

Monitoreo de la Calidad del Agua en Estanques dedicados a la Piscicultura en Misiones

Kotynski Henry ^a, Marinelli Marcelo ^a

^a *Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones. Félix de Azara 1552, Posadas, Misiones, Argentina*
e-mails: henrykotynski@gmail.com, marcelomarinelli@gmail.com

Resumen

El trabajo presenta el desarrollo de un prototipo vinculado a IoT que favorezca a la rápida resolución de situaciones anómalas que se presentan en las condiciones del agua de los estanques dedicados a la piscicultura en el ámbito de la provincia de Misiones Argentina, con el objetivo de optimizar el proceso de toma de decisiones. El prototipo, compuesto por un microcontrolador ESP32 y sensores para medir pH, temperatura y oxígeno disuelto conectados a aquel. Los valores medidos son enviados en tiempo real por el microcontrolador, a través de un broker MQTT(Message Queuing Telemetry Transport), hacia un conjunto de dashboards implementados en Node Red. Los dashboards implementados permiten visualizar los parámetros del agua en cualquier momento y desde cualquier dispositivo con acceso a internet, además de enviar una alerta en caso de que parámetros anómalos sean detectados. Las pruebas realizadas validan la confiabilidad de las mediciones obtenidas por el prototipo, demostrando su eficacia en la detección de anomalías y en la reducción de los tiempos de respuesta.

Palabras Clave – Piscicultura, Monitoreo, Calidad del agua, Programación.

1 Introducción

La piscicultura en la República Argentina es una actividad con gran potencial destacándose en regiones como la Patagonia y el Noreste Argentino. En particular, la provincia de Misiones, con sus abundantes recursos hídricos, se presenta como un entorno propicio para el desarrollo de la piscicultura, integrándose en la economía local tanto primaria como secundaria [1].

No obstante, la variabilidad climática y las condiciones cambiantes del medio ambiente afectan significativamente los factores físico-químicos del agua, tales como temperatura, turbidez, transparencia, oxígeno disuelto, conductividad y salinidad. Estas variaciones influyen directamente en el metabolismo, la alimentación y el crecimiento de los peces, impactando directamente en la alimentación y crecimiento de los peces, repercutiendo en la producción y economía de los productores.

La problemática central en este contexto, radica en la ineficiencia de los métodos tradicionales que no permiten un monitoreo continuo y en tiempo real de las condiciones del agua, ni el registro de estas de manera automática. Esta falta de datos detallados y precisos limita la capacidad de análisis, dificulta la toma de decisiones oportunas, afecta la optimización de los procesos de cría y el manejo adecuado de los estanques.

Por su parte, las mediciones esporádicas y la demora en la obtención de resultados dificultan la implementación de acciones correctivas a tiempo, ya que, la toma de muestras para su posterior análisis en un laboratorio conlleva tiempo, lo que puede resultar en pérdidas económicas significativas para los productores.

1.1 Calidad del Agua

Cuando se habla de la calidad del agua de cultivo se hace referencia al conjunto de factores físico-químicos que caracterizan al cuerpo de agua (ver **Tabla 2**). Muchos de estos factores se ven afectados en sus valores por: la composición del suelo del estanque, el ingreso del agua al estanque o bien cuando se realizan manejos como fertilización, alimentación, aireación, etc. que agregan componentes o residuos al agua [2].

Dentro de los factores que afectan la calidad del agua en la piscicultura están: la temperatura, densidad, turbiedad, transparencia, oxígeno disuelto, conductividad y salinidad, acidez, nitritos y nitratos, balance entre oxígeno y dióxido de carbono [3] [4] [5].

Si bien, no todos los elementos resultan de interés para la crianza de ciertas especies, estos factores deben presentar valores aceptables que no afecten la crianza de las distintas especies (ver **Tabla 1**).

