



Monitoreo inteligente de calidad de agua mediante IoT: prototipo aplicado a la ASADA de La Lucha en San Carlos, Costa Rica

Intelligent Water Quality Monitoring Using IoT: Prototype Applied to the ASADA of La Lucha in San Carlos, Costa Rica

Michael Gerardo Bolaños Salas

Universidad Católica de Costa Rica - mlbolanos1@gmail.com – ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0924-496X> 

Recepción: 21 de mayo de 2026 – Revisado: 9 de junio de 2026 – Aprobado: 22 de junio de 2026

Resumen

El artículo presenta el diseño de un prototipo basado en Internet de las Cosas para el monitoreo inteligente de la calidad del agua en la ASADA de La Lucha, en San Carlos, Costa Rica. La propuesta responde a la necesidad de fortalecer la supervisión continua y trazable de parámetros como pH, turbidez, conductividad, cloro residual y caudal, mediante sensores, microcontrolador ESP32, comunicación LoRaWAN y una plataforma digital de visualización. El estudio concluye que las tecnologías IoT pueden contribuir a modernizar la gestión de acueductos rurales, al facilitar la captura automática de datos, la detección temprana de variaciones y la toma de decisiones preventivas en la administración comunitaria del agua potable.

Palabras clave: Internet de las Cosas, calidad del agua, ASADA, monitoreo inteligente, acueductos rurales.

Abstract

This article presents the design of an Internet of Things-based prototype for intelligent water quality monitoring in the ASADA of La Lucha, located in San Carlos, Costa Rica. The proposal responds to the need to strengthen continuous and traceable monitoring of parameters such as pH, turbidity, conductivity, residual chlorine, and flow rate through sensors, an ESP32 microcontroller, LoRaWAN communication, and a digital visualization platform. The study concludes that IoT technologies can contribute to modernizing the management of rural water supply systems by enabling automatic data collection, early detection of variations, and preventive decision-making in community-based drinking water administration.

Keywords: Internet of Things, water quality, ASADA, intelligent monitoring, rural water supply systems.



Introducción

La presente investigación deriva del Trabajo Final de Graduación (TFG) del grado de Bachillerato en Ingeniería en Sistemas de la Universidad Católica de Costa Rica, cuyo propósito fue diseñar un prototipo tecnológico orientado al monitoreo inteligente de la calidad del agua potable mediante el uso del Internet de las Cosas (IoT).

El acceso al agua potable segura constituye un elemento fundamental para la salud pública y el desarrollo sostenible. Sin embargo, muchas organizaciones comunitarias encargadas de la distribución del agua, como las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADAS), enfrentan limitaciones tecnológicas para supervisar en tiempo real parámetros críticos de calidad del agua, dependiendo en muchos casos de mediciones manuales periódicas que dificultan una respuesta inmediata ante anomalías.

En este contexto, la investigación propone el diseño conceptual de un prototipo IoT aplicado a la ASADA de La Lucha, ubicada en San Carlos, Costa Rica, con el fin de fortalecer la capacidad de monitoreo preventivo mediante sensores conectados, transmisión de datos en tiempo real y visualización remota de indicadores relevantes.

La propuesta integra tecnologías emergentes propias de la Industria 4.0, orientadas a mejorar la gestión

operativa, reducir riesgos asociados a contaminación o fallas en el sistema y promover una administración más eficiente del recurso hídrico.

Asimismo, el estudio se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente con el ODS 6 relacionado con agua limpia y saneamiento, evidenciando cómo la innovación tecnológica puede contribuir al bienestar comunitario y a la sostenibilidad ambiental.

Marco conceptual

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la interconexión de dispositivos físicos capaces de recopilar, procesar y transmitir información a través de redes de comunicación, permitiendo automatización, monitoreo y toma de decisiones basada en datos en tiempo real. En el contexto del monitoreo hídrico, IoT permite integrar sensores especializados para medir variables físico-químicas del agua, enviando la información hacia plataformas digitales para su análisis continuo.

Calidad del agua

La calidad del agua corresponde al conjunto de características físicas, químicas y biológicas que determinan su aptitud para el consumo humano y otros usos. Entre los parámetros comúnmente monitoreados se encuentran:

- pH
- turbidez
- temperatura
- conductividad eléctrica



- sólidos disueltos totales (TDS)
- oxígeno disuelto
- niveles de cloro residual

El seguimiento constante de estos indicadores permite detectar alteraciones que podrían representar riesgos sanitarios.

