

Desarrollo de un sistema inteligente de monitoreo de la calidad del agua basado en IoT

Maor Roizman Gheiler
UTEC
Lima, Perú
maor.roizman@utec.edu.pe

Mateo Noel Rabines
UTEC
Lima, Perú
mateo.noel@utec.edu.pe

Carlos Gabriel Reátegui Suares
UTEC
Lima, Perú
carlos.reategui@utec.edu.pe

Juan Galvez
UTEC
Lima, Perú
juan.galvez@utec.edu.pe

Abstract

La contaminación del agua es un problema que afecta al medio ambiente y a la vida de las personas en nuestro país. En Lima, el río Rimac contiene metales producto de actividad minera, además de deshechos comunes que son dispersados a este miles de veces al día. En este trabajo se realiza un sistema inteligente de monitoreo de calidad de agua, con el objetivo de determinar el estado de aguas fluviales y evaluar si se puede usar o consumir. Se utilizan 4 sensores: sensor de total de sólidos disueltos, de temperatura, de humedad y de iluminación. Luego, la data es procesada en un microcontrolador y enviada mediante un módulo de internet a un servidor remoto. La data puede ser accedida mediante una aplicación de visualización.

Keywords: IoT, calidad agua, sensores, monitoreo

1 Introducción

1.1 Motivación social

La contaminación del agua se puede dar principalmente por desechos de procesos mineros, desagües industriales y pesticidas. Algunos elementos químicos que se encuentran en aguas contaminadas son hierro, plomo, aluminio y cadmio. Estos son muy tóxicos para los seres humanos.

En la tabla 1 se puede ver la concentración de elementos encontrados en las plantas de tratamiento 1 y 2 de Sedapal y el Río Rímac durante el mes de Febrero 2022. INEI

Elemento	Concentración Plantas Sedapal (mg/l)	Concentración Río Rímac (mg/l)
Hierro	0.017	3.45
Plomo	0.000	0.031
Cadmio	0.001	0.002
Aluminio	0.031	3.46
Materia Orgánica	1.04	1.74

Table 1. Concentración en las plantas de tratamiento 1 y 2 de Sedapal y el Río Rímac

1.2 Motivación académica

En la tabla 2 podemos ver 5 investigaciones que se relacionan a nuestro proyecto y que han aportado en su área respectiva.

De estos artículos el cual encontramos más relevante es *Design and Development of Real-Time Water Quality Monitoring System* [3], donde se explora y elabora un diseño para el monitoreo de aguas fluviales. Explica cómo se hace uso de un sistema de adquisición de datos desarrollado con un Arduino UNO conectado a varios sensores (pH, turbiedad, temperatura, sensor TDS). Asimismo, implementó un módulo de transmisión de datos usando un *Raspberry Pi model 3b* conectado a *Wi-Fi*, que funciona como un servidor *SSH*. Por último rescatamos que se realiza la conexión al Raspberry Pi desde *PuTTY* (cliente *SSH* open source).

El otro trabajo del cual rescatamos información para realizar el proyecto es *Internet Of Things (IoT) Based Water Quality Monitoring System* [6], en el cual se aplica *internet of things* (IOT) en un sistema de control de calidad de agua. Con esta información podemos elaborar un buen diseño para nuestro sistema de monitoreo que funciona junto a IOT. Asimismo, se probaron distintos sensores en distintas áreas. También se hizo un análisis del *schematic* del sensor. Además, se compararon los sensores para determinar cual era más efectivo.

Paper citation	Department	University or Country	Type of paper	Results	Method
[3]	Dept. of Electronics and Communication Engineering	University of Applied Sciences, India	Original	A system that is developed to measure the parameters of water such as turbidity, dissolved solvents, pH and temperature.	The sensors are interfaced with Arduino UNO and Raspberry Pi for data processing and transmission. Furthermore the sistem was tested by comparing obtained parameters with their respective ideal ranges; these where considered for the purpose of drinking.
[6]	CSIT	Patuakhali Science and Technology University	Original	Smart sensor interface device that can sense the water quality parameters and generate data in an online system for showing real-time measures of water quality parameters.	Define the sensors that will be used, process data with arduino, send data to cloud and finally show analized data on a website
[7]	School of Electronics and Information Engineering	Guangdong Ocean University	Review	The potential application of IoT and Big Data in marine environment protection	Review of the application of the Internet of Things in the field of marine environment monitoring
[4]	Department of Health TechnologyNanomaterials and Nanobiosensors	Technical University of Denmark	Review	Proposes commercially available portable devices that has the potential to become the next gold standard instruments in heavy metal detection.	Review the key principles behind sensory development and summarize the recent development in heavy metal detection technologies
[2]	Department of Electronics and Communication Engineering	Vidyavardhaka College of Engineering	Review	A cost effective and efficient IoT based smart water quality monitoring system which monitors the quality parameters uninterruptedly	A detailed review of the latest works that were implemented in the arena of smart water pollution monitoring systems

Table 2. 5 works related to the project and an IoT solution.

