



Artículo de investigación

Estrategia de captura de datos con sensores de bajo costo para la gestión de calidad de agua del afluente del Río Paraná

Data capture strategy with low-cost sensors for water quality management of the Paraná River tributary

Diego Liebel[✉], Deivis Lugo[✉] y Daiki Kawamura[✉]

Universidad Nacional de Itapúa, Paraguay

*Autor de correspondencia: Diego Liebel; diegoliebel@facyt.uni.edu.py

Recibido: 08/03/2024 **Aceptado:** 08/10/2024

Resumen

El agua se considera un recurso limitado ya que solo una parte de ella es apta para el consumo. La preservación de la calidad de agua es una actividad esencial. Este estudio busca una estrategia para la captación de datos de bajo costo del afluente del Río Paraná de la ciudad de Encarnación, Paraguay. Se establecieron los requisitos para la gestión de calidad de agua considerando la ubicación, la comunicación y los dispositivos, estableciéndose así las arquitecturas de transmisión de datos y la interacción de los diferentes dispositivos. La metodología utilizada fue basada en etapas. En este contexto, se realizó una implementación de la propuesta permitiendo captar los parámetros esenciales de calidad de agua definidos en los requerimientos. Durante la investigación se realizó una revisión de varios artículos pudiendo establecer la relevancia de dispositivos de bajo costo. Como resultado se obtuvo una propuesta de solución utilizando tecnologías que pueden apoyar la captura de datos con dispositivos de bajo costo abriendo así nuevas oportunidades a futuras investigaciones y avances en este campo.

Palabras clave: iot, calidad de agua, bajo costo, río, Paraná.

Abstract

Water is a limited resource as only a portion is suitable for consumption. Preserving water quality is an essential activity. This study aims to develop a low-cost data collection strategy for monitoring the Paraná River tributary of Encarnación, Paraguay. The requirements for water quality management were established, considering location, communication, and devices, thus defining data transmission architectures and the interaction of different devices. The methodology used was stage-based. In this context, the proposed solution was implemented, enabling capturing of essential water quality parameters defined in the

requirements. During the research, several articles were reviewed, establishing the relevance of low-cost devices. As a result, a solution proposal was developed using technologies that can support data collection with low-cost devices, opening new opportunities for future research and advancements in this field.

Keywords: iot, water quality, low cost, river, Paraná.

1. Introducción

Hoy en día, el agua se considera un recurso finito puesto que solamente una fracción de ella es apta para el consumo humano por lo que requiere un cuidado esencial. En efecto existen diversos conflictos e intereses a raíz de su escasez y la competencia por el mismo va en aumento (1).

Una de las maneras de preservar este bien es examinando la calidad del agua. La misma se evalúa a través de parámetros físico-químicos y microbiológicos, siendo el índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (NSF-WQI) uno de los más utilizados. Este índice considera la medición de estos parámetros: pH, O₂, temperatura, nutrientes, coliformes, sólidos, turbiedad y DBO. Además del NSF-WQI, existen otros índices que también emplean parámetros físico-químicos como alternativas de menor costo. Por lo tanto, al abaratar los costos en el proceso de medición, se facilita a las comunidades con presupuestos limitados a obtener información sobre la calidad del agua, lo que posibilita tomar medidas para el tratamiento de las fuentes de abastecimiento (2).

Existen varios antecedentes locales donde se evalúa la situación actual de los recursos hídricos e identifican puntos críticos para establecer un sistema de gestión, analizando así estrategias de planificación de cuencas (3). Por lo que se evidencia la necesidad de un plan de gestión integrada de recursos hídricos para la ciudad de Encarnación, Paraguay.

Por otro lado, esta gestión integradora en el uso sostenible del agua, requiere el relevamiento de datos para aplicar las herramientas normativas teniendo así un control efectivo del recurso (4). Fijando así la necesidad de contar con datos para establecer medidas para la toma de decisión.

De igual manera, existe una relación entre la ciudad y el agua. Esta perspectiva posibilita la implementación, diseño y la planificación urbana para mejorar la gestión de los aspectos esenciales del entorno humano en relación al agua (5). No obstante, las políticas de adecuación ambiental son importantes porque proponen directrices, como el estado actual del agua, la cobertura forestal, la situación del bosque y el factor humano (6). Por lo tanto, existen estudios que ofrecen directrices, lineamientos, políticas y recopilación de datos, todos ellos centrados en la preservación del agua.