Tabla 1: Estándares de Calidad de Agua para producción piscícola [3]

Parámetros	Concentración Aceptable
Nitrito	< 0,02
Nitrato	0-100
TAN	0-0,2
Oxígeno Disuelto – OD	> 5 mg/L < 8 mg/L
pH	6,5-8,5
Temperatura	>20° C para especies de aguas cálidas
COD	20-30 mg/L
TSS	>80 mg/L

Tabla 2: Parámetros Físicos y Químicos fundamentales en el control de la calidad del Agua¹

Parámetro	Origen
Temperatura, Turbidez y Transparencia	Físico
pH, Alcalinidad, Oxígeno disuelto, Dióxido de carbono y Amonio	Químico

Si bien el principal factor a considerar es la Temperatura (ya que esta afecta la calidad del agua, sus propiedades químicas, y en consecuencia el nivel de metabolismo de los peces, teniendo efectos directos sobre la alimentación y el crecimiento de los peces [3] [4] [6], son las condiciones mencionadas las que hacen que las variables que intervienen en la calidad del agua se vean afectadas, y en consecuencia el nivel y la calidad de la producción.

1.2 Sistema de Monitoreo

Un sistema de monitoreo permite el seguimiento y control de los valores de un conjunto de variables pertenecientes a algún dispositivo que, forma a su vez, parte de otro sistema más complejo. Básicamente se trata de un conjunto de sensores observando actividades específicas y que reportan

¹ Elaboración Propia.

datos contextuales a un sistema central capaz de realizar un razonamiento situacional y responder si correspondiere a cualquier evento relacionado con el fenómeno observado.

Es decir, el monitoreo permite observar el comportamiento de diferentes parámetros específicos, pertenecientes a determinadas variables de interés, a intervalos de tiempo regulares, preestablecidos y generando alertas cuando algún parámetro monitoreado presenta valores considerados no deseados o anormales.

1.3 IoT

El Internet de las Cosas o IoT (Internet of Things), presenta una idea que todo está conectado entre sí. Desde un punto de vista técnico se puede ver como el conjunto de todos los objetos conectados a internet capaces de comunicarse entre sí.

Fue utilizado por primera vez en 1999 por Kevin Ashton, para describir un sistema en el cual los objetos del mundo físico se podían conectar a Internet por medio de sensores. Según un informe de Cisco [7], el tráfico generado en Internet por dispositivos que no son computadoras personales aumentó del 40% en 2014 a casi el 70% en 2019 [8] [9].

Una de las principales ventajas del concepto de IoT, es que no pertenece a ninguna industria o dominio específico, por lo que se han desarrollado soluciones diferentes a lo largo del tiempo presentando una arquitectura similar entre ellas (ver **Fig. 1**), y de alguna manera, todas se vinculan o incorporan el concepto de IoT, incluyendo conceptos como Smart Office, Smart Homes, Smart Grids o Smart City. Todas ellas interconectadas mediante diferentes formas de conectividad como por ejemplo Bluetooth, Z-Wave, ZigBee o frameworks orientados a las comunicaciones.

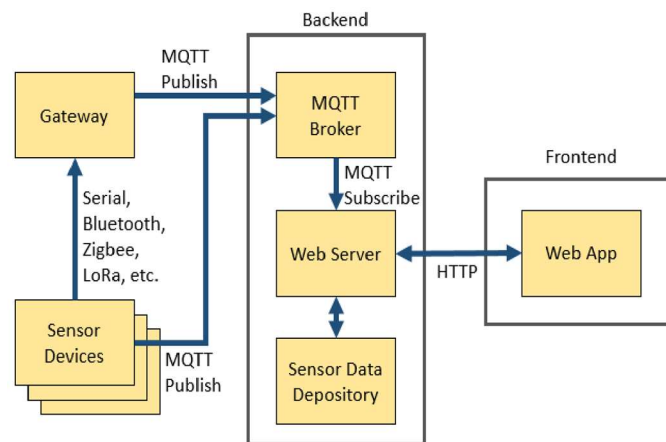


Fig. 1. Esquema General de IoT [16]

1.4 ESP32

ESP32, es un chip tipo SoC (System on Chip), que integra en un único chip un procesador Tensilica Xtensa de doble núcleo. Dentro de las características se destacan: un coprocesador de 32 bits de bajo consumo ULP (Ultra Low Power) y 8KB de memoria RAM, conectividad Wi-Fi y Bluetooth, y hardware criptográfico: AES, SHA-2, RSA.