2 Metodología

Se utilizarán 4 sensores:

- **Sensor de Total de Sólidos Disueltos (TSD):** rango entre 0 ~ 1000 partes por millón (ppm).
- **Sensor de temperatura:** rango desde -20°C a a 60°C $\pm 2\%$.
- **Sensor de humedad:** rango de 5% a 95% $\pm 5\%$.
- **Sensor de iluminación:** rango desde 1 lux hasta un máximo de 65535 lux $\pm 20\%$.

Estos sensores se encargarán de recolectar información que será captada por un Arduino ESP32. Una vez captada la información, se usará un Raspberry Pi 2 para mandar esta a un servidor remoto. El servidor se encargará de procesar la información que le llega para que esté lista para ser solicitada. Finalmente en un *dashboard* los usuarios podrán ver de manera intuitiva los datos recopilados para su análisis respectivo. Este flujo puede ser visualizado en la fig. 1.

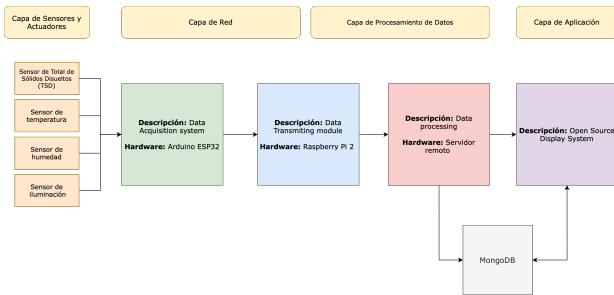


Figure 1. Diagrama de arquitectura de la solución desarrollada.

Para gestionar el tiempo de desarrollo se utilizó un diagrama de *Gantt* el cuál se puede observar más a detalle en la figura 2.

3 Implementación

La implementación del proyecto fue modularizada en cuatro componentes esenciales: El módulo de sensoramiento, el cual incluye al microcontrolador y los sensores correspondientes; el *broker* de preprocesamiento y transmisión de datos, el servidor remoto de procesamiento y la plataforma de visualización de datos en tiempo real. La presente sección abordará cada uno de estos módulos con el objetivo de describir de forma detallada su implementación.

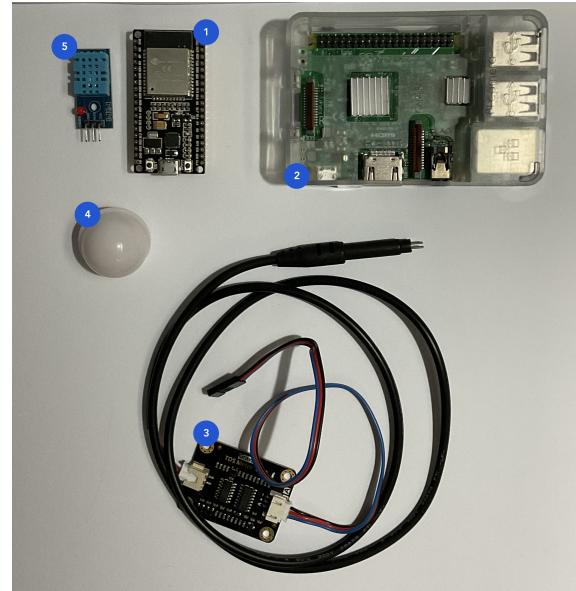


Figure 3. Componentes del sistema.

3.1 Módulo de sensoramiento

Para el módulo sensoramiento se utilizó un microcontrolador Arduino ESP32 (elemento N°1 de la fig. 3). Como se puede observar en la figura de la fig. 10, se utilizaron 6 pines: el VCC y el GND para la alimentación de los sensores, el G27 para la lectura de datos del sensor de Total de Solidos Disueltos (elemento N°3 de la fig. 3), el pin G23 para los datos del sensor de humedad y temperatura (elemento N°5 de la fig. 3); y finalmente, el G21 y el G22 para el sensor de iluminación (elemento N°4 de la fig. 3).

Como se puede observar en la imagen 5, los datos son publicados en formato JSON por el cliente de MQTT para Arduino bajo el tópico *measures/topic*.

