Abstract

Access to drinking water is a basic human right for survival and well-being, as it reduces the risk of diseases associated with its contamination, which have a significant impact on public health. Hence, one of the strategies to determine its quality is to monitor and control the state of its physicochemical parameters. This article presents the results of a documentary review aimed at analyzing scientific research on water quality monitoring systems using wireless sensors oriented towards the Internet of Things (IoT). Additionally, it proposes the design of a cost-effective and efficient system for the water supply network of Cumaná, which continuously monitors quality parameters. The methodology involves the search, selection, and analysis of studies, which demonstrated that 70% of the equipment was built with Arduino technology microcontrollers. The sensors used for obtaining the most monitored physicochemical parameters: pH, temperature, and turbidity, were extensively tested. Furthermore, they are characterized by their versatility, low energy consumption, and wide availability in the market; qualities that make them scalable and more accessible for Venezuelan institutions interested in using this system for water quality monitoring

Keywords: water quality; IoT sensors; aqueducts; real-time monitoring

Resumen

El acceso al agua potable es un derecho humano básico para la supervivencia y el bienestar, por cuanto reduce el riesgo de enfermedades asociadas a su contaminación, que tienen gran impacto en la salud pública. De allí que, una de las estrategias para determinar su calidad es monitorear y controlar el estado de sus parámetros fisicoquímicos. En este artículo se presentan los resultados de una revisión documental que tuvo como objetivo analizar investigaciones científicas sobre los sistemas de monitoreo de la calidad del agua utilizando sensores inalámbricos orientado al internet de las cosas (IoT). El documento propone el diseño de un sistema rentable y eficiente para la red de acueductos de la ciudad de Cumaná; que monitoree los parámetros de calidad ininterrumpidamente. La metodología corresponde a la búsqueda, selección y análisis de los estudios que permitió demostrar que el 70% de los equipos fueron construidos con microcontroladores de tecnología Arduino. Los sensores utilizados para la obtención de parámetros fisicoquímicos mayormente monitoreados: pH, temperatura y turbidez, fueron ampliamente probados. Además, se caracterizan por su versatilidad, bajo consumo de energía y su gran disponibilidad en el mercado; particularidades que lo hacen escalable y de mayor alcance para instituciones venezolanas que les interese utilizar este sistema para el monitoreo de calidad del agua.

Palabras clave: calidad de agua; sensores IoT; acueductos; monitoreo en tiempo real, parámetros fisicoquímicos.

Sistemas de monitoreo de calidad del agua en acueductos usando sensores IoT (Internet de las cosas)

(Water quality monitoring systems in aqueducts using IoT (Internet of Things) sensors)

[1,2]María Adrián, [3]Iliana Jiménez, [3]Inés Amundarain

[1]Universidad de Oriente. [2]PNFA Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre "Clodosbaldo Russián". [3]Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre "Clodosbaldo Russián".

mariaeadriana@gmail.com, jimenezr.iliana@gmail.com, ikarelys@gmail.com

Recibido: 09/11/2025; Aceptado: 14/06/2025

Introducción

El agua es un recurso valioso, necesario, e irremplazable para la vida; vinculada intrínsecamente al desarrollo de las especies, preservación del ambiente y el bienestar humano. Su acceso constituye un requisito fundamental para la alimentación, la receración la salud, el trabajo y la producción de bienes y servicios; además, de ser un factor neurálgico para la erradicación de la pobreza y el logro de condiciones de vida dignas. En este contexto, resulta imperativo fortalecer la gestión de los recursos hídricos e impulsar la investigación para su adecuada administración y la sostenibilidad de los sistemas humanos y ecológicos.

En consonancia con ello la Organicación de las Naciones Unidas (ONU), a través de la Agenda 2030, estableció como uno de sus Objetivos de Desarrollo Sostenible garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, frente a una problemática que afecta a más del 40% de la población mundial y podría agravarse por la contaminación ambiental y los efectos del cambio climático (Organización de las Naciones Unidas-ONU, s. f.). En los últimos años, Venezuela ha presentado un grave problema de déficit del servicio de agua potable y saneamiento, atribuido por el gobierno nacional a los períodos de sequía asociado al fenómeno de El Niño; y, en consecuencia, se ha implementado severos racionamientos en el suministro. En contraste, diversos estudios señalan como causas de tal situación, el manejo ineficiente en la gestión del agua que incluye factores como: fallas en la planificación, insuficiente financiamiento, escasez de personal, incapacidad para culminar obras, ausencia de programas de mantenimiento, corrupción y abandono de programas de desarrollo hídrico y falta de actualización tecnológica, entre otros (Aula Abierta, 2021; Programa Venezolano de Educación-Acción en Derechos Humanos [PROVEA], 2025).

El monitoreo de la calidad del agua consiste en la toma de muestras y el análisis periódico de sus características y condiciones. Tradicionalmente, este proceso contempla la recolección manual de muestras y su evaluación mediante técnicas de laboratorio; sin embargo, presenta limitaciones como baja cobertura espacio-temporal, altos costos operativos y ausencia de información en tiempo real para la toma de decisiones en materia de salud pública (Lupi et al., 2022). En Venezuela, la calidad del agua destinada al consumo humano se rige por las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable (Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 36.395, 1998), las cuales fijan los parámetros microbiológicos, físicos, químicos y organolépticos que debe cumplir el recurso. No obstante, en la práctica, los sistemas tradicionales de monitoreo suelen ser lentos, extensos y costosos, esto dificulta la obtención de diagnósticos continuos y confiables desde la captación hasta la distribución final (Bhardwaj et al., 2022).

