

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y
Humanidades, Asunción, Paraguay**

ISSN en línea: 2789-3855, 2026

Monitoreo inteligente de la calidad del agua mediante tecnologías web e Internet de las Cosas en contextos municipales

Smart water quality monitoring using Web Technologies and the
Internet of Things in municipal settings

José Antonio Contreras Flores

antonio.contreras@perote.tecnm.mx
<https://orcid.org/0009-0004-6091-1268>
Instituto Tecnológico Superior de Perote
Perote, Veracruz – México

José Alfonso Lopez Gonzalez

alfonso.lopez@perote.tecnm.mx
<https://orcid.org/0009-0004-3608-0302>
Instituto Tecnológico Superior de Perote
Perote, Veracruz – México

José Manuel Díaz Rivera

manuel.diaz@perote.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9918-1590>
Instituto Tecnológico Superior de Perote
Perote, Veracruz – México

Samuel Martínez Ramos

samuel.martinez@perote.tecnm.mx
<https://orcid.org/0009-0000-1048-4975>
Instituto Tecnológico Superior de Perote
Perote, Veracruz – México

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v7i3.5973>



Revista Latinoamericana de
Ciencias Sociales y Humanidades

Artículo recibido: 21 de enero de 2026.

Aceptado para publicación: 02 de junio de 2026.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

VOLUMEN VII

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v7i3.5973>

Monitoreo inteligente de la calidad del agua mediante tecnologías web e Internet de las Cosas en contextos municipales

Smart water quality monitoring using Web Technologies and the Internet of Things in municipal settings

José Antonio Contreras Flores

antonio.contreras@perote.tecnm.mx
<https://orcid.org/0009-0004-6091-1268>
Instituto Tecnológico Superior de Perote
Perote, Veracruz – México

José Alfonso Lopez Gonzalez

alfonso.lopez@perote.tecnm.mx
<https://orcid.org/0009-0004-3608-0302>
Instituto Tecnológico Superior de Perote
Perote, Veracruz – México

José Manuel Díaz Rivera

manuel.diaz@perote.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9918-1590>
Instituto Tecnológico Superior de Perote
Perote, Veracruz – México

Samuel Martínez Ramos

samuel.martinez@perote.tecnm.mx
<https://orcid.org/0009-0000-1048-4975>
Instituto Tecnológico Superior de Perote
Perote, Veracruz – México

Artículo recibido: 21 de enero de 2026. Aceptado para publicación: 02 de junio de 2026.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

El monitoreo de la calidad del agua en contextos municipales ha presentado limitaciones estructurales derivadas del uso predominante de metodologías tradicionales basadas en muestreo manual por pobladores o bien por organismos no gubernamentales. Dentro del presente artículo se realiza una revisión crítica de la literatura existente sobre sistemas inteligentes de monitoreo hídrico cuya base de funcionamiento es el Internet de las Cosas (IoT) y tecnologías web. La metodología se fundamenta en un análisis sistemático de publicaciones indexadas entre 2010 y 2024 en apoyo con bases de datos científicas. Los resultados muestran que la integración de sensores fisicoquímicos con arquitecturas IoT permite mejorar significativamente la adquisición de datos en tiempo real. Sin embargo, persisten limitaciones relacionadas con la escalabilidad, interoperabilidad y adopción en contextos municipales. De esta forma es posible concluir que estos sistemas constituyen una alternativa viable, de bajo costo, operable por la propia comunidad en donde se encuentre el muestreo y con un gran potencial, aunque su implementación final requiere enfoques interdisciplinarios, dentro entorno de TecNM es posible conjuntar dicha fuerza profesional.

Palabras clave: calidad del agua, internet de las cosas, monitoreo de agua, sensores, sistemas

inteligentes

Abstract

Water quality monitoring in municipal settings has faced structural limitations stemming from the predominant use of traditional methodologies based on manual sampling by residents or non-governmental organizations. This article provides a critical review of the existing literature on smart water monitoring systems that rely on the Internet of Things (IoT) and web technologies. The methodology is based on a systematic analysis of publications indexed between 2010 and 2024, supported by scientific databases. The results show that the integration of physicochemical sensors with IoT architectures significantly improves real-time data acquisition. However, limitations persist regarding scalability, interoperability, and adoption in municipal contexts. Thus, it can be concluded that these systems constitute a viable, low-cost alternative that can be operated by the community where the sampling takes place and holds great potential; however, their final implementation requires interdisciplinary approaches, and within the TecNM environment, it is possible to bring together such professional expertise.

Keywords: water quality, internet of things, sensors, smart systems, water monitoring

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons. 

Cómo citar: Contreras Flores, J. A., Lopez Gonzalez, J. A., Díaz Rivera, J. M., & Martínez Ramos, S. (2026). Monitoreo inteligente de la calidad del agua mediante tecnologías web e Internet de las Cosas en contextos municipales. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 7 (3), 681 – 695. <https://doi.org/10.56712/latam.v7i3.5973>

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es un componente esencial para la salud pública y la sostenibilidad ambiental. De acuerdo con la World Health Organization (2017), el acceso a agua potable segura constituye un derecho fundamental y un elemento clave para el desarrollo de la sociedad. Sin embargo, en muchos municipios de países en vías de desarrollo, incluyendo México, los sistemas de monitoreo continúan basándose en metodologías tradicionales que limitan la frecuencia y oportunidad de los datos obtenidos, en función de retraso y almacenamiento.