Modos Sleep

Esp32 trae incorporado diferentes modos de manejo de energía que, relacionados con Power Management Unit (PMU), que conducen a diferentes niveles de consumo de energía, habilitando o deshabilitando los diferentes módulos que componen la placa. Esto permite que la placa pueda estar en cuatro estados o modos diferentes: Mode Active, Mode Sleep, Light Sleep, Deep Sleep.

WakeUp

Para salir de cualquiera de los modos de ahorro de energía, es necesario establecer el modo en el cual la placa retomará su actividad. En los siguientes párrafos se explican tres modos: Timer, Touch, Pulse.

Modos de Operación

ESP32 posee 2 modos de trabajo que pueden implementarse de manera independiente o bien combinadas. Cuando opera en modo estación Wi-Fi, puede conectarse a otras redes mediante un router. En ese caso, el enrutador asigna una dirección IP única a la placa ESP32, permitiendo comunicarse con él mediante otros dispositivos que también están conectados a la misma red mediante la dirección IP asignada al ESP32 (ver **Fig. 2 (a)**).

Cuando opera como Access Point, puede conectarse usando cualquier dispositivo con capacidad Wi-Fi debido a que, el ESP32 como un punto de acceso, crea su propia red Wi-Fi y los dispositivos (estaciones) cercanos pueden conectarse a él. Esto también puede ser útil si desea tener varios dispositivos ESP32 interconectados entre sí sin la necesidad de un enrutador (ver **Fig. 2 (b)**).



Fig. 2. Modos de Operación: (a) Estación Wi-Fi; (b) Access Point

1.5 MQTT

MQTT es un protocolo de transporte de mensajería ligero, open source, implementa el modelo publicación/suscripción (PUB/SUB) tipo cliente-servidor, permite el filtrado de mensajes a partir de diferentes técnicas y establece niveles de calidad de servicio, haciéndolo apto para entornos de IoT o M2M (Machine to Machine) o en sistemas compuestos con ancho de banda limitado y dispositivos de alta latencia [10].

El protocolo presenta una pila de protocolos simples (ver **Fig. 3**), ya que se estableció teniendo en cuenta requisitos tales como:

- implementación sencilla;

- entrega de datos que permita manejar la calidad de servicio;
- ligereza y eficiencia del ancho de banda;
- conocimiento continuo de la sesión.

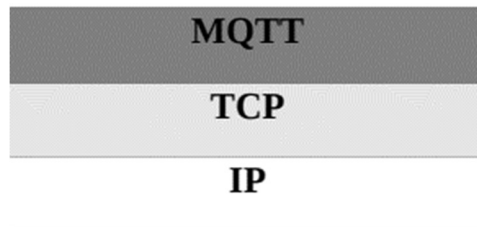


Fig. 3. Pila de protocolos MQTT

Publicación/Suscripción

El enfoque de publicación/suscripción del protocolo MQTT (también conocido como PUB/SUB) proporciona una alternativa a la estructura convencional cliente-servidor. En el modelo cliente-servidor, un cliente se comunica directamente con un punto final específico. Sin embargo, el modelo PUB/SUB separa al cliente que envía un mensaje (el publicador) de aquellos que lo reciben (los suscriptores).

Filtrado de Mensajes

Opción 1: Filtrado Basado en el asunto. El cliente se suscribe al Bróker por Tópico, que son cadenas con una estructura jerárquica. Por ejemplo: “/estanque/1/sensores/”

Opción 2: Filtrado basado en el contenido. Los clientes pueden procesar y filtrar mensajes basados en su contenido. Por ejemplo, mensajes que contengan el texto “turbidez”.