Observación: Es importante mencionar que la versión de producción del proyecto debería de incluir dos sensores adicionales, tal y como se menciona en la publicación de [3]: el de pH y el de turbidez. Ambos permitirían monitorear dos propiedades adicionales que juntas al TSD nos brindan información acerca de la calidad del agua en términos generales. Así mismo, es importante mencionar que los sensores de exposición luminosa, temperatura y humedad son fundamentales para que los investigadores puedan procesar los datos por los sensores principales [3].

3.2 Módulo de transmisión de datos

El módulo de transmisión de datos está conformado por un *Raspberry Pi 2* (elemento N°2 de la fig. 3), que es un microcomputador desarrollado en el Reino Unido y Gales [5]. Este ejecuta el *broker* de *MQTT*, que se encargará de transmitir los datos por el tópico *measures/topic*.

Figure 2. Diagrama de Gantt del proyecto

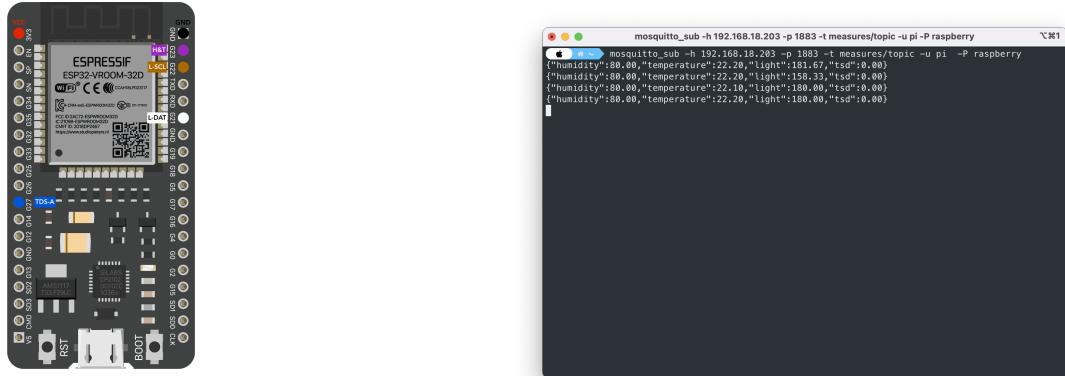


Figure 4. Esquemático del Arduino ESP32 con los pines señalizados según las conexiones realizadas.

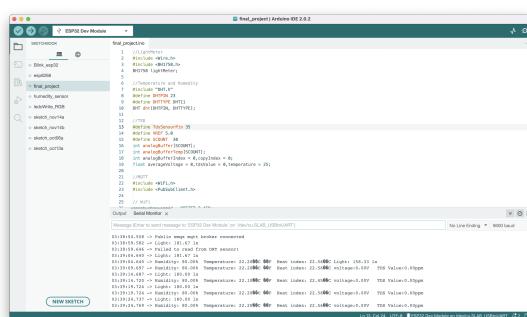


Figure 5. Captura de pantalla del mosquito_pub en la que se visualizan las mediciones en tiempo real.

3.3 Módulo de procesamiento remoto

Una vez que el mensaje fue producido por cliente de *MQTT* ejecutado en el Arduino y fue enviado por el tópico *measures/topic* atraves del *broker*, el módulo de procesamiento remoto recibe los datos mediante un cliente de *MQTT* que consume los datos enviados por el mismo tópico. Una vez que los recibe, estos son guardados en una base de datos no relacional *MongoDB*, para luego ser leídos por el siguiente módulo.

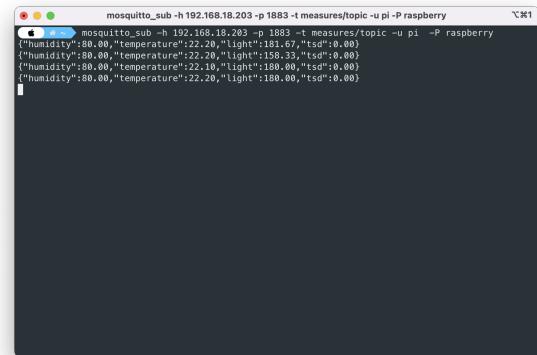


Figure 6. Captura de pantalla del mosquito_sub en la que se visualizan las mediciones publicadas.

3.4 Módulo de visualización de datos

Este módulo constituye la última capa del proyecto y permite que los usuarios puedan interactuar con la solución. Consiste en una plataforma web con dos vistas: una de visualización de las lecturas de los sensores y otra de resultados. Ambas vistas se pueden visualizar en las figuras 8 y 9 en la sección de resultados.