En este sentido, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2020) señala que los procesos convencionales de análisis presentan restricciones en cobertura y costos operativos, lo que dificulta una correcta y eficiente administración del recurso hídrico.

Ante tal escenario, el Internet de las Cosas (IoT) se presenta como una tecnología disruptiva, de bajo costo y alta disponibilidad tecnológica, adaptada a medios hostiles y de complejidad básica. Según Gubbi et al. (2013), el IoT permite la interconexión de dispositivos físicos mediante redes digitales, facilitando la adquisición y transmisión de datos en tiempo real. Adicionalmente, Al-Fuqaha et al. (2015) destacan que estas arquitecturas permiten integrar sensores, redes de comunicación y aplicaciones, generando sistemas inteligentes capaces de automatizar procesos de monitoreo ambiental.

El objetivo central de este artículo es analizar críticamente el estado del arte sobre el uso de tecnologías IoT y plataformas web en el monitoreo de la calidad del agua, identificando sus principales aportaciones, limitaciones y oportunidades de implementación en contextos municipales.

METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló con base en un enfoque de revisión sistemática de la literatura, con el objetivo central de identificar, analizar y sintetizar la evidencia científica relacionada con la implementación de sistemas de monitoreo de la calidad del agua basados en tecnologías web y de Internet de las Cosas (IoT). Este tipo de aproximación metodológica permite dar forma al conocimiento existente de manera crítica y reproducible, facilitando la identificación de tendencias, limitaciones y oportunidades de investigación (Kitchenham & Charters, 2007).

La recopilación de información se realizó a través de la consulta de bases de datos académicas de alto impacto, como por ejemplo Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect y Google Scholar. Estas fuentes fueron seleccionadas debido a su cobertura en áreas de ingeniería, tecnologías de la información y ciencias ambientales. Para la búsqueda de literatura se emplearon combinaciones de palabras clave en inglés y español, tales como "IoT water quality monitoring", "smart water systems", "sensor networks water quality" y "monitoreo inteligente del agua", utilizando operadores booleanos como and (&) y or (I) para optimizar la recuperación de documentos relevantes.

Con el propósito de garantizar la actualidad y pertinencia de los estudios analizados, se establecieron criterios de delimitación que consideraron publicaciones en el periodo comprendido entre 2010 y 2024, priorizando artículos científicos indexados y trabajos con respaldo académico riguroso. A partir de los resultados obtenidos, se llevó a cabo un proceso de depuración progresiva donde se ha incluido la revisión de títulos, resúmenes y posteriormente, en caso de no haber desestimado, textos completos.

La selección de los estudios se basó en criterios de inclusión orientados a identificar investigaciones que abordaron el monitoreo de la calidad del agua mediante sensores y tecnologías IoT, que presentaran validación experimental o implementación práctica, y que fueran publicados en revistas indexadas o conferencias científicas en su mayoría. Por otro lado, se excluyeron aquellos trabajos que carecían evidencia sustancial de aplicación en contextos similares, ya que no es lo mismo en contextos urbanos o rurales.

Como resultado de este proceso, se identificaron inicialmente más de cien documentos, los cuales fueron reducidos mediante filtros sucesivos hasta obtener un conjunto final de estudios relevantes para el análisis. Este procedimiento permitió asegurar la calidad y consistencia de la información utilizada.

Para la evaluación de la calidad de los estudios seleccionados, se consideraron aspectos como la claridad de los objetivos de investigación, la solidez metodológica, la presencia de validación experimental y la relevancia de los resultados. Este análisis permitió no solo describir los sistemas propuestos, sino también evaluar críticamente sus alcances y limitaciones.

La información recopilada fue organizada mediante un análisis temático, agrupando los estudios en categorías relacionadas con arquitecturas IoT, sensores utilizados, plataformas web y aplicaciones en contextos reales. Esta estrategia permitió identificar patrones comunes, tendencias emergentes y vacíos en la literatura.

Finalmente, con el objetivo de proporcionar una visión sintética y comparativa de los trabajos analizados, se elaboró una tabla de comparación de estudios, en la cual se resumen las principales características de los sistemas propuestos en la literatura, incluyendo el tipo de tecnología utilizada, los parámetros monitoreados y sus principales aportaciones.

Tabla 1

Comparativa de aportaciones en estudios sobre monitoreo de calidad del agua basado en IoT

Autor(es)	Año	Tecnología	Parámetros monitoreados	Aportación principal
Olivo et al.	2018	Sensores + microcontrolador	pH, temperatura	Prototipo funcional para acuicultura
Conejeros et al.	2021	IoT + red 3G	pH, turbidez	Monitoreo en tiempo real en zonas rurales
Li et al.	2017	Sensores inteligentes	Conductividad, pH	Alta precisión en medición
Zanella et al.	2014	Redes IoT	Variables ambientales	Arquitectura para ciudades inteligentes
Kumar et al.	2019	IoT + nube	Múltiples parámetros	Integración con cloud computing
Ndzi et al.	2019	IoT inalámbrico	Variables básicas	Análisis de limitaciones en zonas rurales
Perera et al.	2014	IoT + contexto	Datos ambientales	Gestión inteligente basada en contexto

Fuente: elaboración propia.