En virtud de lo anterior, se propone el desarrollo de un sistema basado en Internet de las cosas (IoT) que efectúe la medición cuantitativa de un conjunto de parámetros fisicoquímicos del agua, que permita monitorear su calidad en los acueductos que abastecen los hogares de la ciudad de Cumaná, Estado Sucre. De esta manera, se generaría un diagnóstico acerca del agua que los habitantes consumen diariamente, promoviendo la implementación de medidas preventivas y correctivas que reduzcan el riesgo de transmisión de enfermedades hídricas.

La literatura internacional refleja que existe un interés creciente de incorporar este tipo de dispositivos de monitoreo en tiempo real a cualquier fuente de agua: acueductos (Carriazo, 2021), humedales (Quiceno y Castaño, 2021), piscinas, balnearios (Montero, 2017), entre otros; especialmente en

Latinoamérica y países europeos, donde la aplicación de sensores conectados en línea son una valiosa herramienta para garantizar la calidad del agua.

En Venezuela, los trabajos publicados que guardan cierta relación con el tema han sido referidos al monitoreo del caudal y de niveles de agua en tanques de almacenamiento (Ortiz-Bazalar, 2020); de allí la relevancia de esta investigación, orientada específicamente al monitoreo fisicoquímico de la calidad del agua en acueductos urbanos, aportando conocimientos y soluciones tecnológicas que favorezcan una gestión más eficiente del recurso hídrico y contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida en la región

El presente trabajo tiene como propósito analizar el papel de los sistemas de monitoreo basados en sensores IoT para la calidad del agua, recurso esencial que requiere un control continuo para garantizar su aprovechamiento seguro y sostenible. Con este fin, se realiza una revisión documental sistemática de investigaciones publicadas entre 2020 y 2024 sobre sistemas de monitoreo de calidad del agua basados en sensores IoT, a fin de identificar tendencias tecnológicas, parámetros más monitoreados y plataformas de hardware predominantes. Adicionalmente, se propone de manera preliminar el diseño conceptual de un sistema de monitoreo en tiempo real, de bajo costo y basado en hardware libre (Arduino), orientado a los acueductos que abastecen la ciudad de Cumaná, estado Sucre, Venezuela. Esta propuesta se fundamenta en los hallazgos de la revisión documental y busca fortalecer la vigilancia sanitaria del recurso hídrico y apoyar la toma de decisiones para la protección de la salud pública.

Metodología

Se presenta una visión general de los sistemas de monitoreo para la calidad del agua potable mediante sensores IoT, siguiendo una metodología documental basada en la adaptación del mapeo sistemático. Esta técnica consiste en una revisión amplia de estudios primarios dentro de un área temática específica, cuyo objetivo es identificar la evidencia disponible sobre el tópico abordado (Carrizo et al., 2018). El proceso metodológico se estructuró en cuatro fases, las cuales se describen a continuación:

La primera fase: enfoque de la revisión, se orientó en función del objetivo de la investigación, con el propósito de identificar y analizar antecedentes relevantes vinculados a la problemática identificada. En esta etapa se definieron los criterios de búsqueda y el alcance de la revisión.

En la segunda fase: planificación de la revisión, se establecen como parámetros de búsqueda criterios de inclusión y exclusión. Entre los criterios de inclusión se consideraron, estudios actuales referidos a: tecnologías emergentes que se enfoquen en monitorear la calidad del agua dulce; soluciones de hardware y software libres; tecnologías de bajo costo y fáciles de implementar. En cuanto a los

criterios de exclusión: artículos publicados antes del año 2020 o escritos en los idiomas distintos al inglés y el español y estudios de la calidad del agua que no especifican elementos de monitoreo.

La tercera fase: la ejecución de la búsqueda, se realizó en bases de datos como: Google Scholar, ScienceDirect, SciELO y repositorios institucionales; utilizando palabras clave como "Sistemas de monitoreo de agua", "Tecnología de Sensores", "Sensores IoT", "Calidad de agua potable". Para obtener los estudios relevantes se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión en el título, resumen y palabras clave. Se limitó la búsqueda a artículos publicados en los últimos 5 años, desde el 2020 hasta el 2024, y se incluyeron solo artículos en inglés y español. Se excluyeron los artículos que no estuvieran relacionados directamente con el tema.

En relación con la selección de estudios, se identificaron 36 artículos relevantes distribuidos como se muestra en la tabla 1. Se examinaron cuidadosamente los resúmenes de estos artículos para garantizar el cumplimiento de los criterios de inclusión. Se eliminaron los artículos duplicados y aquellos que no cumplieran con los criterios expuestos.

Tabla 1. Distribución de los artículos sobre sensores IoT en agua (2020–2024).

Fuente / Año	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**Total por fuente**
Google Scholar	3	3	2	3	1	12
ScienceDirect (Elsevier)	2	2	3	2	1	10
SciELO	0	2	1	0	1	4
Repositorios Institucionales	5	2	0	0	1	7
Otro	1	0	1	0	1	3
Total por año	**11**	**9**	**7**	**5**	**4**	**36**

La cuarta fase: de extracción y análisis de datos, consistió en la revisión exhaustiva del texto completo de los 36 artículos identificados. A partir de esta evaluación, se seleccionaron 13 investigaciones para el análisis comparativo detallado, considerando los siguientes criterios de jerarquización: pertinencia temática directa con monitoreo de calidad de agua mediante sensores IoT; especificación técnica detallada de hardware y sensores; actualidad y representatividad geográfica de contextos; con énfasis en experiencias de países latinoamericanos con condiciones socioeconómicas similares a Venezuela. Los 23 artículos restantes fueron excluidos por centrarse en algoritmos de procesamiento de datos sin detallar la instrumentación, corresponder a revisiones teóricas sin

implementación práctica, o presentar información técnica insuficiente para la extracción de datos comparables.

