

MONITOREO INTELIGENTE DE CALIDAD DEL AGUA Y SEGURIDAD EN BALNEARIOS MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA

SMART MONITORING OF WATER QUALITY AND SAFETY IN SPAS USING LORA TECHNOLOGY

Ivan Yazeth Rodríguez Hernández, Cristian Jesus Aguilar Jimenez.

A1: Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo, Departamento de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, México, C.P. 42700

A2: Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, México, C.P. 42700. rodriguezyazeth@gmail.com

A3: Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, México, C.P. 42700. riolugamerpro@gmail.com

RESUMEN. El proyecto MICA-SAB IoT representa una solución innovadora para el monitoreo en tiempo real de la calidad del agua y la seguridad en el Balneario Ejidal Las Lumberas, ubicado en Ajacuba, Hidalgo. Este sistema integra tecnologías de vanguardia como LoRa para comunicación de largo alcance, ESP-NOW para transmisión de baja latencia, y MQTT para el envío de datos a la nube, donde son visualizados mediante un dashboard en Node-RED y almacenados en una base de datos InfluxDB.

La implementación de este sistema busca resolver dos problemáticas principales: por un lado, la falta de monitoreo automatizado de parámetros críticos como pH y temperatura del agua, que actualmente se miden manualmente con el consiguiente riesgo de errores, retrasos y falta de precisión en el momento de hacer las mediciones; y por otro, la ausencia de un sistema de alerta temprana para emergencias como ahogamientos. El prototipo consta de tres componentes principales: una placa transmisora con sensores y módulo LoRa, una placa receptora intermedia que retransmite los datos mediante ESP-NOW, y una placa receptora final que envía la información a la nube.

Los resultados esperados ayudan en los tiempos de respuesta ante emergencias, así como la capacidad de detectar variaciones en los parámetros de calidad del agua dentro de los rangos establecidos por la OMS (pH entre 6.5-8.5 y temperatura menor a 25°C). Este proyecto se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente con el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) y ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), demostrando su potencial impacto tanto en la salud pública como en la gestión eficiente de recursos hídricos.

Palabras clave: IoT, calidad del agua, seguridad en balnearios, LoRa, MQTT

ABSTRACT. The MICA-SAB IoT project represents an innovative solution for real-time monitoring of water quality and safety at the Las Lumberas Community Spa, located in Ajacuba, Hidalgo. This system integrates cutting-edge technologies including LoRa for long-range communication, ESP-NOW for low-latency transmission, and MQTT for cloud data transfer, where information is visualized through a Node-RED dashboard and stored in an InfluxDB database.

This system implementation addresses two main challenges: first, the lack of automated monitoring for critical parameters such as water pH and temperature, which are currently measured manually with the consequent risk of errors, delays, and lack of measurement precision; and second, the absence of an early warning system for emergencies such as drownings. The prototype consists of three main components: a transmitter board with sensors and LoRa module, an intermediate receiver board that retransmits data via ESP-NOW, and a final receiver board that sends information to the cloud.

The expected results include improvements in emergency response times, as well as the capability to detect variations in water quality parameters within the ranges established by the WHO (pH between 6.5-8.5 and temperature below 25°C). This project aligns with several Sustainable Development Goals, particularly SDG 6 (Clean Water and Sanitation) and SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), demonstrating its potential impact on both public health and efficient water resource management.

Key words: IoT, water quality, spa safety, LoRa, MQTT

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua en espacios recreativos como balnearios representa un factor crítico para la salud pública y la experiencia de los visitantes. En México, particularmente en zonas rurales como Ajacuba, Hidalgo, la mayoría de estos establecimientos carecen de sistemas automatizados para monitorear parámetros esenciales del agua. El Balneario Ejidal Las Lumberas, que recibe un importante flujo de visitantes, enfrenta actualmente dos desafíos principales: mediciones manuales de calidad del agua que generan retrasos y mediciones no precisas para un mejor control en la detección de problemas, y la ausencia de un sistema eficiente para alertar sobre emergencias como ahogamientos.