Por consiguiente, en este trabajo se planteó la búsqueda de una estrategia de captura de datos con sensores de bajo costo para la gestión de la calidad del agua, con énfasis en el afluente del Río Paraná.

2. Materiales y Métodos

2.1. Metodología de Investigación

Para llevar a cabo los objetivos planteados en este proyecto se siguieron las siguientes etapas, basadas en una metodología de investigación científica y tecnológica desarrollada en Cegarra (2011) (7).

Etapa 1: Definición de Requisitos Técnicos:

- Realizar una revisión de la literatura científica y técnica relacionada con la gestión de la calidad del agua y la utilización de sensores de bajo costo.
- Identificar los parámetros críticos que deben ser monitoreados para evaluar la calidad del agua en el Río Paraná.
- Considerar aspectos como la ubicación estratégica de los sensores del margen del río, los métodos de comunicación de datos y las condiciones ambientales que podrían afectar las mediciones.

Etapa 2: Diseño de la Arquitectura Tecnológica:

- Seleccionar los sensores de bajo costo más apropiados para medir los parámetros identificados.
- Diseñar una arquitectura tecnológica que permita la interconexión de los sensores, la transmisión de datos en tiempo real y el almacenamiento de la información recopilada.
- Considerar los protocolos de comunicación adecuados para transferir datos desde los sensores hasta los dispositivos de recolección.

Etapa 3: Implementación y Pruebas Piloto:

- Instalar los sensores en diferentes ubicaciones del margen Río Paraná, siguiendo las especificaciones definidas.
- Configurar la infraestructura tecnológica según el diseño propuesto.
- Realizar pruebas piloto en puntos fijados para validar la funcionalidad y las mediciones.
- Registrar los datos recopilados durante las pruebas piloto, identificando posibles problemas técnicos y ajustando el sistema según sea necesario.

Etapa 4. Documentación y Presentación:

- Elaborar un informe detallado que documente todos los aspectos de la investigación, incluyendo los objetivos, metodología, resultados y conclusiones.

3. Resultados y Discusión

3.1. Resumen de la revisión bibliográfica - Parámetros de monitoreo

Se ha realizado una búsqueda en las principales revistas indexadas, incluyendo la IEEE Digital Library, MDPI, Science Direct, ACM Digital Library y Springer Link. El criterio de búsqueda utilizado fue “*water quality*” AND *sensors* AND (“*iot*” OR “*internet of things*”) AND “*low cost*”, con artículos filtrados por los últimos 5 años y ordenados por relevancia (Tabla 1).

Tabla 1. Selección de documentos en base a la aplicación de los criterios búsqueda.

| Fuentes / Revistas | Cantidad Inicial | Seleccionados | Revisados |
|---|------------------|---------------|-----------|
| IEEE Digital Library (conference-journal-magazine) | 90 | 40* | 7 |
| MDPI | 12 | 12 | 5 |
| Science Direct (research articles) | 280 | 22** | 3 |
| ACM Digital Library (research articles) | 38 | 38 | 8 |
| Springer Link (research articles) | 183 | 16*** | 4 |
| Resumen | 603 | 128 | 27 |

* Water Quality Monitoring

**Computers and Electronics in Agriculture - Internet of Things - Water Research

***Waste Water Technology / Water Pollution Control / Water Management / Aquatic Pollution -Water Industry/Water Technologies

La búsqueda permitió obtener una visión general del monitoreo del agua con sensores de bajo costo, proporcionando un panorama general de la situación. Es importante destacar que este artículo no tiene por objetivo realizar una revisión sistemática exhaustiva, sino más bien establecer un contexto general del tema.

Además de los parámetros comúnmente utilizados, como pH, DO, ORP, temperatura, turbidez y EC, también se pueden considerar otros parámetros, aunque su frecuencia de uso puede ser menor. Estos incluyen parámetros químicos como nitrógeno, fósforo y sólidos totales en suspensión, así como parámetros biológicos como coliformes totales y cianobacterias (8, 9). Para esta investigación, se han seleccionado los siguientes parámetros: pH, turbidez, saturación de oxígeno disuelto, concentración de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y temperatura para el afluente del Río Paraná.