4 Experimentación

Para probar el modulo implementado se realizaron principalmente tres pruebas. Se puede observar en la fig. 7 el módulo junto a 3 vasos con diferentes soluciones. El vaso número 1, contiene 100 centímetros cúbicos (cc) de agua (H_2O) de caño. El vaso 2 contiene una salmuera a base de la misma agua pero con 20 gramos de sal ($NaCl$). Finalmente, el tercer vaso contiene lo mismo que el segundo pero con 40 gramos de sal ($NaCl$).

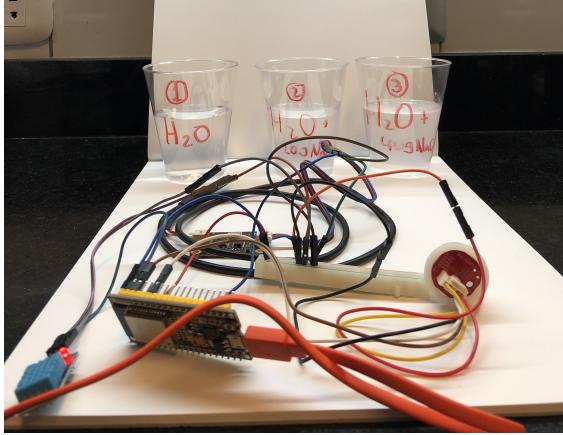


Figure 7. Experimentación realizada con los 4 sensores en condiciones controladas.

Es importante mencionar que los datos tomados por los demás sensores fueron enviados y almacenados en la base de datos para su correcta visualización en la plataforma.

Los resultados de la experimentación serán descritos en la siguiente sección.

5 Resultados

Respecto a la experimentación realizada en la fig. 7, se obtuvieron los siguientes resultados:

Solución	TSD (ppm)
H ₂ O	302
H ₂ O + 20g NaCl	638
H ₂ O + 40g NaCl	998

Table 3. Resultados experimentales del sensor TSD del experimento descrito en 7.

Como se puede observar en 7, los valores obtenidos corresponden a los esperados. Conforme la cantidad de sal incrementaba, el valor del Total de Solidos Disueltos también fue incrementando. Es importante mencionar que los valores obtenidos para el agua de caño están dentro del rango normal, cercanos a los valores obtenidos por el experimento en exteriores realizado por [3].



Figure 8. Vista de mediciones de la plataforma desarrollada.

En la figura 8 se puede observar la tabla de la aplicación de visualización de resultados. En esta, se exponen los datos capturados por los sensores (temperatura, humedad, iluminación y *TSD*) con un respectivo *timestamp* para cada tupla.



Figure 9. Vista de gráficos de la plataforma desarrollada.

En la figura 9 se pueden observar las gráficas de la aplicación de visualización de resultados. Se tienen dos gráficas. Una de temperatura-tiempo, y otra de *TSD*-tiempo.

6 Descripción del mercado

El servicio que brindamos es el de monitoreo de los parámetros de calidad del agua en diferentes puntos geográficos del litoral peruano. Si bien tenemos una capa pública y gratuita de visualización de los datos, el modelo de negocio propuesto incluye un *API* de acceso de pago para organizaciones con una alta demanda de solicitudes y una capa de visualización y análisis más avanzada.

El público objetivo de la propuesta incluye a individuos y organizaciones, públicos y privados, que buscan monitorear la calidad del agua en diferentes puntos geográficos del Perú, tanto para su fiscalización como para la detección y mitigación de posibles fuentes de contaminación.

Para el año 2028, se espera que el tamaño del mercado de monitoreo de la calidad de agua a nivel global sea de 7.5 billones de dólares [1]. Inicialmente se abarcará el mercado nacional, para luego expandirse a otros países de la región.

Primero, es necesario ganar prestigio en Lima para estableceremos como una empresa confiable en monitoreo de agua. Para ello, es necesario tener éxito trabajando con el sector público / privado.

Después de haber generado aquel prestigio, podemos demostrar nuestra experiencia con clientes a empresas extranjeras y empezar a negociar con ellas. La ventaja de nuestro negocio es que el único dispositivo físico que necesitamos es el sensor, por lo que es fácil expandirnos mandando sensores a nuestros clientes internacionales.

Las principales barreras de entrada:

- Tener precios competitivos.
- Desarrollar prototipos de bajo costo.
- Ser vistos como una empresa confiable, ya que seríamos nuevos en el mercado.
- Desarrollar un MVP de la interfaz del usuario, que sea amigable y fácil de usar.