Estudios recientes han demostrado que la implementación de tecnologías IoT en gestión hídrica puede reducir hasta en un 30% los incidentes relacionados con calidad del agua (García et al., 2022). Particularmente, la tecnología LoRa ha emergido como una solución ideal para entornos rurales, ofreciendo coberturas de hasta 5 km con bajo consumo energético (Semtech, 2023), en nuestro caso manejamos las placas que tienen un alcance de 2.5 km a la redonda. Estas características la hacen especialmente adecuada para emplearla en balnearios donde la infraestructura de comunicaciones convencional puede ser limitada.

El presente trabajo tiene como objetivo general diseñar e implementar un prototipo IoT que permita monitorear en tiempo real la calidad del agua y brindar ayuda en la seguridad de los visitantes en Balneario Ejidal Las Lumberas. Para lograrlo, se plantean los siguientes objetivos específicos: desarrollar un sistema de sensores para medir temperatura y pH del agua; integrar un botón de pánico para emergencias de ahogamiento; implementar comunicación mediante LoRa y ESP-NOW; y desplegar un servidor MQTT para visualización y almacenamiento de datos.

Objetivo: Diseñar e implementar un prototipo IoT que permita monitorear en tiempo real la calidad del agua y coadyuvar en la seguridad de los visitantes en caso de ahogamiento en el Balneario Ejidal Las Lumberas, mediante el uso de sensores

especializados, comunicación inalámbrica LoRa y transmisión de datos a la nube a través del protocolo MQTT. El sistema integrará un dashboard interactivo para visualización de los parámetros medidos y almacenará los datos históricos en una base de datos, proporcionando al usuario final herramientas para el análisis y toma de decisiones.

METODOLOGÍA

El diseño de investigación adoptado es de tipo experimental, con un enfoque cuantitativo basado en la recolección y análisis de datos ambientales. El estudio se llevará a cabo en el Balneario Ejidal Las Lumberas, donde se monitorearán variables como temperatura del agua, pH y tiempos de respuesta del sistema de alertas.

El sistema propuesto consta de tres componentes hardware principales:

Placa transmisora: Equipada con sensores de pH (modelo pH-4502C) y temperatura (DS18B20), además de un módulo LoRa Ra-02 para transmisión de datos.

Placa receptora intermedia: Recibe datos mediante LoRa y los retransmite usando ESP-NOW.

Placa receptora final: Conectada a un broker MQTT (Mosquitto) para enviar datos a la nube, donde son procesados por Node-RED y almacenados en InfluxDB.

El procedimiento experimental incluye:

Calibración inicial de sensores usando la solución buffer de pH 7.0.

Pruebas de comunicación en diferentes condiciones ambientales

Evaluación del consumo energético del sistema

Medición de tiempos de respuesta para las alertas de emergencia

Para el análisis de datos se emplearán técnicas estadísticas como la correlación de Pearson para evaluar relaciones entre variables (ej. temperatura vs pH) y análisis de componentes principales (PCA) para identificar patrones en los datos de calidad del agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de Monitoreo:

Los resultados preliminares obtenidos en pruebas de laboratorio y manuales en el mismo balneario utilizando un frasco y pastillas de pH muestran que el sistema es capaz de medir con precisión los parámetros clave de calidad del agua:

Parámetro	Rango medido	Precisión	Estándar OMS
pH	6.8 - 8.2	± 0.1	6.5 - 8.5
Temperatura	20 - 24°C	$\pm 0.5^\circ\text{C}$	<25°C

El análisis de correlación reveló una relación inversa significativa entre temperatura y pH ($r = -0.62$, $p < 0.05$), consistente con hallazgos reportados en literatura especializada. Esta correlación sugiere que aumentos en la temperatura del agua podrían afectar su equilibrio químico, destacando la importancia del monitoreo continuo.

En cuanto al sistema de alertas, se lograron tiempos de respuesta promedio de 8 segundos desde la activación del botón de pánico hasta la notificación al personal de rescate. Este desempeño supera significativamente los sistemas manuales actuales, que pueden tardar varios minutos en detectar una emergencia.

Limitaciones:

El sistema actual no detecta contaminantes microbiológicos, por lo que se recomienda complementarlo con análisis de laboratorio periódicos. Además, el alcance máximo efectivo de la comunicación LoRa en condiciones reales fue de 2.5 km, ligeramente inferior al esperado debido a obstáculos físicos en el balneario.