La elección de estos parámetros no es aleatoria, ya que, según Tavares et al. (2023) (8), los parámetros más frecuentemente medidos en los artículos analizados fueron el pH (90%), temperatura (80%), turbidez (59%), DO (38%) y CE (36%), mientras los demás parámetros tuvieron una frecuencia menor.

Por otro lado, la cantidad de artículos científicos revisados se da con mayor frecuencia en estos dos últimos años, por lo que se aprecia un mayor interés en estos temas y algunos en artículos se evidencia una mayor profundización.

En cuanto al costo de los sensores, varios factores influyen en su precio (8–13), como el tipo de sensor y el principio de medición, que están relacionados con la precisión, el tiempo de calibración y el mantenimiento futuro. Además, los materiales utilizados en su construcción afectan inevitablemente la robustez y durabilidad del sensor.

3.2. Ubicación de los sensores

En cuanto a la ubicación, se determinó emplear como modelo el punto de medición del río aguas arriba de la toma de la planta de tratamiento de agua de la ciudad de Encarnación. El punto de ubicación es estacionario, y la medición es superficial, con una profundidad de 20 cm. Al principio, se analizaron 3 puntos de ubicación. Primero, en el muelle de la planta de tratamiento (-27.366150, -55.860632), pero se descartó luego de determinar que la profundidad y la extensión de los canales desde donde se succiona el agua para la planta no coincidían con el muelle. El segundo punto fue cerca de uno de los pilares del puente (-27.367708, -55.858307), pero también se descartó debido a la existencia de un puerto cercano y al tránsito fluvial que podría dañar el nodo de toma de datos. Finalmente, se optó por implementar la solución en una torre ubicada aguas arriba (-27.373060, -55.856019), dentro de la corriente de agua que se dirige hacia la planta de tratamiento de agua.

3.3. Arquitectura Tecnológica

3.3.1. Sensores

En el mercado existen una gran variedad de sensores disponibles a diferentes precios. Estos sensores pueden encontrarse desde los 6 dólares hasta los 500 dólares, e incluso superar los 5000 dólares estadounidenses (8). El precio de un sensor depende de varios factores: el tipo de sensor, qué parámetros puede medir; el principio de medición, que puede ser químico, electroquímico, físico o electrofísico; los materiales utilizados en su construcción, que pueden ser vidrio, plástico blando o duro, o una combinación de ambos, o metales como acero inoxidable; y la calidad de los componentes electrónicos empleados.

Para la elección de los sensores se siguieron dos enfoques. El primero consistió en seleccionar sensores de fácil acceso, relacionados con proyectos de bricolaje (DIY) o compatibilidad con placas como Arduino, ESP8266 o ESP32; y el segundo en buscar sensores más robustos, pero que no fueran demasiado costosos, estableciendo un límite de 500 dólares por sensor.

Para la búsqueda, se utilizaron las tiendas online más conocidas a nivel global. Se seleccionaron sensores individuales, excluyendo aquellos conectados a dispositivos. Se tomaron en cuenta los precios más bajos y más altos dentro del límite establecido, sin calcular

un promedio (Tabla 2). Se adquirió un ejemplar de cada sensor para cada parámetro de los dos tipos considerados, excepto para la medición de temperatura en el segmento de sensores robustos y asequibles, ya que uno de los sensores incluía esta función.

Tabla 2. Resumen de precios relativos del mercado de sensores.

| Parámetros | Fácil alcance | Robustos asequibles |
|-------------------|-------------------------|----------------------------|
| EC o relacionado | TDS (9 a 20 USD) | EC (89 a 250 USD) |
| pH | PH (29 a 110 USD) | PH (88 a 270 USD) |
| Turbidez | Turbidity (10 a 26 USD) | Turbidity (169 a 489 USD) |
| DO | DO (154 a 180 USD) | DO (110 a 425 USD) |
| Temperatura | Temp (9 a 13 USD) | Temp (12 a 25 USD) |

¹Existen dispositivos más elevados, pero se establecieron éstos bajo los límites impuestos.