Se extrajeron y tabularon los datos en una matriz comparativa (Tabla 2) que permitió sistematizar y comparar la información proveniente de los 13 estudios seleccionados. Es importante precisar que el presente trabajo combina una revisión documental sistemática con una propuesta conceptual preliminar de diseño. Los resultados derivados de la revisión (fases 1 a 4) fundamentan los criterios técnicos de la propuesta, la cual no constituye un prototipo validado experimentalmente, sino una base orientadora para futuras etapas de desarrollo, implementación y evaluación en condiciones reales de operación.

Resultados

La revisión documental permitió identificar las principales tecnologías y parámetros monitoreados en sistemas IoT para la calidad del agua. La Tabla 2 resume los 13 estudios analizados y sirve de base para la propuesta conceptual orientada a los acueductos de Cumaná, estado Sucre.

Tabla 2. Estudios de los sensores IoT en agua (2020–2024).

Autor / Año	**País**	**Microcontrolador**	**Lugar de monitoreo**	**Parámetros monitoreados**
Bernal et al. (2024)	Colombia	Arduino	Sistemas acuapónicos	OD, pH, TDS, Temp.
Daconte et al. (2024)	Colombia	ESP32	Acuíferos	Cond., OD, pH, Temp.
Bhardwaj et al. (2022)	India	Raspberry Pi	Agua potable	pH, Temp., Turb.
Carriazo (2021)	Colombia	Particle Argon/RPi	Acueducto rural	pH, TDS, Turb., Cond.
Kumar y Singh (2021)	India	Arduino	Tanques/Tubería urbana	pH, Temp., Turb.
Lakshmikantha et al. (2021)	India	Arduino	Agua potable	pH, Temp., Turb., Cond.
Conejeros et al. (2021)	Chile	Arduino	Planta de agua potable rural	pH, TDS, Turb., Cond., Temp., ORP
Delgado y Valencia (2021)	Ecuador	Raspberry Pi	Criadero de tilapias	Temp., pH, TDS, OD, CH_4, H_2
Martos (2021)	España	Arduino	Agua potable	pH, Temp., Turb.

Autor / Año	País	Microcontrolador	Lugar de monitoreo	Parámetros monitoreados
Arana (2020)	España	Arduino	Laboratorio de aguas	Temp., TDS, Turb.
Guevara y Suntaxi (2020)	Ecuador	Arduino	Agua dulce (zona rural)	pH, Temp., TDS, Turb.
Silva y Coello (2020)	Ecuador	Arduino	Planta purificadora	TDS, pH, Temp., Turb.
Ramos et al. (2020)	Ecuador	Arduino	Dique	Temp., pH, OD, Turb.

Nota. OD = oxígeno disuelto; TDS = sólidos disueltos totales; Temp. = temperatura; Turb. = turbidez; Cond. = conductividad; ORP = potencial de oxidación-reducción; CH_4 = metano; H_2 = hidrógeno. RPi = Raspberry Pi.

El análisis comparativo de los 13 estudios seleccionados revela que el 69% de las implementaciones emplearon microcontroladores Arduino, debido a su bajo costo, facilidad de programación y amplia disponibilidad de sensores compatibles; seguido por Raspberry Pi con un 15% (Figura 1). Los parámetros fisicoquímicos más frecuentemente monitoreados fueron el pH y la temperatura (92% de los estudios), seguidos de la turbidez (76%), los sólidos disueltos totales (53%), la conductividad y el oxígeno disuelto (30%) (Figura 2).

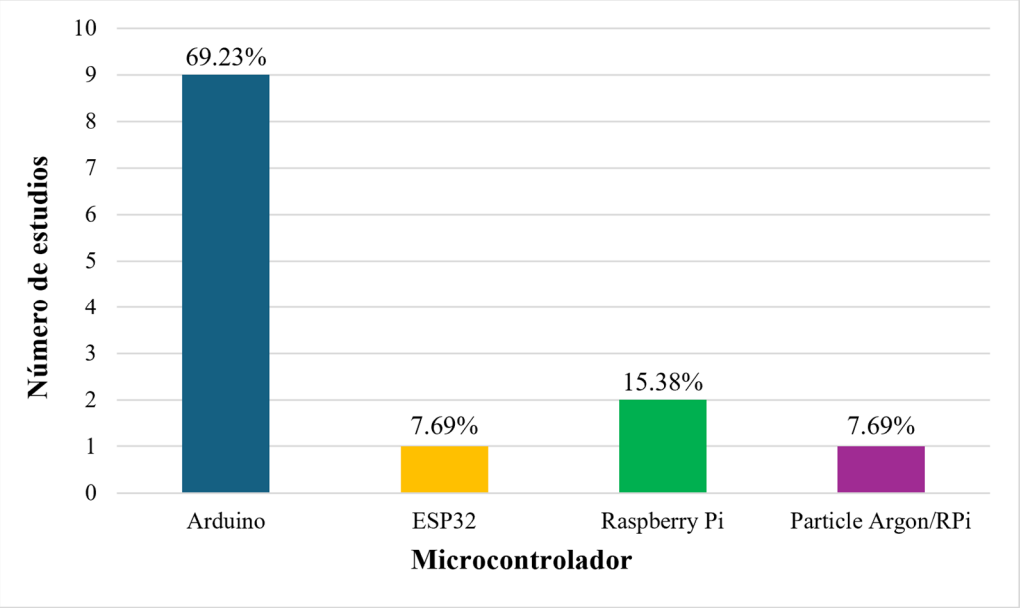


Figura 2. Frecuencia de microcontroladores utilizados en los estudios revisados (n=13)