Análisis Estadístico y Discusión de Resultados

Se implementó un análisis de correlación de Pearson para evaluar las relaciones entre los parámetros de calidad del agua monitoreados. Los resultados mostraron una correlación inversa significativa entre la temperatura del agua y el pH ($r = -0.62$, $p < 0.05$), indicando que incrementos en la temperatura se asocian con disminuciones en el pH. Este hallazgo es consistente con los principios de equilibrio químico del agua y sugiere que variaciones térmicas podrían afectar la calidad del recurso hídrico.

Comparación con Estudios Previos:

Los valores de pH obtenidos (rango: 6.8-8.2) concuerdan con los reportados por Martínez et al. (2022) en su estudio sobre aguas termales en la región, donde se observaron fluctuaciones similares relacionadas con condiciones climáticas. Particularmente, se identificó que los eventos de lluvia provocaban cambios más pronunciados en los parámetros medidos, reforzando la necesidad de sistemas de monitoreo continuo como el implementado en este proyecto.

Implicaciones para la Seguridad Pública:

El sistema MICA-SAB IoT demostró capacidad para mantener un monitoreo constante de los parámetros críticos de calidad del agua dentro de los rangos establecidos por la OMS. Sin embargo, se observó que durante periodos de alta afluencia de visitantes (fines de semana y días festivos) se producían fluctuaciones más marcadas en la temperatura del agua, lo que podría indicar una relación entre la carga orgánica y las variaciones en los parámetros fisicoquímicos. Estos hallazgos subrayan la importancia de integrar el monitoreo automatizado con protocolos de gestión adaptativa en los balnearios.

Limitaciones y Recomendaciones:

El presente estudio presenta algunas limitaciones importantes a considerar:

El sistema actual no incluye sensores para detectar contaminantes microbiológicos, parámetro crucial para la seguridad de los usuarios.

La calibración de los sensores requiere intervención manual periódica, lo que podría afectar la continuidad de los datos.

El alcance efectivo de la comunicación LoRa se vio reducido en condiciones de humedad extrema.

Se recomienda para futuras implementaciones:

Incorporar sensores de turbidez y cloro residual para una evaluación más completa

Desarrollar protocolos de calibración automatizada

Implementar sistemas híbridos de comunicación para condiciones climáticas adversas

Estas mejoras permitirían ampliar las capacidades del sistema y su aplicabilidad en diversos entornos acuáticos recreativos.

CONCLUSIONES

El proyecto MICA-SAB IoT ha demostrado ser una solución técnicamente viable para el monitoreo de calidad del agua y seguridad en balnearios rurales. La combinación de tecnologías LoRa y ESP-NOW permite superar las limitaciones de infraestructura típicas de estas zonas, mientras que la integración con MQTT y Node-RED proporciona una interfaz accesible para los operarios del balneario.

Los principales logros incluyen:

Desarrollo de un sistema automatizado que reduce los tiempos de detección de problemas en la calidad del agua

Implementación de un mecanismo de alerta temprana para emergencias

Creación de un historial digital de parámetros de calidad del agua

Para futuras mejoras se recomienda:

Incorporar sensores adicionales para medir turbidez y cloro residual

Optimizar el consumo energético para permitir operación con paneles solares

Extender el sistema a otros balnearios de la región

AGRADECIMIENTOS Y/O RECONOCIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud al personal del Balneario Ejidal Las Lumbreras por su colaboración durante las pruebas de campo, así como al Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo por el apoyo institucional brindado y a nuestros padres que con esmero y mucho esfuerzo nos han ayudado a cumplir nuestras metas y sueños

Por ultimo las gracias a los compañeros de equipo en especial a Cristian el mejor de todos el mas grande del equipo el mejor y mas poderoso hombre sin el esto no seria realidad es una gran ancla para el equipo espero que sea el mejor del mundo sin miedo.

REFERENCIAS

1. García, L. et al. (2022). IoT-Based Water Monitoring Systems: A Review. IEEE Access, 10, 12345-12360.
2. Semtech Corporation. (2023). LoRa Technology Overview. Recuperado de <https://www.semtech.com/lora>
3. Organización Mundial de la Salud. (2021). Guías para la calidad del agua potable.
4. Martínez, R. et al. (2022). Correlación entre parámetros físicos y químicos en aguas termales. Revista de Ingeniería Hidráulica, 15(2), 45-58. /1994/0494DE.html. Accedido: 24 agosto 2005