3.3.2. Comunicación

Desde la torre, donde se definió la ubicación para la toma de datos a través de los sensores, hasta la orilla del río más cercana, hay aproximadamente 481 metros (según Google Maps). Por lo que se evaluaron diferentes alternativas para la comunicación con el nodo de captura de datos. Inicialmente, se consideró utilizar una ESP32 con módulo WiFi (14), pero por su corto alcance se descartó como opción viable. La segunda opción fue un módulo GPRS, pero se descartó debido a las interferencias recurrentes causadas por la proximidad a los límites locales, cerca de la frontera con el país vecino Argentina. La tercera opción fue explorar alternativas de radiodifusión, considerando protocolos de comunicación como Zigbee o LoRaWAN. Sin embargo, Zigbee se descartó debido a su corto alcance (14, 15), lo que llevó a la elección del protocolo LoRaWAN.

Una vez definido el protocolo de comunicación, se diseñó una arquitectura para la transmisión de los datos (Figura 1). Esta arquitectura consta de dos módulos principales: el Sender y el Receiver. El primero está equipado con un módulo Lora SX1278 a 433 MHz, junto con una antena SMA de 13 dBi. Los sensores se conectan al Sender a través de un max456 bajo el protocolo Modbus. Además, cuenta con un panel solar de 600 W y una batería, ya que en la torre no hay suministro eléctrico disponible. Por otro lado, el módulo Receiver también tiene un módulo Lora SX1278 a 433 MHz para recibir los datos del Sender. Luego procesa estos datos y los transmite nuevamente por wifi a una plataforma alojada en un servidor remoto, diseñada específicamente para almacenar y visualizar los datos en forma de gráficas.

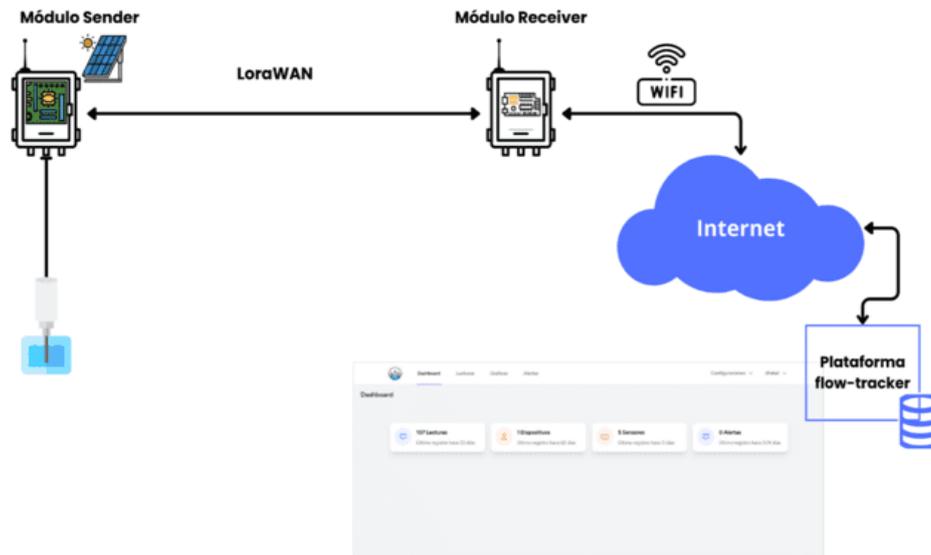


Figura 1. Arquitectura conceptual para la transmisión de datos.

3.4. Implementación de la propuesta y prueba piloto, selección de sensores

En Paraguay, la institución encargada de establecer las clasificaciones de las fuentes de agua es el MADES (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible) (16). Esta entidad define los parámetros de calidad del agua. Por consiguiente, el agua del Río Paraná se clasifica como Clase 1 según su uso.

Tras evaluar las características de los sensores, se ha decidido utilizar los más robustos debido a las condiciones del río y su implementación en el entorno. Cumpliendo así con los rangos mínimos establecidos por el MADES (16).

3.4.1. Arquitectura física y lógica

Para implementar la solución, se utilizó un MCU Esp32 que integra un módulo LoRa SX1278, tanto para el módulo Sender como para el módulo Receiver. La lógica implementada se puede observar en la Figura 2, que describe de manera general los procesos más significativos de cada uno de los componentes.