7 Conclusiones

- Se pudo implementar satisfactoriamente el módulo de sensores para controlar las propiedades del agua. Si bien para este prototipo no se utilizaron los sensores de pH y de turbidez, se realizó una prueba de concepto con el sensor de Total de Solidos disueltos, que permitió simular todo el proceso, desde la toma de datos hasta la visualización de los mismos.
- Se pudo crear una aplicación interactiva para visualizar los datos de los sensores en tiempo real. Esto incluye una tabla con todos los datos y dos gráficas, una temperatura-tiempo y otra TSD-tiempo.
- Si bien el objetivo fue medir las propiedades del agua para poder determinar su calidad, las mediciones ambientales como la exposición luminosa, la temperatura y la humedad son fundamentales para que los investigadores puedan procesar los datos tomados por los sensores principales [3].

References

- [1] globenewswire.com. 2022. The Global Water Quality Monitoring Systems Market size is expected to reach \$7.5 billion by 2028, rising at a market growth of 8.3% CAGR during the forecast period. <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/09/29/2524955/0/en/The-Global-Water-Quality-Monitoring-Systems-Market-size-is-expected-to-reach-7-5-billion-by-2028-rising-at-a-market-growth-of-8-3-CAGR-during-the-forecast-period.html>.
- [2] Varsha Lakshmikantha, Anjitha Hiriyannagowda, Akshay Manjunath, Aruna Patted, Jagadeesh Basavaiah, and Audre Arlene Anthony. 2021. IoT based smart water quality monitoring system. *Global Transitions Proceedings* 2, 2 (11 2021), 181–186. [Online; accessed 2022-10-04].
- [3] Kiran Kumar B M, Divya Kiran, and Ravikant Verma. 2019. Design and Development of Real-Time Water Quality Monitoring System. https://www.researchgate.net/publication/337049996_Design_and_Development_of_Real-Time_Water_Quality_Monitoring_System
- [4] Subhankar Mukherjee, Soumyadeb Bhattacharyya, Koustuv Ghosh, Souvik Pal, Arnab Halder, Maryam Naseri, Mohsen Mohammadniaei, Subrata Sarkar, Alokes Ghosh, Yi Sun, and Nabarun Bhattacharyya. 2021. Sensory development for heavy metal detection: A review on translation from conventional analysis to field-portable sensor. *Trends in Food Science & Technology* 109 (3 2021), 674–689. [Online; accessed 2022-10-04].
- [5] Raspberry Pi. 2022. Raspberry pi foundation – about Us. [Online; accessed 2022-11-30].
- [6] Md.Mahbubur Rahman, Chinmay Beperi, Mohammad Jamal Hossain, and Md Muzahidul Islam. 2020. Internet of Things (IoT) Based Water Quality Monitoring System. https://www.researchgate.net/publication/344167317_Internet_of_Things_IoT_Based_Water_Quality_Monitoring_System
- [7] Guobao Xu, Yanjun Shi, Xueyan Sun, and Weiming Shen. 2019. Internet of Things in Marine Environment Monitoring: A Review. *Sensors* 19, 7 (apr 10 2019), 1711. [Online; accessed 2022-10-04].

A Anexos

- [Enlace al repositorio de Github](#)

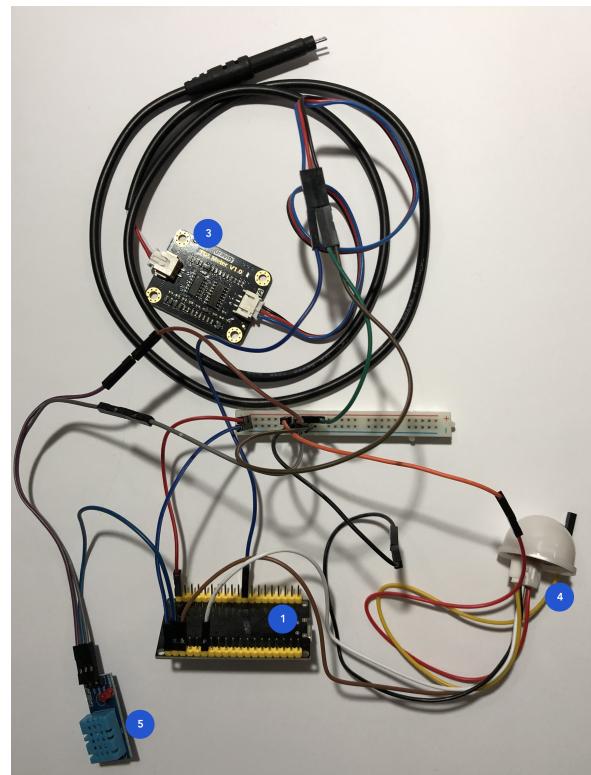


Figure 10. Imagen del circuito del prototipo implementado.