Estrategia de búsqueda de información

Con el propósito de garantizar la calidad científica, pertinencia temática y confiabilidad de la información analizada, se establecieron criterios de inclusión y exclusión orientados a seleccionar estudios directamente relacionados con el monitoreo inteligente de la calidad del agua mediante tecnologías IoT y plataformas digitales.

Los criterios de inclusión contemplaron artículos científicos, revisiones académicas y publicaciones indexadas que abordaran el uso de sensores, redes de comunicación, sistemas embebidos o plataformas web aplicadas al monitoreo de variables fisicoquímicas del agua. Asimismo, se consideraron investigaciones que presentaran evidencia experimental, validación práctica o

implementación funcional de prototipos, debido a que estos elementos permiten evaluar la viabilidad real de las soluciones tecnológicas propuestas. También se priorizaron estudios publicados en revistas científicas arbitradas y memorias de congresos internacionales reconocidos en las áreas de ingeniería, tecnologías de la información y ciencias ambientales.

De igual manera, se incluyeron investigaciones enfocadas en parámetros relevantes para la evaluación de la calidad del agua, tales como pH, turbidez, temperatura, conductividad y niveles de contaminación, así como estudios relacionados con arquitecturas IoT, plataformas de almacenamiento en la nube y sistemas de visualización de datos en tiempo real.

Por otro lado, los criterios de exclusión consideraron aquellos documentos que presentaban únicamente enfoques conceptuales o teóricos sin evidencia de implementación práctica, debido a que limitaban el análisis comparativo de resultados reales. También se descartaron publicaciones duplicadas, documentos incompletos, trabajos sin revisión por pares y estudios cuya información metodológica resultaba insuficiente para evaluar la calidad de sus resultados.

Asimismo, se excluyeron investigaciones alejadas del contexto del monitoreo ambiental o aquellas centradas exclusivamente en otras áreas de aplicación del IoT, como domótica, salud o automatización industrial, cuando no existía relación directa con la gestión hídrica. Finalmente, se omitieron publicaciones anteriores al periodo de análisis establecido, con el fin de asegurar que la revisión refleje el estado actual del conocimiento y las tendencias tecnológicas más recientes.

La aplicación de estos criterios permitió conformar un conjunto de estudios con suficiente rigor metodológico y relevancia científica, facilitando un análisis crítico más consistente y alineado con los objetivos de la investigación.

Criterios de inclusión y exclusión

Con el propósito de garantizar la calidad científica y la pertinencia temática de la información recopilada, se establecieron criterios de inclusión y exclusión orientados a seleccionar investigaciones directamente relacionadas con la implementación de sistemas de monitoreo de calidad del agua basados en tecnologías IoT y plataformas web. La definición de estos criterios permitió delimitar el alcance de la revisión y asegurar la consistencia metodológica del estudio, tal como recomiendan Kitchenham y Charters (2007) en investigaciones de revisión sistemática.

Los criterios de inclusión contemplaron artículos científicos, revisiones académicas y publicaciones indexadas que abordaran el uso de sensores, microcontroladores, redes inalámbricas y aplicaciones web aplicadas al monitoreo de variables fisicoquímicas del agua. Asimismo, se consideraron estudios que presentaran evidencia experimental, validación práctica o implementación funcional de prototipos tecnológicos, debido a que estos elementos permiten evaluar la viabilidad operativa de las soluciones propuestas.

De igual forma, se incluyeron investigaciones enfocadas en parámetros relevantes para la evaluación de la calidad del agua, tales como pH, turbidez, temperatura y conductividad, debido a que son indicadores ampliamente utilizados en sistemas de monitoreo ambiental (World Health Organization [WHO], 2017). También se priorizaron publicaciones relacionadas con arquitecturas IoT, almacenamiento en la nube y plataformas de visualización de datos en tiempo real.

Por otro lado, se excluyeron aquellos documentos que presentaban únicamente enfoques conceptuales sin evidencia empírica, trabajos duplicados, publicaciones sin revisión por pares y estudios cuya metodología no permitía evaluar la confiabilidad de los resultados obtenidos. Asimismo, fueron descartadas investigaciones orientadas exclusivamente a otras áreas de aplicación del IoT,

como automatización industrial o domótica, cuando no existía relación directa con el monitoreo hídrico.

La aplicación de estos criterios permitió conformar un conjunto de estudios con suficiente rigor metodológico y relevancia científica, facilitando un análisis crítico más sólido y alineado con los objetivos de la investigación.

Proceso de selección de estudios

El proceso de selección de estudios se desarrolló de manera progresiva y sistemática, con la finalidad de depurar la información recopilada y garantizar la inclusión de investigaciones relevantes para el análisis. Inicialmente, se realizó una búsqueda general en las bases de datos seleccionadas utilizando combinaciones de palabras clave relacionadas con Internet de las Cosas, monitoreo inteligente y calidad del agua.

Posteriormente, se llevó a cabo una revisión preliminar de títulos y resúmenes para identificar estudios potencialmente relevantes. En esta etapa se eliminaron publicaciones duplicadas y trabajos que no guardaban relación con el objeto de estudio. Los artículos restantes fueron sometidos a una revisión de texto completo, permitiendo verificar el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos.