Opción 3: Filtrado basado en tipos. Cuando se utilizan lenguajes orientados a objetos, el filtrado basado en el tipo/clase de un evento es una práctica habitual. Por ejemplo, un cliente podría seleccionar los mensajes de tipo “Excepción”.

Calidad de Servicio

MQTT posee tres niveles de calidad de servicio o QoS (Quality of Service),

At most once (0). Qos=0: En este nivel la recepción del mensaje no está garantizada. También es conocido como "transmitir y olvidar".

At least once (1). Qos=1: este nivel de calidad garantiza la llegada al destino. Los mensajes son almacenados en el servidor hasta que se recibe un puback confirmando la correcta entrega.

Exactly once (2). Qos=2: es el nivel de calidad de servicio más alto y más lento, ya que se asegura que el mensaje ha llegado.

2 Prototipo

El prototipo está integrado por un componente de hardware compuesto por el ESP32, el suministro de energía, un conjunto de sensores (pH, turbidez y temperatura) conectados a una placa ESP32 (ver **Fig. 4 (a) y (b)**).

El componente de software está integrado la conexión Wi-Fi, el Broker Mosquitto, el servidor de Node Red y el código que reside en el ESP32.

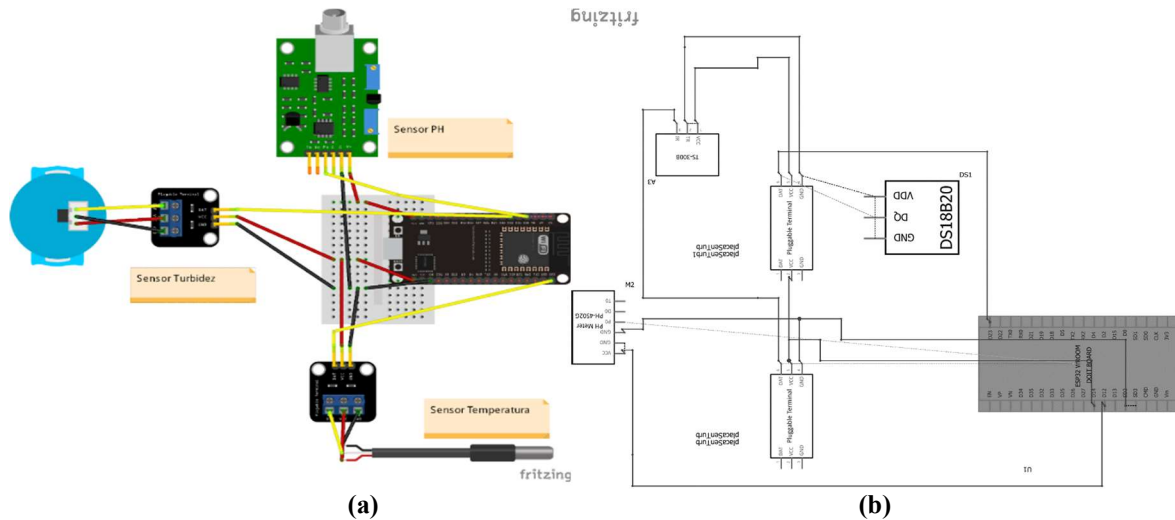


Fig. 4. Diagrama: (a) Esquema de conexiones: (b) Esquemático

1.1 Broker Mosquito

Se encarga de la gestión de los mensajes recibidos desde el ESP32, asociándolos a los diferentes tópicos habilitados. Para el desarrollo del prototipo se habilitaron los tópicos: /estanque/sensores/temperatura, /estanque/sensores/ph y /estanque/sensores/turbidez.