3.4.2. PCB del módulo Sender y el prototipo terminado

La PCB diseñada (Figura 3) tiene dimensiones de 10 cm x 10 cm e incluye un arreglo de borneras contiguas para la conexión de los cuatro sensores. También cuenta con pines hembra para la instalación directa del módulo MAX485, el cual convierte las interfaces de RS-485 a TTL. Además, dispone de pines hembra para la conexión del MCU, así como tres borneras separadas para la alimentación de los sensores (12V), los dos módulos (5V) y un relé controlado por un pin de propósito general del microcontrolador, que permite activar/desactivar los sensores solo durante la toma de datos para ahorrar energía. Se incluyó una bornera adicional con un interruptor para que el usuario pueda encender la PCB según

sea necesario. Además, se han añadido cuatro orificios pasantes en las esquinas para facilitar el montaje. Finalmente, en la misma figura se observa el prototipo completo de captura de datos, con los componentes instalados: el panel solar, los sensores y el cableado, todos integrados para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema en el entorno de prueba.

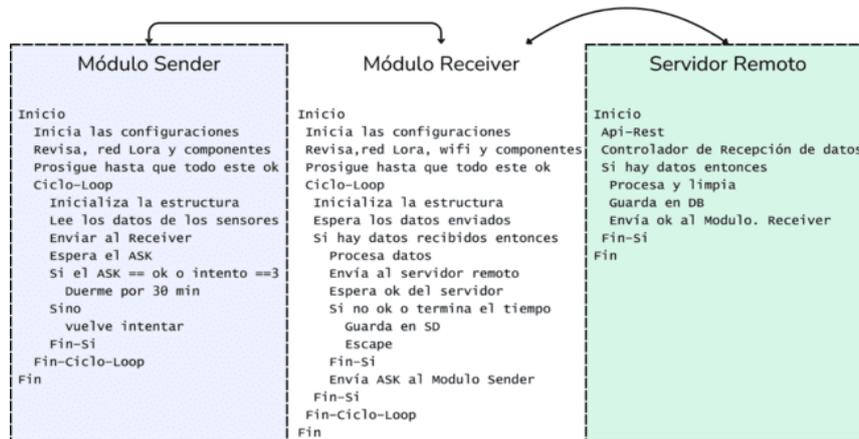


Figura 2. Pseudocódigo general de los módulos Sender y Receiver, así como del Servidor Remoto.

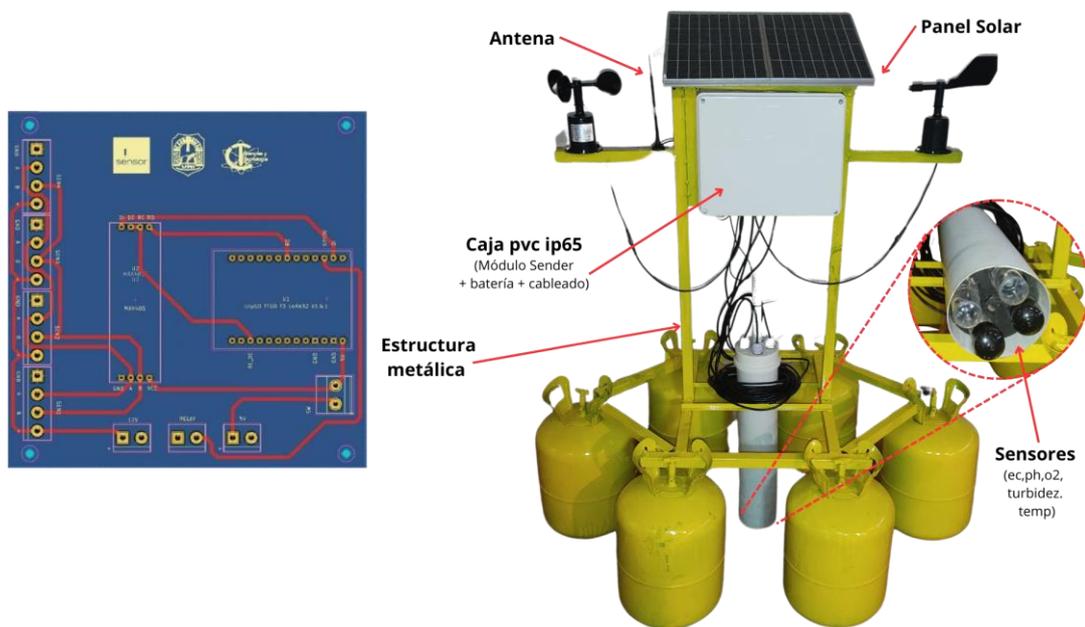


Figura 3. Izquierda: Diseño de PCB del módulo Sendero; Derecha: Prototipo terminado.