Este procedimiento metodológico coincide con las recomendaciones de Moher et al. (2009) respecto a la necesidad de documentar y transparentar los procesos de selección en revisiones sistemáticas, favoreciendo la trazabilidad y reproducibilidad de la investigación.

Como resultado de este proceso, se identificaron inicialmente más de cien documentos científicos, los cuales fueron reducidos gradualmente hasta obtener un conjunto final de estudios considerados adecuados para el análisis comparativo y crítico.

Tabla 2

Proceso de selección de artículos científicos

Etapa	Descripción	Resultados
Identificación	Búsqueda en bases de datos científicas	120 artículos
Filtrado	Revisión de títulos y resúmenes	65 artículos
Evaluación	Lectura y análisis de texto completo	35 artículos
Selección final	Estudios incluidos en la revisión	25 artículos

Fuente: elaboración propia.

Evaluación de la calidad de los estudios

La evaluación de la calidad metodológica de los estudios seleccionados se realizó mediante un análisis crítico orientado a identificar la consistencia científica y la validez de los resultados reportados. Para ello, se consideraron criterios relacionados con la claridad de los objetivos de investigación, la descripción metodológica, la implementación experimental de los sistemas y la relevancia de los resultados obtenidos.

De acuerdo con Kitchenham y Charters (2007), la evaluación crítica de la literatura permite reducir sesgos y fortalecer la confiabilidad de las revisiones sistemáticas. En este sentido, se analizaron aspectos como el tipo de sensores utilizados, la arquitectura tecnológica implementada, la precisión de las mediciones y las condiciones de validación experimental.

Asimismo, se consideró la actualidad de las publicaciones y el impacto académico de las fuentes consultadas, priorizando investigaciones publicadas en revistas indexadas y conferencias internacionales reconocidas en áreas de ingeniería y tecnologías emergentes.

Este análisis permitió identificar fortalezas y limitaciones en los estudios revisados, así como tendencias comunes relacionadas con el uso de plataformas IoT para monitoreo ambiental.

Síntesis y análisis de la información

La información recopilada fue organizada mediante un proceso de síntesis temática, agrupando los estudios seleccionados en categorías relacionadas con las principales áreas de aplicación de las tecnologías IoT en el monitoreo de calidad del agua.

Las categorías identificadas incluyeron arquitecturas IoT, sensores fisicoquímicos, plataformas web, sistemas de almacenamiento en la nube y aplicaciones en contextos reales. Este procedimiento permitió comparar metodologías, tecnologías implementadas y resultados obtenidos en diferentes investigaciones.

De acuerdo con Perera et al. (2014), la síntesis temática facilita la identificación de patrones y tendencias dentro de un conjunto amplio de estudios, contribuyendo a la construcción de una visión integral del estado del arte.

Como resultado del análisis, se observó que la mayoría de las investigaciones coinciden en señalar que la integración de sensores inteligentes y plataformas digitales mejora significativamente la capacidad de monitoreo en tiempo real. No obstante, también se identificaron limitaciones recurrentes relacionadas con conectividad, escalabilidad e interoperabilidad tecnológica.

Finalmente, la síntesis de la información permitió identificar vacíos de investigación, particularmente en contextos municipales y rurales, donde la implementación de este tipo de soluciones aún es limitada.

Representación gráfica del proceso metodológico

Con el propósito de facilitar la comprensión del procedimiento metodológico seguido durante la investigación, se incorporó una representación gráfica del proceso de revisión sistemática. Esta representación permite visualizar de manera estructurada las etapas de identificación, filtrado, evaluación y selección de estudios científicos.

La utilización de diagramas metodológicos es ampliamente recomendada en investigaciones de revisión debido a que mejora la claridad del proceso de selección y fortalece la transparencia metodológica (Moher et al., 2009).

DESARROLLO

Evolución del monitoreo de agua

El monitoreo de la calidad del agua ha evolucionado significativamente en las últimas décadas como resultado del avance tecnológico y de la creciente necesidad de fortalecer la gestión de los recursos hídricos. Tradicionalmente, los procesos de evaluación de calidad del agua se realizaban mediante técnicas manuales basadas en muestreos periódicos y análisis de laboratorio, los cuales permitían obtener resultados precisos, aunque limitados en frecuencia y cobertura espacial. Según la World Health Organization (2017), este tipo de metodologías continúan siendo ampliamente utilizadas en numerosos contextos debido a su confiabilidad analítica; sin embargo, presentan restricciones importantes relacionadas con el tiempo de respuesta y los costos operativos.

En el contexto latinoamericano, organismos como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2020) han señalado que gran parte de los sistemas de monitoreo tradicionales dependen de procesos centralizados que dificultan la detección temprana de eventos de contaminación. Esta problemática resulta particularmente relevante en municipios rurales o semiurbanos, donde la infraestructura tecnológica y los recursos disponibles suelen ser limitados.

Con el desarrollo de las tecnologías digitales y de comunicación, comenzaron a surgir sistemas automatizados capaces de mejorar la adquisición y transmisión de información ambiental. De acuerdo con Gubbi et al. (2013), la incorporación de redes de sensores y plataformas digitales transformó el monitoreo hídrico en un proceso continuo y en tiempo real, permitiendo reducir la dependencia de los análisis manuales.