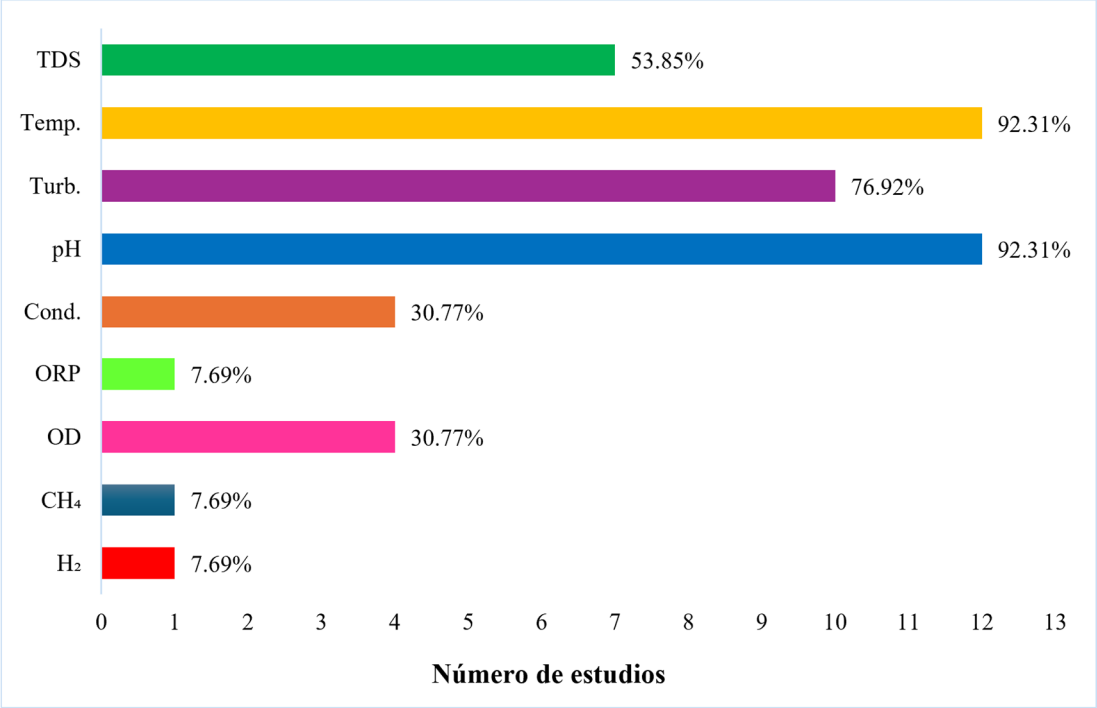


Figura 3. Frecuencia de parámetros fisicoquímicos monitoreados en los estudios revisados (n=13).

Discusión

La implementación de sistemas de monitoreo de calidad de agua potable mediante sensores IoT ha cobrado relevancia en los últimos años como respuesta a la necesidad de diagnósticos más precisos, accesibles y en tiempo real. Diversos estudios coinciden en que los métodos tradicionales de muestreo y análisis físico-químico, aunque rigurosos, resultan costosos, lentos y limitados en cobertura espacial y temporal (Bhardwaj et al., 2022). En contraste, los sistemas basados en IoT permiten la recolección continua de datos, facilitando la toma de decisiones oportunas para la protección de la salud pública y la gestión hídrica eficiente.

En la mayoría de las publicaciones, se pudo encontrar información básica sobre definiciones teóricas de todo lo relacionado con la calidad del agua y los componentes de los sistemas de monitoreo, sensores y sus tipos (hardware), y una gran variedad de software utilizables en redes de sensores inalámbricas. Otros van más allá, investigando requerimientos de diseños y elaborando prototipos aplicados a diferentes tipos de medios acuáticos y la eficiencia de éstos al evaluarlos en las zonas de muestreo.

A partir del análisis de la Tabla 2, se observa que aproximadamente el 70 % de los estudios revisados emplearon sistemas de monitoreo construidos con microcontroladores Arduino,

permitiendo la generación de datos en tiempo real sobre parámetros críticos como el pH, la turbidez y la temperatura. Esta prevalencia evidencia que Arduino constituye una plataforma clave en el desarrollo de soluciones inteligentes para el monitoreo de la contaminación hídrica, especialmente relevantes en el contexto actual de avances en sensores, tecnologías de comunicación y aplicaciones de Internet de las cosas (IoT).

Los parámetros de calidad de agua más monitoreados son pH, y temperatura, presentes en más del 90% de los artículos; seguido de la turbidez con un 69% de presencia (Figura 2); estos indicadores son fundamentales para evaluar la potabilidad, estabilidad química y presencia de contaminantes físicos en el agua. El pH permite identificar condiciones ácidas o básicas que afectan la corrosividad y la solubilidad de metales (Delgado y Valencia, 2021); la temperatura influye directamente en la solubilidad de oxígeno y en la actividad biológica del agua (Georgantas et al., 2025) y la turbidez refleja la presencia de partículas suspendidas que pueden albergar microorganismos (Carriazo, 2021).

Otros parámetros como OD, TDS y conductividad, aparecen en estudios más especializados, específicamente aquellos orientados a sistemas acuapónicos, detección de eutrofización o gestión ambiental urbana. Su inclusión responde a la necesidad de caracterizar procesos biológicos, químicos y ecológicos más complejos, especialmente en contextos de monitoreo continuo y predicción de eventos contaminantes.