Sensores IoT aplicados al monitoreo del agua

Los sensores constituyen el componente principal del sistema propuesto, ya que permiten capturar información del entorno físico. Dependiendo del diseño del prototipo, pueden incorporarse sensores como:

- Sensor de pH
- Sensor de turbidez
- Sensor de temperatura
- Sensor TDS
- Sensor de flujo
- Sensor de nivel de agua

Estos dispositivos permiten automatizar procesos de supervisión que tradicionalmente requieren intervención manual.

Arquitectura IoT

La arquitectura conceptual del sistema se estructura en tres capas:

Capa de percepción

Encargada de la captura de datos mediante sensores instalados en puntos estratégicos del sistema de distribución.

Capa de red

Responsable de la transmisión de datos mediante tecnologías de conectividad como Wi-Fi, GSM, LoRaWAN o protocolos MQTT.

Capa de aplicación

Permite visualizar, analizar y gestionar la información a través de dashboards, alertas y sistemas de reportes.

Sistemas inteligentes de monitoreo

Los sistemas inteligentes combinan sensores, conectividad, almacenamiento y análisis de datos para generar supervisión automatizada y alertas tempranas. En sistemas de agua potable, esto permite:

- detectar contaminación
- anticipar fallos operativos
- optimizar mantenimiento
- mejorar tiempos de respuesta
- reducir costos operativos

ASADAS en Costa Rica

Las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADAS) son organizaciones comunitarias responsables de administrar sistemas de abastecimiento de agua en múltiples comunidades costarricenses. Estas entidades frecuentemente operan con recursos limitados, lo que representa una oportunidad para incorporar soluciones tecnológicas escalables y económicamente viables.

Sostenibilidad y ODS

La investigación se relaciona con:

- **ODS 6:** Agua limpia y saneamiento
- **ODS 9:** Industria, innovación e infraestructura
- **ODS 11:** Comunidades y ciudades sostenibles



El uso de IoT en gestión hídrica promueve eficiencia, sostenibilidad y resiliencia comunitaria.

Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, al integrar elementos cualitativos y cuantitativos con el propósito de comprender la problemática actual relacionada con el monitoreo de la calidad del agua potable y, simultáneamente, diseñar una propuesta tecnológica viable basada en Internet de las Cosas (IoT).

Desde la perspectiva cualitativa, se realizó un análisis contextual del funcionamiento operativo de la Asociación Administradora del Sistema de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADA) de La Lucha, identificando necesidades, limitaciones y oportunidades de mejora en los procesos de supervisión y control de parámetros de calidad del agua.

En el componente cuantitativo, se consideró la recopilación y análisis de variables técnicas relacionadas con parámetros físico-químicos del agua, tales como temperatura, turbidez, pH y otros indicadores relevantes para el monitoreo automatizado.

El estudio corresponde a una investigación aplicada, debido a que busca resolver una problemática específica mediante el diseño de una solución tecnológica orientada a mejorar procesos operativos reales.

Asimismo, presenta un alcance descriptivo y propositivo, ya que inicialmente describe el contexto actual de la organización y posteriormente

plantea una propuesta funcional basada en tecnologías emergentes.

El diseño metodológico fue no experimental y transversal, dado que no se manipularon variables independientes durante el proceso investigativo y la información fue recolectada dentro de un periodo específico de análisis.

Población y muestra

La población de estudio estuvo conformada por el entorno operativo relacionado con la gestión del recurso hídrico dentro de la ASADA de La Lucha, incluyendo procesos administrativos, técnicos y operativos vinculados al monitoreo de calidad del agua.

Debido a la naturaleza aplicada del proyecto, la muestra estuvo centrada en el caso específico de estudio correspondiente a dicha organización comunitaria, considerando sus procesos actuales, necesidades tecnológicas y condiciones operativas.

Técnicas e instrumentos de recolección de información

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron las siguientes técnicas:

Observación directa: Permite analizar el funcionamiento actual del sistema de monitoreo y control empleado por la organización.

Análisis documental: Se revisó normativa relacionada con calidad del agua potable, documentación técnica sobre IoT, investigaciones previas y estándares tecnológicos aplicables.



Entrevista o levantamiento de requerimientos:

Se recopilaron necesidades funcionales y técnicas relacionadas con la supervisión del sistema hídrico.