Posteriormente, la integración del Internet de las Cosas (IoT) impulsó una nueva etapa en la evolución del monitoreo ambiental. Según Ashton (2009), el IoT permite la interconexión de objetos físicos capaces de recopilar y compartir información mediante redes digitales. Esta capacidad ha favorecido el desarrollo de sistemas inteligentes aplicados al monitoreo de variables fisicoquímicas del agua, incrementando la precisión, frecuencia y disponibilidad de los datos.

Actualmente, los sistemas de monitoreo inteligente no solo permiten medir variables ambientales, sino también generar modelos predictivos y sistemas de apoyo para la toma de decisiones, consolidándose como una tendencia estratégica en la gestión sostenible del recurso hídrico.

Arquitecturas IoT aplicadas al agua

Las arquitecturas IoT constituyen la base estructural de los sistemas inteligentes de monitoreo ambiental, debido a que permiten integrar dispositivos físicos, redes de comunicación y plataformas digitales en un ecosistema tecnológico unificado. De acuerdo con Al-Fuqaha et al. (2015), las arquitecturas IoT se organizan generalmente en tres capas funcionales: percepción, red y aplicación.

La capa de percepción está conformada por sensores y dispositivos encargados de capturar información del entorno físico, tales como pH, turbidez, temperatura y conductividad. Estos dispositivos representan el componente fundamental de adquisición de datos en sistemas de monitoreo hídrico.

La capa de red tiene como objetivo transmitir la información recopilada hacia servidores locales o plataformas en la nube mediante protocolos de comunicación inalámbrica como Wi-Fi, ZigBee, LoRa o redes móviles. Según Ray (2018), esta capa desempeña un papel crítico en la eficiencia y escalabilidad de los sistemas IoT, especialmente en contextos donde existen limitaciones de conectividad.

Finalmente, la capa de aplicación se encarga del procesamiento, almacenamiento y visualización de la información mediante plataformas web o sistemas de análisis de datos. Esta capa permite a los usuarios monitorear el estado del agua en tiempo real y generar reportes para apoyar la toma de decisiones.

En aplicaciones relacionadas con calidad del agua, las arquitecturas IoT han demostrado ventajas significativas en automatización, disponibilidad de datos y reducción de tiempos de respuesta. No obstante, investigaciones como las de Da Xu et al. (2014) advierten que la interoperabilidad entre dispositivos y plataformas continúa siendo uno de los principales desafíos tecnológicos.

Asimismo, Vermesan y Friess (2013) sostienen que el éxito de estas arquitecturas depende no solo de factores técnicos, sino también de la integración con políticas públicas y modelos de gestión sustentable.

Sensores y parámetros clave

El monitoreo de la calidad del agua se fundamenta en la medición de variables fisicoquímicas que permiten evaluar su estado y determinar su aptitud para diferentes usos. La World Health Organization (2017) establece que parámetros como el pH, la turbidez, la temperatura y la conductividad eléctrica representan indicadores esenciales para identificar alteraciones en la calidad del agua y posibles fuentes de contaminación.

El pH permite determinar el nivel de acidez o alcalinidad del agua, siendo un parámetro relevante para evaluar procesos químicos y biológicos. La turbidez, por su parte, mide la presencia de partículas suspendidas, las cuales pueden estar asociadas con contaminación microbiológica o sedimentos.

La temperatura constituye otro indicador importante debido a su influencia en reacciones químicas, niveles de oxígeno disuelto y desarrollo de microorganismos. Finalmente, la conductividad eléctrica permite estimar la concentración de sales y minerales disueltos en el agua, siendo útil para detectar cambios relacionados con contaminación química.

El desarrollo de sensores inteligentes ha permitido automatizar la medición de estas variables en tiempo real. Según Li et al. (2017), los sensores modernos presentan ventajas relacionadas con precisión, bajo consumo energético y facilidad de integración con plataformas IoT.

En investigaciones recientes, los sistemas de monitoreo suelen incorporar sensores conectados a microcontroladores como Arduino o Raspberry Pi, permitiendo la transmisión automática de datos hacia servidores remotos. Este enfoque ha favorecido el desarrollo de soluciones de bajo costo y alta accesibilidad para contextos municipales y rurales.

Tabla 3

Principales parámetros monitoreados en sistemas IoT de calidad del agua

Parámetro	Función	Importancia
pH	Medición de acidez o alcalinidad	Determina potabilidad
Turbidez	Detección de partículas suspendidas	Identifica contaminación
Temperatura	Medición térmica del agua	Influye en procesos químicos
Conductividad	Concentración de sales disueltas	Relacionada con contaminación química

Fuente: elaboración propia.

Plataformas web y análisis de datos

Las plataformas web representan un componente esencial dentro de los sistemas inteligentes de monitoreo hídrico, debido a que permiten gestionar, almacenar y visualizar la información obtenida por los sensores en tiempo real. De acuerdo con Pressman y Maxim (2020), las aplicaciones web basadas en arquitecturas cliente-servidor facilitan el manejo eficiente de grandes volúmenes de datos y mejoran la accesibilidad de la información desde diferentes dispositivos.