1.2 Visualización de lecturas en Node Red

Para visualización de datos, el Flow presenta tres funcionalidades, la primera donde se gestiona la recepción de los datos desde el broker MQTT y su posterior representación. La segunda es el registro de los datos en archivos históricos bajo el formato CSV (comma separated value). La tercera es la generación de una alerta ante valores que se encuentran fuera de los parámetros establecidos.

Flow Recepción de Datos

La recepción de los datos, se realiza mediante la conexión de un node MQTT a un tópico del servidor local (broker MQTT). Luego los datos recibidos son tratados y analizados para:

- Generar los gráficos correspondientes a la última medición en tiempo real, el promedio de las mediciones(ver **Fig. 6**) y la evolución de las mediciones durante las últimas doce horas (ver **Fig. 7**);
- Ser comparados con los parámetros establecidos como normales para la variable, y de corresponder, se genera la alerta correspondiente mediante un mensaje en pantalla y el envío de un correo electrónico [11] a una cuenta establecida en los parámetros (ver **Fig. 5**);
- Ser registrados en un archivo (formato CSV) con la estructura: fecha, hora, número de sensor y el valor recibido (ver **Fig. 9**).

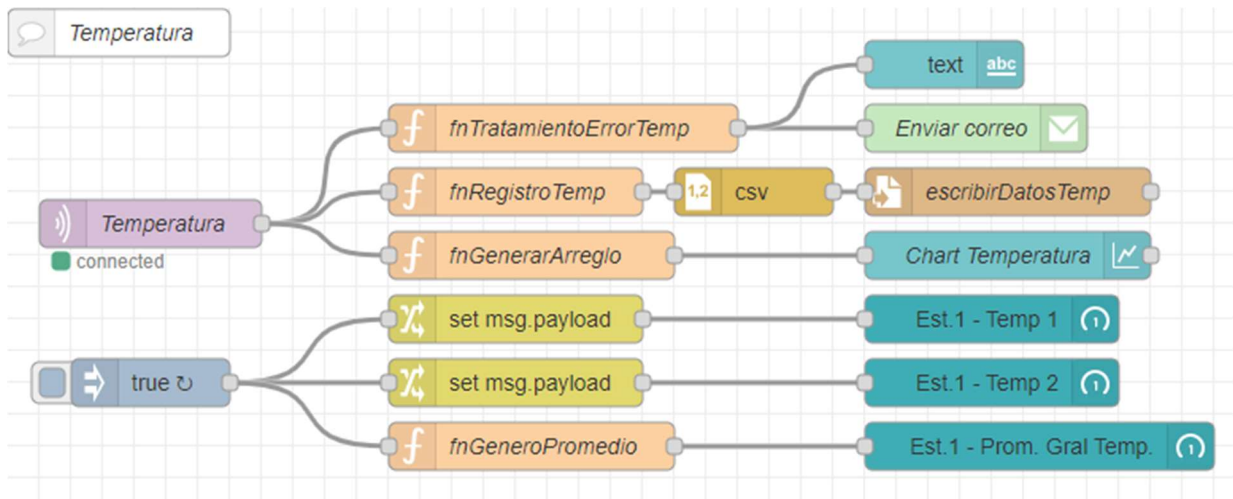


Fig. 5. Node Red. Flow Temperatura

Dashboard Visualización de Datos

Los datos se visualizan en dos Dashboards: uno que despliega el último valor recibido para cada sensor, el promedio general de valores recibidos para los sensores registrados y un mensaje de alerta en pantalla con el último valor fuera de rango registrado (ver Fig. 6). El segundo dashboard, muestra la evolución de las mediciones durante las últimas 12 horas para cada variable y los sensores asociados a estas (ver Fig. 7).