En contextos rurales y de difícil acceso, como los descritos en Colombia, Chile y Ecuador, el uso de microcontroladores como Arduino y Raspberry Pi ha demostrado ser una solución viable y económica. Estos dispositivos permiten integrar sensores de pH, turbidez, temperatura y sólidos disueltos, generando alertas ante desviaciones críticas en la calidad del agua. Además, algunos estudios han incorporado técnicas de analítica de datos para detectar anomalías con alta precisión, lo que representa un avance significativo en la vigilancia sanitaria descentralizada (Arana, 2020; Carriazo, 2021; Conejeros et al., 2021; Guevara y Suntaxi, 2020). En entornos urbanos, se observa una tendencia hacia la integración de sensores con plataformas en la nube y modelos de aprendizaje automático como tecnologías emergentes (Bhardwaj et al., 2022).

En Venezuela, donde amplios sectores de la población enfrentan dificultades para acceder de forma continua a agua segura, el uso de tecnologías abiertas y de bajo costo puede representar una herramienta de empoderamiento comunitario (Defensoría del Pueblo, 2025). Los sistemas de monitoreo basados en microcontroladores como Arduino permiten generar datos en tiempo real sobre parámetros críticos que, al estar disponible para las comunidades, pueden fortalecer su vigilancia

ambiental, facilitar la denuncia de irregularidades y promover la participación ciudadana en la gestión del recurso hídrico.

No obstante, la viabilidad operativa de este tipo de sistemas en el contexto venezolano debe analizarse considerando las limitaciones técnicas y económicas existentes. Las restricciones para la adquisición de equipos especializados, repuestos y materiales de calibración pueden afectar la sostenibilidad de los programas de monitoreo. En este escenario, la utilización de plataformas de hardware libre y sensores de bajo costo constituye una alternativa técnicamente viable y económicamente accesible para ampliar la vigilancia de la calidad del agua. La elección de Arduino y sensores de bajo costo no es solo una ventaja económica, sino una necesidad adaptativa: estos componentes presentan mayor disponibilidad en el mercado informal latinoamericano y su reemplazo resulta más factible que equipos de laboratorio profesionales.

Sin embargo, su implementación requiere establecer procedimientos periódicos de calibración y verificación que garanticen la confiabilidad de las mediciones. En este sentido, los datos obtenidos por los sensores deben contrastarse regularmente con equipos multiparamétricos de referencia y métodos estandarizados de laboratorio, a fin de mantener niveles aceptables de precisión y reducir la incertidumbre de los resultados. Considerando las limitaciones asociadas a la disponibilidad de reactivos de calibración y personal especializado, se plantea la adopción de protocolos simplificados basados en soluciones patrón de preparación local y programas de capacitación dirigidos a operadores comunitarios vinculados a las Mesas Técnicas de Agua.

Asimismo, la inestabilidad del servicio eléctrico y de telecomunicaciones en Cumaná constituye un desafío para la operación continua del sistema. La incorporación de baterías recargables y la programación de modos de bajo consumo (*sleep mode*) entre mediciones pueden contribuir a mejorar su autonomía energética. De igual manera, el almacenamiento local de datos en tarjetas microSD representa una alternativa de respaldo ante interrupciones de la conectividad WiFi. Finalmente, la articulación con las Mesas Técnicas de Agua permitiría implementar un esquema de mantenimiento comunitario, en el que actores locales previamente capacitados participen en la operación básica del sistema, fortaleciendo su sostenibilidad operativa y reduciendo la dependencia de personal técnico especializado.

En este contexto, caracterizado por la fragmentación institucional y la escasez de datos públicos confiables, los proyectos de monitoreo comunitario adquieren un valor estratégico; permiten construir evidencia desde abajo, generar alertas tempranas y articular redes de colaboración entre

universidades, colectivos ambientales y gobiernos locales. Asimismo, reviste de importancia la vinculación con las Mesas Técnicas de Agua como actores clave en la validación, implementación y uso de la información generada por el sistema, fortaleciendo la gestión comunitaria del recurso hídrico y promoviendo procesos de vigilancia participativa en los acueductos de Cumaná (Lacabana, 2023; Matos et al., 2024)

Además, la instalación de sensores en espacios como escuelas, centros de salud o cooperativas agrícolas no solo responde a necesidades técnicas, sino que también abre oportunidades pedagógicas. El proceso de formación en el uso de estas tecnologías puede convertirse en una experiencia de alfabetización científica, donde los actores locales desarrollan competencias para interpretar datos, tomar decisiones y exigir políticas públicas más justas (Comisión Económica para América Latina y el Caribe -CEPAL, 2022).

Propuesta de diseño de un sistema IoT

A partir de los hallazgos de la revisión documental, se establecen los siguientes criterios técnicos para la propuesta preliminar de diseño orientada a los acueductos de Cumaná:

Parámetros fisicoquímicos

Se seleccionaron los parámetros pH, temperatura, turbidez y sólidos disueltos totales responde a tres criterios: (1) su inclusión en más del 60 % de los sistemas revisados, lo que valida su medición con sensores de bajo costo; (2) su establecimiento como indicadores obligatorios en Gaceta Oficial 36395; y (3) su capacidad para inferir riesgos microbiológicos y contaminación química sin requerir análisis de laboratorio.

Arquitectura del sistema

El sistema de monitoreo se estructura en tres niveles funcionales que permiten la adquisición, transmisión y almacenamiento de datos; y, visualización en tiempo real. El diseño mantiene la arquitectura general presentada en la Figura 1: cuatro sensores (pH, turbidez, temperatura, TDS) conectados a un microcontrolador Arduino, comunicación inalámbrica WiFi, almacenamiento local en microSD y visualización en pantalla LCD.