3.4.3. Calibración

Para la calibración, se siguió el procedimiento recomendado por el fabricante, que implica el uso de una solución conocida en laboratorio. Se utiliza un software proporcionado por el fabricante, el cual se ejecuta en una computadora conectada al sensor a través de un

adaptador de RS-485 a USB. El procedimiento general implica limpiar el sensor con agua destilada, eliminar cualquier exceso con un paño y luego sumergir el sensor en la solución conocida. Una vez que las lecturas se estabilizan, se considera que la calibración es válida. Se recomienda calibrar el sensor antes de su uso inicial y repetir el proceso cada 3 meses para usos prolongados.

Para el sensor de conductividad eléctrica (EC - RS-EC-N01-2), solo se requiere una solución estándar con un valor conocido de conductividad. En el caso del sensor de oxígeno disuelto (DO - RS-LDO-N01-1), se recomienda preparar una solución estándar de oxígeno cero y otra solución de 100% de oxígeno. Para el sensor de pH (RS-PH-N01-3), se necesitan dos soluciones tampón estándar con diferentes valores de pH. Si se mide una solución ácida, se utilizan las soluciones tampón de pH 4,01 y 6,86. Si se mide una solución alcalina, se usan las soluciones tampón de pH 6,86 y 9,18. Finalmente, el sensor de turbidez (RS-ZD-N01) se coloca en el agua destilada para poner en punto cero y luego se inserta el dispositivo al menos 5 cm en una solución estándar de 100 NTU, se espera que se estabilice para finalmente establecer los valores.

3.4.4. Pruebas Generales - Comunicación y muestreo

Se realizaron dos pruebas generales, la primera en la costanera Padre Bolik, en uno de los muelles y adyacencias, la segunda en costanera Mboi Ka'e (muelle) - Playa San José (Tabla 3). La prueba consistió en montar los sensores en una estructura, alimentar tanto el módulo sender como los sensores con una batería, la cual estaba conectada a un panel solar. Se dispuso esta estructura en agua para realizar las lecturas. Por otro lado, el módulo receiver era alimentado por una batería portátil y para facilitar la conexión con el servidor, se utilizó un teléfono con conexión a internet para crear una red wifi.

Tabla 3. Resumen de las pruebas realizadas en el proceso de toma de muestra y recepción del dato con coordenadas GPS, con una muestra de lectura.

| Punto de muestra | Punto de Recepción | Muestra |
|--|---|---|
| Muelle Costanera Padre Bolik Punto A (-27.319551, -55.867530) | Av. 3 (~465m) Punto B (-27.315632, -55.868663) | { "ec": 5.789999962, "ph": 6.789999962, "uuid": "33ee0027-fbe8-485b8-aa391-14ce790561", "intent": 3, "o2_con": 7.369999886, "o2_sat": 95.40000153, "temp_ec": 28.89999962, "temp_ph": 29.29999924, "timestamp": 1706137061, "turbidity": 27, "rssi_sender": -164, "rssi_receive": -101, "temp_turbidity": 28.29999924 } |
| Muelle Costanera Mboi ka'e Punto A (-27.316953, -55.893190) | Medicaciones Departamento Naval (~1.07 km) Punto B (-27.323836, -55.885337) | { "ec": 6.269999981, "ph": 7.039999962, "uuid": "3b309dc9-c4ba-484e3-aa3a1-3bc6ec0400", "intent": 1, "o2_con": 7.96999979, "o2_sat": 101.3099976, "temp_ec": 28.10000038, "temp_ph": 28.60000038, "timestamp": 1709295945, "turbidity": 2, |