La integración de bases de datos relacionales y tecnologías web ha permitido desarrollar dashboards interactivos orientados a la supervisión ambiental. Según Perera et al. (2014), estas plataformas facilitan el análisis contextual de los datos y permiten generar alertas automáticas ante anomalías detectadas en las variables monitoreadas.

En el ámbito del monitoreo del agua, las plataformas web no solo cumplen funciones de visualización, sino también de almacenamiento histórico y análisis estadístico. Esto posibilita identificar patrones de comportamiento y tendencias relacionadas con la calidad del recurso hídrico.

Asimismo, el uso de frameworks responsivos como Bootstrap ha contribuido a mejorar la accesibilidad y usabilidad de las plataformas, permitiendo su consulta desde computadoras, tabletas y dispositivos móviles. Este aspecto resulta especialmente importante en sistemas orientados a instituciones gubernamentales y organismos de gestión ambiental.

Por otro lado, investigaciones recientes destacan la incorporación de tecnologías de computación en la nube para optimizar el almacenamiento y procesamiento de información. Según Ray (2018), los sistemas basados en la nube mejoran la escalabilidad y disponibilidad de los servicios de monitoreo ambiental.

Aplicaciones en contextos reales

La implementación de sistemas IoT para monitoreo de calidad del agua ha sido reportada en diversos contextos internacionales y regionales, evidenciando su potencial para mejorar la gestión hídrica y optimizar la toma de decisiones.

Uno de los casos relevantes es el estudio desarrollado por Conejeros et al. (2021) en zonas rurales de Chile, donde se implementó un sistema de monitoreo de agua potable basado en sensores y redes móviles 3G. Los resultados mostraron mejoras significativas en la disponibilidad de información en tiempo real y en la detección temprana de variaciones en la calidad del agua.

De igual manera, Olivo et al. (2018) desarrollaron un prototipo automatizado para monitoreo de parámetros de calidad del agua en sistemas acuícolas, utilizando sensores conectados a microcontroladores y plataformas de análisis digital. Este estudio demostró la viabilidad de implementar soluciones de bajo costo para aplicaciones ambientales.

En el ámbito de las ciudades inteligentes, investigaciones como las de Zanella et al. (2014) han evidenciado que las arquitecturas IoT pueden integrarse con sistemas urbanos de gestión ambiental, permitiendo monitorear múltiples variables en tiempo real mediante redes distribuidas de sensores.

No obstante, la implementación en contextos municipales continúa enfrentando desafíos relacionados con infraestructura tecnológica, conectividad y sostenibilidad económica. Según Ndzi et al. (2019), las limitaciones de acceso a redes de comunicación y recursos financieros representan barreras importantes para la adopción de estas tecnologías en regiones rurales y semiurbanas.

A pesar de estas limitaciones, la literatura coincide en señalar que los sistemas de monitoreo inteligente representan una herramienta estratégica para fortalecer la gestión sostenible del agua, particularmente en escenarios donde la disponibilidad de información oportuna resulta crítica para la protección de la salud pública y del medio ambiente.

DISCUSIÓN

El análisis de la literatura científica evidencia que las tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT) han transformado significativamente los modelos tradicionales de monitoreo de calidad del agua, permitiendo la automatización de procesos, la adquisición de información en tiempo real y una mayor capacidad de respuesta ante eventos de contaminación. Sin embargo, más allá de los avances tecnológicos reportados en diversos estudios, persisten desafíos estructurales que limitan la adopción masiva y sostenible de estas soluciones en contextos municipales y rurales.

En este sentido, la revisión crítica realizada permite identificar tres problemáticas recurrentes dentro de la literatura: la brecha tecnológica, las dificultades de interoperabilidad y los desafíos relacionados con la escalabilidad de los sistemas IoT aplicados al monitoreo hídrico.

Brecha tecnológica

Uno de los principales desafíos identificados en la literatura corresponde a la brecha tecnológica existente entre regiones con alta infraestructura digital y aquellos contextos con recursos limitados. Aunque diversos estudios reportan resultados favorables en la implementación de sistemas IoT para monitoreo ambiental, la mayoría de estas investigaciones se desarrollan en entornos urbanos, laboratorios experimentales o instituciones con acceso a infraestructura tecnológica avanzada.

De acuerdo con Ndzi et al. (2019), las regiones rurales y semiurbanas continúan enfrentando limitaciones relacionadas con conectividad, disponibilidad energética y acceso a tecnologías digitales, lo que dificulta la implementación permanente de sistemas de monitoreo inteligente. Esta situación resulta particularmente relevante en municipios donde el monitoreo de calidad del agua depende aún de procesos manuales y análisis esporádicos.

Asimismo, Vermesan y Friess (2013) señalan que la transformación digital asociada al IoT requiere no solo infraestructura tecnológica, sino también capacidades institucionales y formación técnica especializada. En muchos casos, los organismos responsables de la gestión hídrica carecen del personal capacitado para operar, mantener e interpretar los sistemas inteligentes de monitoreo.

Desde una perspectiva crítica, esta problemática demuestra que la adopción de tecnologías IoT no depende exclusivamente de la disponibilidad de dispositivos y sensores, sino también de factores sociales, económicos y organizacionales. En consecuencia, el desarrollo de soluciones tecnológicas para monitoreo hídrico debe considerar estrategias orientadas a reducir las desigualdades digitales y fortalecer las capacidades locales.