Microcontrolador seleccionado. El predominio de más del 69% de microcontroladores Arduino en los estudios revisados (Figura 1) sustenta su selección como plataforma base para la propuesta de Cumaná, dada su baja curva de aprendizaje, bajo costo, accesibilidad de componentes, facilidad de mantenimiento y amplia documentación técnica disponible, factores críticos en un contexto de limitaciones presupuestarias y de suministro de componentes electrónicos. Se propone

como núcleo de procesamiento, adquisición y control del sistema a Arduino UNO Microcontrolador Atmega328P, 16 MHz, 14 pines digitales, 6 entradas analógicas, memoria Flash 32 KB, voltaje de operación de 5V y conexión USB (Arduino, 2024).

Sensores seleccionados. Tras la selección de Arduino como plataforma de desarrollo, se determinaron los sensores en función de los parámetros fisicoquímicos prioritarios para el monitoreo de la calidad del agua potable. La compatibilidad con el ecosistema Arduino, la disponibilidad de bibliotecas especializadas para la calibración y el procesamiento de datos, así como su disponibilidad en el mercado nacional, fueron criterios determinantes para su selección.

- Sólidos disueltos totales: sondas específicas para cuantificar la concentración de sales y compuestos disueltos, asociada a cambios en sabor y calidad sanitaria (Carriazo, 2021); valor normativo menor de 1000 mg/L (GO 36.395, 1998). Sensor TDS SKU SEN0244: rango 0–1000 mg/L, precisión ±10% FS (25 °C), voltaje de entrada: 3.3-5.5V Voltaje de salida: 0-2.3V.
- Temperatura: sensor dentro de un tubo de acero inoxidable resistente al agua capaces de registrar variaciones térmicas en el agua potable. Sensor de temperatura DS18B20: precisión ± 0.5°C, rango -55 a 125 °C. Voltajes de 3.0V a 5.5V ± 0,5 °C.
- Turbidez: sensores ópticos infrarrojos, capaces de medir la dispersión de la luz en presencia de partículas suspendidas (Carriazo, 2021), valor normativo menor a 5 UNT (GO 36.395, 1998). Sensor de turbidez TS300B: Rango 0–1000 UNT, salida analógica. Voltaje de operación: 5 V DC.
- pH: Electrodo de vidrio que permite identificar condiciones ácidas o básicas del agua, rango normativo de 6,5–8,5 (GO 36.395, 1998). Sensor pH E-201: mide en un rango 0–14, precisión ±0.1pH (25 °C), temperatura de medición: 0-60 °C, salida analógica. Voltaje de Alimentación: 5 V. Conector BNC.

Comunicación Inalámbrica y Almacenamiento de Datos. El microcontrolador transmite los datos mediante conectividad WiFi hacia una plataforma de almacenamiento en la nube. Como mecanismo de respaldo ante eventuales fallas de conectividad, el sistema incorpora almacenamiento local en una tarjeta microSD, lo que garantiza la continuidad del registro de las mediciones. Los datos almacenados localmente se sincronizan automáticamente con el servidor una vez restablecida la conexión. Adicionalmente, un reloj RTC (*Real Time Clock*) asegura el registro cronológico de cada medición. La visualización de los datos se realiza mediante un *dashboard* vinculado a una hoja de cálculo Excel en la nube, accesible desde dispositivo con conexión a Internet, lo que permite consultar

y descargar el historial de registros. Además, una pantalla LCD 16x2 en el nodo permite lectura local de parámetros sin depender de conectividad externa.

Estructura de diseño

La Figura 1 muestra el diagrama general para el sistema de monitoreo, que permita detectar en tiempo real parámetros fisicoquímicos de la calidad de agua potable en la ciudad de Cumaná, basados en sensores IoT. En general, el prototipo constará de 4 sensores: pH, turbidez, temperatura y sólidos disueltos, donde el Arduino forma el corazón del sistema, todos los sensores están conectados a él y este controla la operación, obtiene datos de los sensores y envía los valores a través de red wifi al usuario final a través de módulos inalámbricos

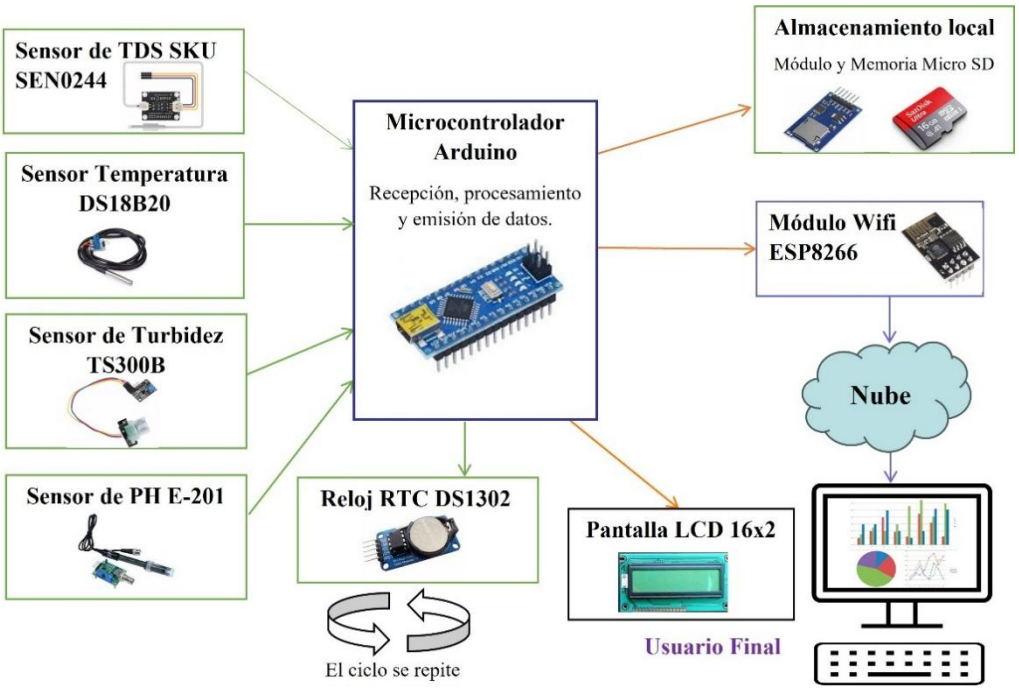


Figura 1. Diagrama esquemático del sistema de monitoreo de la calidad del agua integrado con sensores IoT.