| | | |
|---|--|--|
| Muelle Costanera Mboi ka'e Punto A (-27.316953, -55.893190) | Mirador Playa San José (~2.56 km) Punto B (-27.334316, -55.876116) | <pre>"rssi_sender": -164, "rssi_receive": -118, "temp_turbidity": 27.2000076 } { "ec": 6.2800021, "ph": 6.929999828, "uuid": "66037147-5f02-482df-aa76f-aea391d4ff", "intent": 1, "o2_con": 7.889999866, "o2_sat": 100.7099991, "temp_ec": 28.2000076, "temp_ph": 28.6000038, "timestamp": 1709297395, "turbidity": 2, "rssi_sender": -164, "rssi_receive": -121, "temp_turbidity": 27.39999962 }</pre> |
| Muelle Costanera Mboi ka'e Punto A (-27.316953, -55.893190) | Playa San José - Molino Harinero (~3.19km) Punto B (-27.339654, -55.873861) | <pre>{ "ec": 6.269999981, "ph": 6.889999866, "uuid": "0a221e0E-33b7-48f30-aa43f-cbab9f05ac", "intent": 1, "o2_con": 7.929999828, "o2_sat": 101.5199966, "temp_ec": 28.39999962, "temp_ph": 28.89999962, "timestamp": 1709299071, "turbidity": 2, "rssi_sender": -164, "rssi_receive": -118, "temp_turbidity": 27.7000076 }</pre> |

4. Conclusiones

En este estudio, se ha propuesto una estrategia para el monitoreo de la calidad del agua en el Río Paraná, utilizando sensores de bajo costo y una arquitectura tecnológica adecuada. Se han definido los requisitos técnicos, diseñado la arquitectura tecnológica, implementado y probado la solución propuesta. A través de una revisión bibliográfica, se identificaron los parámetros esenciales y se seleccionaron los sensores más apropiados, considerando tanto su costo como su robustez. Además, se analizaron diferentes ubicaciones para la instalación de los sensores, optando finalmente por una torre ubicada aguas arriba de la planta de tratamiento de agua.

La comunicación de datos se lleva a cabo mediante un protocolo LoRaWAN, que permite la transmisión de datos en tiempo real a una plataforma remota. La calibración de los sensores se realizó en laboratorio, siguiendo los procedimientos recomendados por el fabricante.

Las pruebas piloto realizadas en diferentes puntos del río han validado la funcionalidad de la solución propuesta. Se ha demostrado que es posible establecer estrategias para la captura de datos de la calidad del agua utilizando tecnologías accesibles.

En resumen, este trabajo proporciona una base para futuras investigaciones en el campo, destacando la importancia de la integración de tecnologías para la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Conflicto de interés: El autor Diego Liebel declara que no existe ningún conflicto de interés con respecto a la publicación de este artículo.

Agradecimientos: Agradecemos a la Dra. Estelvina Rodríguez Portillo por el apoyo técnico en la calidad de agua. A la Facultad de Ciencias y Tecnología por cedernos el espacio para trabajar en los Laboratorios de Electrónica y Laboratorio de Agua.