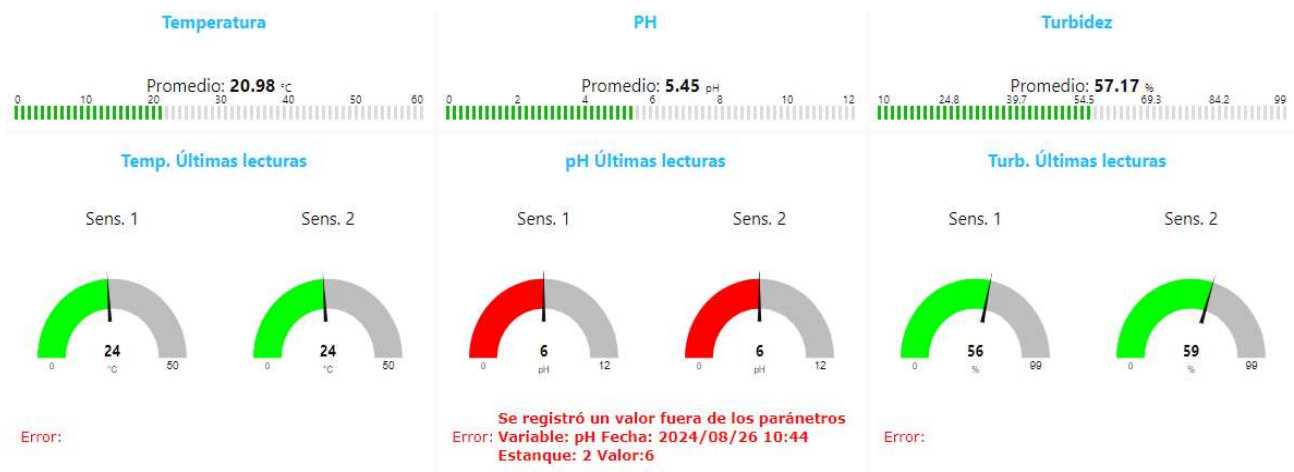


Fig. 6. : Node Red. Dashboard Promedio general, Última lectura y Errores

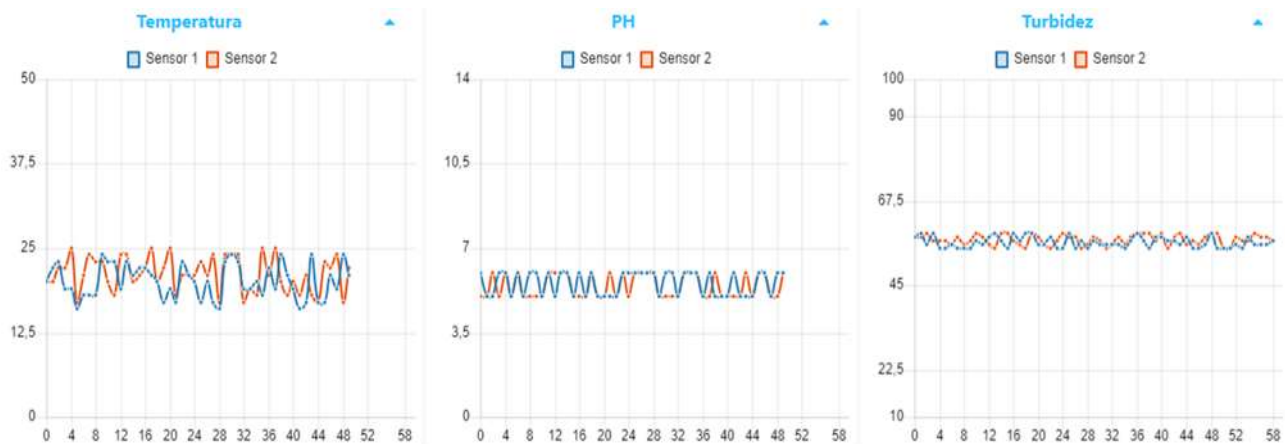


Fig. 7. : Node Red. Dashboard Evolución de lecturas.

1.3 Flow Datos Históricos

Este Flow presenta una sola función, que es el filtrado y lectura de los datos históricos almacenados en archivos tipo CSV en el servidor local.

Los datos que se encuentran almacenados en el servidor son analizados y seleccionados a partir de un rango de fechas ingresadas por el operador. Esta operación es independiente para cada variable, pudiendo filtrar datos correspondientes a solamente una variable de interés.