Requerimientos del prototipo para el monitoreo de la calidad de agua en acueductos

- La red debe estar diseñada para monitorizar la calidad de agua en acueductos o cualquier fuente de agua potable.
- Los nodos sensores deben estar integrados por los medidores de los parámetros Fisicoquímicos necesarios para una monitorización in situ de la calidad de agua para consumo humano.

- Los nodos sensores deben tener autonomía de energía, debe hacerse con materiales ligeros e impermeables adaptables a los niveles del agua del acueducto.
- La calibración de los sensores debe realizarse en cumplimiento de los parámetros de la calidad del agua potable definidos en la Gaceta Oficial N.º 36.395 del 13 de febrero de 1998.
- Los datos obtenidos deben ser almacenados y estar disponibles para un posterior análisis.
- El proyecto por implementarse en los sistemas de acueducto debe garantizar eficiencia operativa, sustentabilidad ambiental, sostenibilidad en el tiempo y una vida útil prolongada.

Es necesario reconocer las limitaciones operativas del sistema propuesto. La calibración de sensores de pH y turbidez requiere soluciones patrón y mantenimiento periódico (cada 3-6 meses), lo cual puede ser limitado por la disponibilidad de reactivos y personal capacitado en Cumaná. La confiabilidad de las mediciones depende de la protección ambiental de los sensores contra variaciones térmicas y bioincrustaciones. La alimentación energética constituye un desafío crítico dado los racionamientos eléctricos, por lo que se sugiere incorporar baterías recargables. Finalmente, la validación en condiciones reales de operación (comparando lecturas del prototipo con análisis de laboratorio certificado) es un paso indispensable previo a su implementación definitiva en la red de acueductos.

Conclusiones

La revisión documental realizada sobre sistemas de monitoreo de calidad del agua basados en sensores IoT permitió identificar que el microcontrolador Arduino es la plataforma de desarrollo predominante (69 %) en investigaciones recientes (2020-2024), debido a su bajo costo, versatilidad y facilidad de implementación. Los parámetros fisicoquímicos mayormente monitoreados en los estudios analizados fueron el pH, la temperatura y la turbidez, los cuales constituyen indicadores fundamentales para la evaluación de la potabilidad del agua y pueden medirse con sensores accesibles comercialmente.

A partir de estos hallazgos, se propone el diseño preliminar de un sistema de monitoreo para la red de acueductos de Cumaná, fundamentado en 4 sensores (pH, temperatura, turbidez y sólidos disueltos totales) conectados a una unidad central Arduino, comunicación inalámbrica WiFi, almacenamiento local en microSD y visualización mediante pantalla LCD y *dashboard* en la nube. Esta arquitectura responde a criterios de bajo costo, escalabilidad y adaptabilidad a las condiciones

operativas y presupuestarias de las instituciones venezolanas, priorizando la generación de datos en tiempo real para la toma de decisiones en la gestión hídrica.

No obstante, el presente trabajo se circunscribe a una propuesta conceptual fundamentada en la literatura científica, sin validación experimental del prototipo en condiciones reales de operación. Por tanto, se recomienda como pasos futuros: la construcción y prueba piloto del equipo en puntos estratégicos del acueducto de Cumaná; la calibración de sensores conforme a los estándares de la Gaceta Oficial 36395; la comparación de las mediciones del sistema con análisis de laboratorio certificado para determinar intervalos de confianza; y la evaluación de soluciones de alimentación energética autónoma, como baterías recargables, para garantizar la continuidad del monitoreo ante las limitaciones del servicio eléctrico. Estas acciones permitirán consolidar una herramienta técnica confiable para la protección de la salud pública en la Ciudad

Referencias Bibliográficas

Arana, J. (2020). Analizador de agua conectado a IoT. https://doi.org/10/43094

Arduino. (2024). About Arduino | Arduino. https://www.arduino.cc/en/about/

Aula Abierta. (2021). Situación del servicio público de acceso al agua potable en Venezuela. Violaciones a los derechos del agua y la salud. Informe preliminar enero-marzo 2021. https://aulaabiertalatinoamerica.org/wp-content/uploads/2021/03/INFORME-PRELIMINAR-ACCESO-AL-AGUA.pdf

Bernal, W. F., Páez Guevara, L. A., Villamil Moreno, L. P., y Riaño Castillo, E. R. (2024). Sistema automatizado soportado en IoT para monitoreo de calidad de agua en sistemas acuapónicos. Ciencia en Desarrollo, 15(1), 194-204. https://doi.org/10.19053/01217488.v15.n1.2024.15933

Bhardwaj, A., Dagar, V., Khan, M. O., Aggarwal, A., Alvarado, R., Kumar, M., Irfan, M., y Proshad, R. (2022). Smart IoT and Machine Learning-based Framework for Water Quality Assessment and Device Component Monitoring. Environmental Science and Pollution Research, 29(30), 46018-46036. https://doi.org/10.1007/s11356-022-19014-3

Carriazo, Y. P. (2021). Sistema de monitoreo de la calidad del agua basado en IoT, utilizando técnicas de analítica de datos para la detección de anomalías, en los acueductos ejecutados por el plan departamental de aguas (PDA) de Córdoba [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB]. https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/15481

Carrizo, D., Moller, C., Carrizo, D., y Moller, C. (2018). Estructuras metodológicas de revisiones sistemáticas de literatura en Ingeniería de Software: Un estudio de mapeo sistemático. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 26, 45-54. https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000500045

Comisión Económica para América Latina y el Caribe -CEPAL. (2022). Un camino digital para el desarrollo sostenible de América Latina y el Caribe.