Modelado de arquitectura tecnológica:

Se diseñó la estructura conceptual del prototipo considerando sensores, conectividad, procesamiento y visualización de datos.

Instrumentos utilizados

Entre los instrumentos empleados se contemplaron:

- Guía de observación
- Matriz de análisis de requerimientos
- Revisión bibliográfica especializada
- Diagramas de arquitectura del sistema
- Modelos conceptuales del prototipo IoT

Desarrollo

Como parte del proceso investigativo, se diseñó una propuesta tecnológica orientada al monitoreo inteligente de calidad del agua mediante Internet de las Cosas (IoT), tomando como caso de estudio la ASADA de La Lucha en San Carlos, Costa Rica. El desarrollo de la propuesta se estructuró en varias fases, con el propósito de garantizar una solución alineada con las necesidades identificadas durante el análisis del contexto operativo.

Análisis de requerimientos

En esta fase se identificaron las principales necesidades funcionales y técnicas relacionadas con el monitoreo de calidad del agua. Entre los requerimientos identificados destacan:

- supervisión continua de parámetros críticos del agua
- acceso remoto a información en tiempo real
- almacenamiento histórico de datos
- generación automática de alertas
- facilidad de mantenimiento
- escalabilidad futura del sistema
- bajo costo operativo

Este análisis permitió definir el alcance funcional del prototipo.

Diseño de arquitectura del sistema

A partir de los requerimientos identificados, se definió una arquitectura IoT basada en tres capas tecnológicas.

Capa de percepción

Encargada de capturar información física mediante sensores conectados.

Sensores propuestos:

- sensor de pH
- sensor de turbidez
- sensor de temperatura
- sensor TDS
- sensor de nivel de agua

Estos dispositivos permiten obtener mediciones continuas del estado del recurso hídrico.

Capa de comunicación



Permite transferir información desde los sensores hacia la plataforma de monitoreo. Tecnologías consideradas:

- Wi-Fi
- protocolo MQTT
- conectividad GSM/4G
- LoRaWAN (según disponibilidad)

Esta capa garantiza interoperabilidad entre dispositivos y plataforma central.

Capa de aplicación

Responsable del procesamiento, visualización y análisis de datos. Funciones propuestas:

- dashboard de monitoreo
- panel de alertas
- histórico de mediciones
- reportes automáticos
- acceso remoto administrativo

Selección tecnológica

Para la implementación conceptual del sistema se consideraron tecnologías compatibles con soluciones IoT de bajo costo. Entre ellas:

Hardware:

- ESP32 o microcontrolador equivalente
- sensores de monitoreo hídrico
- módulos de comunicación

Software:

- plataforma dashboard IoT
- almacenamiento en nube
- protocolo MQTT
- motor de alertas

Diseño funcional del prototipo

El flujo operativo esperado del sistema es:

1. Los sensores capturan datos del agua.
2. El microcontrolador procesa la información.
3. Los datos se transmiten mediante red.
4. La plataforma central recibe y almacena información.
5. El dashboard muestra datos en tiempo real.
6. Si existe anomalía, se genera alerta automática.

Validación conceptual

Debido al alcance académico del proyecto, el desarrollo corresponde a una propuesta funcional conceptual diseñada para futura implementación piloto dentro de la organización.

Resultados

Los resultados obtenidos evidencian la existencia de oportunidades significativas de mejora en los procesos actuales de supervisión de calidad del agua dentro de la ASADA de La Lucha.

Se identificó que los mecanismos tradicionales de monitoreo presentan limitaciones relacionadas con:

- dependencia de mediciones manuales
- tiempos prolongados de respuesta ante anomalías
- dificultad para supervisión continua
- limitaciones en trazabilidad histórica de datos
- ausencia de alertas automatizadas



A partir del análisis realizado, se determinó que la incorporación de tecnologías IoT representa una alternativa técnicamente plausible para optimizar la gestión del recurso hídrico.

Como resultado principal, se desarrolló una propuesta conceptual de prototipo inteligente orientada al monitoreo automatizado de parámetros críticos del agua potable.

Conclusiones

La investigación permitió identificar limitaciones importantes en los mecanismos tradicionales de supervisión de la calidad del agua utilizados en entornos comunitarios, especialmente en organizaciones rurales como las ASADAS, donde los procesos de monitoreo suelen depender de mediciones manuales, registros dispersos y capacidades técnicas limitadas. Esta situación evidencia la necesidad de incorporar herramientas que faciliten la trazabilidad, el seguimiento continuo y la generación de información oportuna para la toma de decisiones.

El diseño del prototipo IoT evidencia que es técnicamente posible desarrollar una solución de monitoreo inteligente orientada a mejorar la gestión preventiva del recurso hídrico. La integración de sensores, microcontroladores, comunicación de largo alcance y plataformas digitales permite automatizar la captura y transmisión de datos relacionados con parámetros críticos de calidad del agua, aportando una alternativa accesible y adaptable a las condiciones operativas de una comunidad rural.

La arquitectura propuesta fortalece la capacidad de respuesta ante eventos críticos, ya que permite pasar de un

modelo de control reactivo a un enfoque preventivo basado en datos. Al contar con mediciones más frecuentes y registros históricos, la ASADA podría detectar variaciones relevantes en la calidad del agua, documentar comportamientos del sistema y actuar con mayor rapidez ante posibles riesgos sanitarios u operativos.

Asimismo, la propuesta demuestra cómo las tecnologías emergentes pueden aplicarse en contextos comunitarios costarricenses para generar impacto social, ambiental y operativo. Más allá de su valor técnico, el prototipo representa una oportunidad para fortalecer la gestión comunitaria del agua, promover el uso responsable del recurso hídrico y mejorar la confianza de la población usuaria mediante procesos más transparentes y sustentados en información.

Finalmente, el proyecto aporta una base conceptual y técnica para futuras implementaciones reales que permitan validar el desempeño del sistema en entornos productivos. Se recomienda continuar con pruebas en condiciones reales de operación, establecer planes de calibración y mantenimiento de sensores, mejorar la protección física de los componentes y valorar la replicabilidad del modelo en otras ASADAS rurales del país. De esta forma, el prototipo puede convertirse en un punto de partida para soluciones tecnológicas sostenibles orientadas a la gestión inteligente del agua potable.

Referencias

- Abrajano, J. V., et al. (2024). *IoT based water quality monitoring system in Philippine off grid communities*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2410.14619>
- Academia TEC. (2023). *Sistema de monitorización IoT para la producción de*



- agua [Tesis]. Repositorio TEC. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/238/15130>
- Busacca, F., et al. (2024). A wireless sensor network IoT platform for consumption and quality monitoring. *SN Applied Sciences*. https://www.researchgate.net/publication/386389816_A_wireless_sensor_network_IoT_platform_for_consumption_and_quality_monitoring_of_drinking_water
 - Chaves Campos, A., et al. (2011). Desarrollo de una red de monitoreo por sensores remotos de la calidad de agua. *Tecnología en Marcha*. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/202
 - Espressif Systems. (2023). ESP32 series datasheet. <https://www.espressif.com>
 - Kerzner, H. (2017). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (12th ed.). Wiley.
 - Krklješ, D. B., et al. (2023). Low cost Internet of Things water quality monitoring system. *Sensors*. <https://arxiv.org/abs/2307.11630>
 - Ley N.º 8968, Protección de la Persona frente al Tratamiento de sus Datos Personales, Costa Rica.
 - Milesight. (2023). UG87 LoRaWAN gateway. <https://www.milesight.com>
 - Ministerio de Salud. (2015). *Reglamento para la calidad del agua potable* (Decreto Ejecutivo N.º 38924-S). http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=101480&strTipM=TC
 - Oviedo Crespo, S. A. (2021). *Diseño e implementación de prototipo IoT para el monitoreo remoto* [Tesis]. UPS DSpace. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20344>
 - Prasad, S., et al. (2020). *Smart water quality monitoring system with cost effective using IoT*. PMC.
 - Project Management Institute. (2021). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (PMBOK® Guide)* (7.ª ed.). Project Management Institute.
 - Rojas Vargas, J. R. (2016). *Sistema inteligente de monitoreo basado en sistemas embebidos* [Proyecto de graduación, Universidad de Costa Rica]. RUCR. <https://ruie.ucr.ac.cr/catalogo/Record/NII-UIR-CD-19071/Description>
 - Solé Barahona, I. A. (2023). *Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de parámetros de calidad del agua* [Trabajo final, Universidad de Costa Rica]. RUCR. <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/handle/123456789/23440>
 - United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
 - Vásquez Morera, J. (2019). *Monitoreo de la calidad de las aguas superficiales en Costa Rica* [Trabajo de graduación, Universidad de Costa Rica]. Repositorio UCR. <https://hdl.handle.net/10669/79313>