Para poder cumplir con su funcionalidad cada una de las variables relevantes posee su propio archivo CSV, lo que facilita la lectura y generación de informes (ver **Fig. 8**).

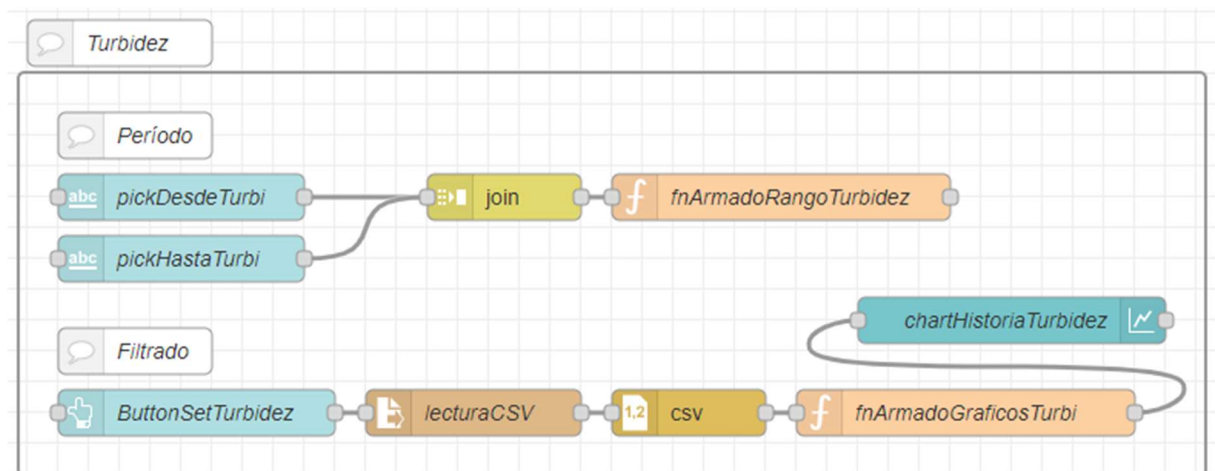


Fig. 8. Node Red. Flow Datos Históricos

1.1 Dashboard Datos Históricos

Este Dashboard, permite al operador poder seleccionar un rango de fechas para cada una de las variables que monitorea el sistema y obtener las mediciones correspondientes a todos los datos comprendidos entre la fecha límite inferior y la fecha límite superior. También, permite ver u ocultar los datos correspondientes a cada sensor.

Dada la amplitud de registros almacenados en los archivos, se presenta un recorte de los registros correspondientes a las temperaturas obtenidas el día 20 de febrero de 2024 de una determinada

cadencia de valores históricos (ver Fig. 9) y la gráfica resultante del filtro aplicado a los datos (ver Fig. 10).

2024/02/19, 22:03, 1,7.10
2024/02/19, 22:03, 2,2.44
2024/02/19, 23:34, 1,6.98
2024/02/19, 23:34, 2,2.28
2024/02/19, 00:05, 1,7.18
2024/02/19, 00:05, 2,2.65
2024/02/20, 00:36, 1,6.93
2024/02/20, 00:36, 2,1.85
2024/02/20, 01:37, 1,6.32
2024/02/20, 01:37, 2,1.31
2024/02/20, 02:37, 1,6.60
2024/02/20, 03:08, 2,1.14
2024/02/20, 03:38, 2,1.09