Bibliografía

1. Graf Rey, Marcia Simone. La importancia del Acuífero Guaraní para Sudamérica: Relación abundancia-escasez. Online. [Accessed 1 March 2024].
2. Borrero García, Carolina And Husserl, Johana. Metodología para determinación del índice de calidad del agua a partir de parámetros fáciles de medir en campo. 2018.
3. Pacheco Figueredo, Viviana Marilyn; Servín Nasich, María Rosa; Servín Santa Cruz, Miguel Ángel; Velázquez Hauron, Edith Jacqueline. Título del libro: Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos para la Ciudad de Encarnación. Online. [Accessed 10 August 2023]. Available from: www.cyt.uni.edu.py
4. Vogt Penzkofer, Christian, Laino Guanes, Rafaela, And Eisenkölbl Closs, Alicia Raquel. *Gestión integrada de los recursos hídricos en Obligado y Hohenau, Departamento Itapúa, Paraguay*. Universidad Nacional de Itapúa. 2019.
5. Resck, Rodrigo. CIUDAD + AGUA: Recursos Hídricos en la Zona Metropolitana de Asunción Una perspectiva del Diseño y la Planificación Urbana. Online. 2017. [Accessed 14 February 2024]. Available from: <http://repositorio.conacyt.gov.py/ezproxy-cicco.conacyt.gov.py/handle/20.500.14066/2664> CONACYT – Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
6. Velázquez Haurón, Edith Jacqueline And Cabrera Romero, María Gloria. Lineamientos para políticas de adecuación ambiental de la cuenca Mboi Caé, Encarnación. *v9 n2 (20220701): 217-224*. 30 July 2022, p. 217–224. DOI 10.30545/academo.2022.jul-dic.9.
7. Cegarra Sánchez, José. *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. - 21 Diciembre 2011, 2004. ISBN 8479786248.
8. De Camargo, Edson Tavares, Spanhol Fabio Alexandre, Slongo Scholz Juliano, Rocha Da Silva, Marcos Vinicius, Pazinato Jaqueline, De Lima Lobo, Adriana Vechai, Coutinho, Fábio Rizental, Dafico Pfrimer, Felipe Walter, Lindino, Cleber Antonio, Oyamada, Marcio Seiji And Martins, Leila Droprinchinski. Low-Cost Water Quality Sensors for IoT: A Systematic Review. *Sensors 2023, Vol. 23, Page 4424*. Online. 30 April 2023, no. 9. [Accessed 12 February 2024].
9. Paepae, Thulane, Bokoro, Pitshou N. And Kyamakya, Kyandoghere. From Fully Physical to Virtual Sensing for Water Quality Assessment: A Comprehensive Review of the Relevant State-of-the-Art. *Sensors 2021, Vol. 21, Page 6971*. Online. 20 October 2021. [Accessed 14 February 2024]. DOI 10.3390/S21216971
10. Quevy, Quentin, Lamrini, Mimoun, Chkouri, Mohamedm, Cornetta, Gianluca, Touhafi, Abdellah And Campo, Alexandre. Open Sensing System for Long Term, Low Cost Water Quality Monitoring. *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*. 2023. Vol. 4, p. 27–41. DOI 10.1109/OJIES.2022.3233919.

11. Hasan, Iqbal, Mukherjee, Malobika, Halder, Rumi, Rubina, Farzana Yeasmin And Razzak, Md Abdur. Development of an IoT-Based Low-Cost Multi-Sensor Buoy for Real-Time Monitoring of Dhaka Canal Water Condition. *2022 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference, IEMTRONICS 2022*. DOI 10.1109/IEMTRONICS55184.2022.9795775.
12. Bogdan, Razvan, Paliuc, Camelia, Crisan-Vida, Mihaela, Nimara, Sergiu And Barmayoun, Darius. Low-Cost Internet-of-Things Water-Quality Monitoring System for Rural Areas. *Sensors 2023, Vol. 23, no. 8, Page 3919*. Online. 12 April 2023. [Accessed 14 February 2024]. DOI 10.3390/S23083919.
13. De Marinho, P. F.C., Santana, G. M., Felix, M. L., De Medeiros Morais, R., Santos, A. A. And De Jesus, R. M. Intelligent, low-cost, high-performance system for environmental air quality monitoring through integrated gas, temperature, and humidity analysis. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Online. 6 December 2023. Vol. 21, no. 5, p. 4881–4898. [Accessed 14 February 2024]. DOI 10.1007/S13762-023-05309-6/METRICS.
14. Aghenta, Lawrence Oriaghe And Iqbal, Mohammad Tariq. Low-Cost, Open Source IoT-Based SCADA System Design Using Thingier.IO and ESP32 Thing. *Electronics 2019, Vol. 8, no. 8, Page 822*. Online. 24 July 2019. [Accessed 15 February 2024]. DOI 10.3390/ELECTRONICS8080822.
15. Nur-A-Alam, Ahsan, Mominul, Based, Md Abdul, Haider, Julfikar And Rodrigues, Eduardo M.G. Smart Monitoring and Controlling of Appliances Using LoRa Based IoT System. *Designs 2021, Vol. 5, Page 17*. Online. 9 March 2021. [Accessed 15 February 2024]. DOI 10.3390/DESIGNS5010017.
16. Resolución MADES. Patrón de calidad de agua. *MADES - Resolución* - Online. 2002. [Accessed 15 February 2024]. Available from: https://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2019/05/Resolucion_222_02-Padr%C3%B3n-de-calidad-de-las-aguas.pdf.