitoreo lo he realizado manualmente, lo que es complicado porque a menudo no puedo dedicarles el tiempo necesario debido a otras ocupaciones. Esto hace que no siempre pueda mantener una vigilancia constante y adecuada de los parámetros críticos.

3. ¿Cómo afecta la calidad del agua la salud y el crecimiento de sus peces en el estanque?

La calidad del agua tiene un impacto directo en la salud y crecimiento de la mojarra, guapote y tilapia. Una temperatura adecuada es crucial, ya que influye en el metabolismo y la tasa de crecimiento de estos peces. Si el pH está fuera de los rangos óptimos, los peces pueden sufrir estrés, lo que debilita su sistema inmunológico y los hace más propensos a enfermedades. El oxígeno disuelto es vital para la respiración; niveles bajos pueden causar asfixia y reducir el crecimiento. Altos niveles de amonio son tóxicos y pueden llevar a mortalidad si no se controlan, mientras que la turbidez puede afectar la

alimentación al reducir la visibilidad y la calidad del hábitat. Mantener una buena calidad del agua es esencial para optimizar la producción y evitar pérdidas.

- 4. Estamos desarrollando un dispositivo electrónico que permitirá medir la calidad del agua y reflejarla en una aplicación móvil. ¿Qué opina sobre este avance tecnológico que podrá monitorear sus estanques y visualizar en tiempo real? ¿Cuánto estaría dispuesto a invertir en ese producto? ¿Cuenta con acceso a internet?**

Me parece un avance muy necesario y útil para la piscicultura moderna. Tener un dispositivo que pueda monitorear en tiempo real la calidad del agua y reflejarla en una aplicación móvil facilita enormemente el manejo de los estanques, permitiéndote reaccionar rápidamente ante cualquier problema. Esto no solo mejoraría la salud de los peces, sino que también optimizará la producción y reduciría las pérdidas. Dado que ya tengo acceso a internet las 24 horas, integrar este tipo de tecnología sería una inversión inteligente. Estaría dispuesto a invertir hasta C\$3000 en un dispositivo así.

- 5. ¿Qué características o funciones le gustaría ver en un dispositivo de monitoreo de agua?**

Me gustaría que el dispositivo de monitoreo de agua tuviera funciones clave como alarmas sonoras y notificaciones en tiempo real cuando algún parámetro esté fuera de los valores óptimos. También sería útil que ofreciera la posibilidad de registrar y almacenar datos históricos para poder analizar tendencias a lo largo del tiempo. Además, una aplicación fácil de usar, que permita visualizar rápidamente el estado general del agua y recibir alertas inmediatas.

8.7. Repositorio Programación General

Para observar el código de programación de todo este sistema electrónico, por favor acceder al siguiente enlace <https://github.com/malisonpicado/thesis-mp-ar>

- 8.8. Evidencia que se ha Realizado el Periodo de 12 Días del Dispositivo Electrónico en el Estanque del Piscicultor**

Managua, Nicaragua 30 de Julio de 2024

Mercado Sutiava 1 abajo 12 al sur (Nicaragua – León)

A quien corresponda:

Por medio de esta presente carta, quiero documentar y confirmar la instalación y prueba exitosa de un dispositivo electrónico de medición de calidad del agua que fue implementado en mi estanque de crianza de peces de agua dulce, este dispositivo fue elaborado por Malison Franco Picado Solórzano y Antony Ángel Rodríguez Matamoros.

El día jueves 4 de julio de 2024 se llevó a cabo la instalación del dispositivo electrónico en uno de mis estanques de peces donde acepté realizar un periodo de prueba del dispositivo de 12 días, comprendido entre el 15 de julio de 2024 hasta el 26 de julio de 2024. Durante este período, el dispositivo se mantuvo en funcionamiento continuo, recolectando datos de la calidad del agua en tiempo real, midiendo parámetros del PH, temperatura, Total de sólido disuelto, turbidez y conductividad eléctrica. Además, se verificó el correcto funcionamiento de la alarma del dispositivo, donde se activan cuando alguna de las variables monitoreadas se encuentra fuera de los rangos establecidos. El dispositivo electrónico ha demostrado ser de gran utilidad para el monitoreo de la calidad del agua en mi estanque.

Atentamente,



José Santos Martínez Valverde

+505 8100 6976