Fig. 9. Recorte de registros históricos

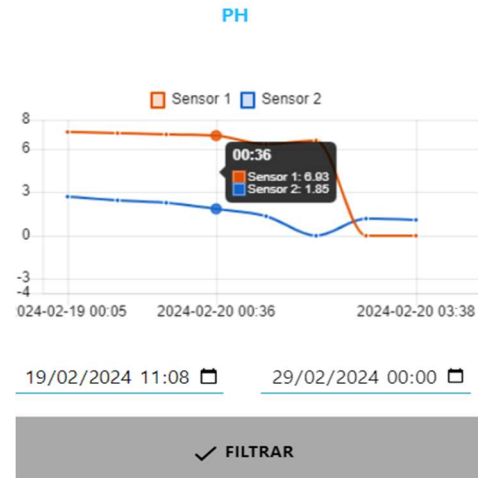


Fig. 10. Node Red. Dashboard Resultado del filtrado

3 Conclusiones

Luego de un conjunto de pruebas que incluyeron: pruebas de usabilidad e interfaces, pruebas de confiabilidad exponiendo los sensores a diferentes condiciones y escenarios y pruebas de integración entre los sensores, la placa ESP32, el broker MQTT y Node Red, el prototipo ha demostrado ser una herramienta eficaz para optimizar la toma de decisiones mediante el monitoreo en tiempo real de parámetros críticos del agua, como pH, temperatura y oxígeno disuelto.

Los resultados obtenidos en las pruebas, validan la confiabilidad del sistema, mostrando una fuerte correlación con los métodos manuales de medición. Además, la implementación de alertas instantáneas y la accesibilidad remota a los datos han reducido significativamente los tiempos de respuesta ante situaciones anómalas, lo que se traduce en una mejora tangible en la calidad de la producción piscícola.

Referencias

- [1] Dirección Nacional de Acuicultura, «Producción de acuicultura en Argentina durante el año 2022,» <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/estadisticas/>, 2022.
- [2] E. T. d. a. V. d. Ganadería., Manual Básico De Sanidad Piscícola, Asunción. Paraguay.: Fecha de Consulta: 11-12-2023. Disponible en: <https://www.fao.org/3/as830s/as830s.pdf>, 2011.
- [3] «Fondriest Environmental, Inc. “Water Temperature.” Fundamentals of Environmental Measurements,» [En línea]. Available: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/water-temperature/>. [Último acceso: 01 08 2023].
- [4] «How Temperature Affects the Quality of Fresh Water. ISSD,» International Institute for Sustainable Development (ISSD), [En línea]. Available: <https://www.iisd.org/ela/blog/commentary/temperature-quality-fresh-water/>. [Último acceso: 01 08 2023].
- [5] Mehboob Hasan Rohit, Zarin TarannumHoque, S. M. Mujibul Karim, and Shahnewaz Siddique, «Cost Efficient Automated Pisciculture Assistance System Using Internet of Things(IoT),» de *Proceedings of the 1st International Workshop on Software Engineering Research & Practices for the Internet of Things*, Piscataway, NJ, USA, 2019.

- [6] California Water Boards, Folleto Informativo Temperatura. Foletto Informativo 3.1.2.0, California. USA. Consultado el 05-08-2023. Disponible en: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3120sp.pdf.
- [7] «Cisco,» 11 12 2023. [En línea]. Available: <https://www.cisco.com/>. Fecha de Consulta: 11/12/2023.
- [8] L. C. K. R. Scott Eldridge, LA INTERNET DE LAS COSAS UNA BREVE RESEÑA, .: C. Marsan, Ed., Fecha de Consulta: 12-10-2023. Disponible en: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>, 2015.
- [9] Intel Corporation “Intel”, U.S. House of Representatives Document Repository, Fecha de Consulta: 10-11-2023. Disponible en: <https://docs.house.gov/meetings/IF/IF17/20150324/103226/HHRG-114-IF17-Wstate-SchoolerR-20150324.pdf>, 2015.
- [10] «AcademiaLab,» [En línea]. Available: <https://academia-lab.com/enciclopedia/mqtt/#historia>. [Último acceso: 03 12 2023].
- [11] R. R. M. M. J. Urquijo, Seguimiento del estado de una cámara de germinación hidropónica utilizando email basado en node-red, R. d. U. c. C. e. Informática, Ed., La Rioja, 2021, pp. 763-771.