Interoperabilidad

Otro de los desafíos recurrentes identificados en la literatura corresponde a la interoperabilidad entre dispositivos, plataformas y protocolos de comunicación. La diversidad de tecnologías utilizadas en los sistemas IoT genera dificultades para integrar componentes desarrollados por distintos fabricantes o implementados bajo arquitecturas heterogéneas.

Según Da Xu, He y Li (2014), uno de los principales problemas del ecosistema IoT radica en la ausencia de estándares universales que permitan una comunicación eficiente entre dispositivos y plataformas. Esta situación provoca incompatibilidades técnicas que afectan el intercambio de información y reducen la eficiencia operativa de los sistemas de monitoreo.

En aplicaciones relacionadas con calidad del agua, la interoperabilidad resulta especialmente importante debido a que los sistemas suelen integrar sensores fisicoquímicos, microcontroladores, redes inalámbricas y plataformas web de visualización. La falta de compatibilidad entre estos componentes puede generar pérdidas de información, retrasos en la transmisión de datos y dificultades en la gestión centralizada del sistema.

De igual manera, Al-Fuqaha et al. (2015) sostienen que las arquitecturas IoT actuales presentan una alta fragmentación tecnológica, lo que limita la consolidación de ecosistemas inteligentes completamente integrados. Este problema se intensifica cuando las plataformas utilizadas dependen de servicios propietarios o tecnologías cerradas.

Desde una perspectiva analítica, la interoperabilidad no debe entenderse únicamente como un problema técnico, sino como una limitación estratégica que afecta la sostenibilidad y evolución de los sistemas inteligentes. En este sentido, futuras investigaciones deben enfocarse en el desarrollo de arquitecturas abiertas y modelos de integración basados en estándares interoperables que favorezcan la conectividad entre dispositivos y plataformas heterogéneas.

Escalabilidad

La escalabilidad representa otro de los principales retos para la implementación de sistemas IoT orientados al monitoreo de calidad del agua. Aunque numerosos estudios presentan prototipos funcionales y resultados experimentales satisfactorios, pocos demuestran la viabilidad de estas soluciones en escenarios de gran escala o en redes distribuidas de monitoreo ambiental.

De acuerdo con Kumar et al. (2019), muchos sistemas IoT permanecen en fases piloto debido a limitaciones relacionadas con capacidad de procesamiento, consumo energético y administración de grandes volúmenes de datos. A medida que aumenta el número de sensores conectados, también incrementan las exigencias sobre las redes de comunicación y las plataformas de almacenamiento.

Asimismo, Ray (2018) señala que la escalabilidad de los sistemas IoT depende en gran medida de la integración con tecnologías de computación en la nube y análisis de datos, las cuales permiten distribuir cargas de procesamiento y optimizar el manejo de información en tiempo real.

En contextos municipales, la escalabilidad adquiere una relevancia particular debido a que los sistemas de monitoreo deben adaptarse a múltiples puntos de medición, condiciones ambientales variables y necesidades institucionales específicas. Sin embargo, la mayoría de investigaciones revisadas se enfocan en implementaciones localizadas, sin abordar estrategias de expansión a nivel regional o institucional.

Desde una perspectiva crítica, esto evidencia que el desafío de la escalabilidad no se limita al crecimiento tecnológico del sistema, sino también a su sostenibilidad económica y operativa. La implementación de redes de monitoreo inteligentes requiere inversiones continuas en mantenimiento, conectividad y actualización tecnológica, aspectos que frecuentemente no son considerados en los estudios experimentales.

Por lo tanto, el desarrollo de soluciones escalables para monitoreo hídrico deberá orientarse hacia arquitecturas flexibles, modelos de bajo costo y estrategias de gestión sustentable que permitan su adopción en contextos reales y de largo plazo.

CONCLUSIONES

La presente revisión de literatura permitió analizar de manera crítica el estado actual de las tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT) y plataformas web aplicadas al monitoreo inteligente de la calidad del agua. A partir del análisis de investigaciones desarrolladas entre 2010 y 2024, se identificó que la integración de sensores fisicoquímicos, microcontroladores y sistemas de visualización en tiempo real representa una tendencia creciente dentro de los modelos de gestión hídrica inteligente.

Uno de los principales hallazgos de la investigación radica en que los sistemas IoT permiten superar varias de las limitaciones asociadas al monitoreo tradicional del agua, particularmente en aspectos relacionados con frecuencia de medición, automatización y disponibilidad inmediata de información. Diversos estudios coinciden en que la captura continua de datos favorece la detección temprana de alteraciones en parámetros críticos como pH, turbidez, temperatura y conductividad, contribuyendo a una gestión más eficiente del recurso hídrico (Gubbi et al., 2013; Li et al., 2017).

Asimismo, la revisión evidenció que las plataformas web desempeñan un papel fundamental dentro de los sistemas de monitoreo inteligente, debido a que facilitan el almacenamiento, análisis y visualización de información ambiental en tiempo real. Estas herramientas permiten transformar grandes volúmenes de datos en información útil para la toma de decisiones, fortaleciendo tanto la gestión institucional como la capacidad de respuesta ante eventos de contaminación.