Conejeros, A., Hueichaqueo, C., Martinez-Jimenez, B. L., PlaceresRemior, A., Conejeros Molina, A., Hueichaqueo Pichunman, C., Martinez-Jimenez, B. L., y PlaceresRemior, A. (2021). Monitoreo de calidad del agua en sistema de agua potable rural. Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, 42(3), 60-70.

Daconte, A., Sierra, M., Noguera, J., y Rodriguez, N. (2024). Preliminary results of an IoT-based prototype monitoring system for physicochemical parameters and water level in an aquifer: Case of Santa Marta, Colombia. Procedia Computer Science, 231, 478-483. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.12.237

Defensoría del Pueblo. (2025). Informe anual 2024. Promoviendo, defendiendo y vigilando los derechos humanos de la población venezolana. Caracas. https://www.defensoria.gob.ve/wp-content/uploads/2025/07/Informe-anual-2024-15-07-2025-con-ISBN.pdf

Delgado, C. E., y Valencia, W. G. (2021). Diseño e implementación de prototipo IoT para el monitoreo remoto de la calidad del agua para la crianza de tilapias en estanques [bachelorThesis]. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21427

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 36.395, Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable (1998).

Georgantas, I., Mitropoulos, S., Katsoulis, S., Chronis, I., y Christakis, I. (2025). Integrated Low-Cost Water Quality Monitoring System Based on LoRa Network. Electronics, 14(5), 857. https://doi.org/10.3390/electronics14050857

Guevara, L., y Suntaxi, H. (2020). Sistema WaterAlert para el monitoreo del agua basado en el paradigma de internet de las cosas (IoT) y la tecnología de comunicación LoRa [Tesis de Pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. https://redi.cedia.edu.ec/document/455914

Kumar, A., y Singh, R. (2021). IoT-based water quality monitoring system using Arduino and cloud integration. Journal of Environmental Science and Technology, 14(3), 45-52.

Lacabana, M. (2023). Acceso social al agua y políticas públicas: El caso de las mesas técnicas de agua en Venezuela. https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/11897

Lakshmikantha, V., Hiriyannagowda, A., Manjunath, A., Patted, A., Basavaiah, J., y Anthony, A. A. (2021). IoT based smart water quality monitoring system. Global Transitions Proceedings, International Conference on Computing System and its Applications (ICCSA- 2021), 2(2), 181-186. https://doi.org/10.1016/j.gltp.2021.08.062

Lupi, O. D., Zaradnik, I. J., y Canziani, M. B. (2022). Estado de arte de los sistemas de monitoreo de calidad de agua. ISSN 2525-1333. http://repositoriocyt.unlam.edu.ar/handle/123456789/1221

Martos, C. (2021). Sistema portátil para la monitorización de la calidad del agua. [Tesis de Pregrado, Universidad de Málaga]. Repositorio Institucional. https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/23343/Martos%20Reyes%20Christian%20memoria%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Matos, M. G., Coquies, U., y Nuñez, R. (2024). Gestión comunitaria de los servicios públicos: Las mesas técnicas de agua como herramienta para el desarrollo comunitario. https://www.flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/1215276245.Gestion_comunitaria..._de_Mar%7bia_Gabriela_Matos.pdf

Montero, J. (2017). Diseño de un prototipo de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de la calidad de agua para uso recreativo en el Dique Fátima. https://dspace.espoch.edu.ec/items/c6d76f3d-491a-4679-ae4c-83be9d66c03a

Organización de las Naciones Unidas-ONU. (s. f.). Objetivos y metas de desarrollo sostenible—Desarrollo Sostenible. Recuperado 2 de octubre de 2025, de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/

Ortiz-Bazalar, A. J. (2020). Sistema de monitoreo de calidad de agua en tanques elevados usando sensores IoT. Actas del Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas, 258-259. https://doi.org/10.26439/ciis2019.5521

Programa Venezolano de Educación-Acción en Derechos Humanos [PROVEA]. (2025). Situación de los Derechos Humanos en Venezuela. Derecho al ambiente sano 2024. https://provea.org/wp-content/uploads/2025/06/Provea-Informe-Anual-2024-04_Ambiente_Sano-e.pdf

Quiceno, A. S., y Castaño, D. (2021). Análisis de algunas variables asociadas a la calidad del agua como aporte en la búsqueda tecnológica de sensores y su parametrización en el marco del proyecto

IoT para el análisis de calidad del agua en el humedal Rio Blanco [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Manizales]. Repositorio Institucional. https://repositorio.ucm.edu.co/server/api/core/bitstreams/85868f5a-b79d-470e-94a1-e5a7bed1ec96/content

Ramos, V., Layedra, N., Guerra, J., y Montero, J. (2020). Prototipo de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de la calidad de agua para uso recreativo—ProQuest. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, N°E32. https://www.proquest.com/openview/8c97c289da79d53f197df9baf73aff69/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393

Silva, D. A., y Coello, J. I. (2020). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real de sensores de temperatura, turbidez, TDS Y PH para la calidad del agua utilizando la tecnología LoRaWAN [bachelorThesis]. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1962.