Desde una perspectiva científica, el estudio contribuye al conocimiento existente al integrar y comparar investigaciones relacionadas con arquitecturas IoT, sensores inteligentes y plataformas digitales orientadas al monitoreo ambiental. De igual forma, se identificaron tendencias tecnológicas relevantes, como el uso de computación en la nube, redes inalámbricas y sistemas de análisis de datos aplicados a la gestión hídrica.

No obstante, la revisión también permitió identificar importantes vacíos y limitaciones dentro de la literatura analizada. Entre los principales desafíos destacan la brecha tecnológica en contextos rurales y municipales, las dificultades de interoperabilidad entre dispositivos y plataformas, así como los problemas de escalabilidad asociados a la implementación de redes de monitoreo a gran escala. Estos aspectos evidencian que, aunque las tecnologías IoT presentan un alto potencial, su adopción sostenible requiere no solo avances técnicos, sino también estrategias de integración institucional, capacitación y fortalecimiento de infraestructura digital.

En relación con futuras líneas de investigación, resulta necesario profundizar en el desarrollo de arquitecturas interoperables que permitan la integración eficiente entre dispositivos heterogéneos y plataformas de análisis de datos. Asimismo, se recomienda explorar modelos basados en inteligencia artificial y aprendizaje automático orientados a la predicción de eventos de contaminación y análisis preventivo de riesgos ambientales.

De igual manera, futuras investigaciones deberían enfocarse en la implementación de sistemas inteligentes de monitoreo en contextos municipales y rurales, considerando factores sociales, económicos y ambientales que influyen en la sostenibilidad de estas tecnologías. La evaluación de modelos de bajo costo y alta accesibilidad podría representar una alternativa estratégica para ampliar el alcance de estas soluciones en regiones con recursos limitados.

Finalmente, las implicaciones prácticas de los hallazgos analizados sugieren que los sistemas de monitoreo inteligente pueden convertirse en herramientas estratégicas para fortalecer la gestión sostenible del agua y mejorar la toma de decisiones en organismos gubernamentales, instituciones académicas y comunidades locales. La implementación de este tipo de tecnologías no solo contribuiría a optimizar los procesos de monitoreo ambiental, sino también a promover la protección de la salud pública y el desarrollo sostenible de los recursos hídricos.

REFERENCIAS

- Ahmed, S., Chowdhury, M., & Rahman, M. (2020). Smart water monitoring system using IoT technology. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(5), 245–252. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0110531>
- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks*, 38(4), 393–422. [https://doi.org/10.1016/S1389-1286\(01\)00302-4](https://doi.org/10.1016/S1389-1286(01)00302-4)
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Ashton, K. (2009). That “Internet of Things” thing. *RFID Journal*. <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- Barrios Andrés, M. (2020). Internet de las Cosas. REUS Editorial.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2020). Calidad del agua en México. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conagua>
- Conejeros Molina, A., Hueichaqueo Pichunman, C., Martínez-Jiménez, B. L., & Placeres-Remior, A. (2021). Monitoreo de calidad del agua en sistema de agua potable rural. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 42(3), 60–70. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282021000300060
- Cortés Soto, N. G. (2010). Diagnóstico de la calidad del agua del río Pixquiac en la congregación Zoncuantla, municipio de Coatepec, Veracruz [Trabajo de especialización, Universidad Veracruzana].
- Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233–2243. <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2300753>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Islam, S. M. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., & Kwak, K. (2015). The Internet of Things for health care: A comprehensive survey. *IEEE Access*, 3, 678–708. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2437951>
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Keele University and Durham University Joint Report.
- Kumar, N., Kumar, P., & Hussain, M. (2019). IoT applications in water systems management. *IEEE Access*, 7, 61962–61979. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2916327>
- Kumar, P., Reddy, B., & Srivastava, S. (2021). Smart environmental monitoring using IoT and cloud computing. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(5), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08955-3>
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>
- Li, S., Xu, L., & Zhao, S. (2017). The Internet of Things: A survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243–259. <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7>

Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164–173. <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>

Ndzi, D., Yang, Y., & Khan, M. (2019). IoT challenges and applications in rural environments. *Wireless Networks*, 25(4), 1881–1895. <https://doi.org/10.1007/s11276-018-1714-0>

Olivo Gutiérrez, M., Verduzco Ramírez, J., García Díaz, N., Villalobos-Gómez, J., & Olivo-Gutiérrez, A. (2018). Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. *Científica*, 22(2), 87–95. <https://www.redalyc.org/journal/614/61458109001/>

Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., & Georgakopoulos, D. (2014). Context-aware computing for the Internet of Things: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(1), 414–454. <https://doi.org/10.1109/SURV.2013.042313.00197>

Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software engineering: A practitioner's approach* (9th ed.). McGraw-Hill.

Ray, P. P. (2018). A survey on Internet of Things architectures. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 30(3), 291–319. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.10.003>

Singh, D., Tripathi, G., & Jara, A. J. (2014). A survey of Internet of Things: Future vision, architecture, challenges, and services. *IEEE World Forum on Internet of Things*, 287–292. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2014.6803174>

Vermesan, O., & Friess, P. (2013). *Internet of Things: Converging technologies for smart environments and integrated ecosystems*. River Publishers.

World Health Organization (WHO). (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.). WHO Press. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22–32. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons .