Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Sistemas de monitoreo y gestión basados en Internet de las Cosas para el consumo doméstico del agua: Una revisión bibliográfica

Internet of Things-based monitoring and management systems for domestic water consumption: A literature review

Jurado-Bichir, L.E.[a], Barrera-Martínez, C.L.[b], Meléndez-Rentería, N.P.[c], Yarza-Acuña, J.A.[d], Gutiérrez Montoya, J.E.[a], Laredo-Alcalá, E.I.[b]*

[a] Centro de Estudios e Investigaciones Interdisciplinarios; Universidad Autónoma de Coahuila; C.P. 25350, Arteaga, Coahuila.
[b] Centro de Investigación para la Conservación de la Biodiversidad y Ecología de Coahuila (CICBEC); Universidad Autónoma de Coahuila; C.P. 27640, Cuatrociénegas, Coahuila.
[c] Centro de Investigación e Innovación Científica y Tecnológica (CIICYT); Universidad Autónoma de Coahuila; C.P. 25070, Saltillo, Coahuila.
[d] Escuela de Sistemas; Universidad Autónoma de Coahuila; C.P. 27276, Torreón, Coahuila.
ljuradobichir@uadec.edu.mx; cynthia_barrera@uadec.edu.mx; paola.melendez@uadec.edu.mx; joyarzaa@uadec.edu.mx; jose_gutierrez@uadec.edu.mx; elan_laredo@uadec.edu.mx*

Innovación tecnológica: Supervisión en tiempo real del consumo y niveles de agua, para su uso eficiente.

Área de aplicación: urbana, rural, industrial y agricultura.

Recibido: 28 noviembre 2024
Aceptado: 29 enero 2025

Abstract

The Internet of Things (IoT) provides smart and automated solutions to improve daily life. This study analyzes research on IoT-based water monitoring and management systems focused on domestic consumption. Through a bibliographic review of the last ten years, it aims to provide a comprehensive view of their structure, components, main data collection methods, storage and visualization technologies, and implementation challenges. The findings reveal that these systems are structured in phases: data collection through sensors, processing with microcontrollers, wireless transmission, and cloud storage for real-time visualization via user-friendly interfaces. The studies highlight their ability to optimize household water use through early leak detection and continuous monitoring, leading to savings and promoting sustainability. In terms of accuracy, some systems achieved efficiencies of up to 99.99%, reflecting significant advances in IoT technology applied to

water management. However, challenges remain, such as connectivity issues in remote areas that limit widespread adoption. The data show a trend towards automation and technology integration that not only facilitates the control of domestic water consumption but also predicting usage patterns for more efficient management. The analyzed systems offer innovative and effective solutions for household water management, although their mass implementation faces technical and economic challenges that future research must address.

Key words: Domestic consumption, Water monitoring, IoT, Literature Review.

Resumen

El Internet de las Cosas (IoT) ofrece soluciones inteligentes y automatizadas para mejorar la vida cotidiana. Este trabajo analiza investigaciones sobre sistemas de monitoreo y gestión de agua basados en IoT, enfocados en el consumo doméstico. A través de una revisión bibliográfica de los últimos diez años, se busca ofrecer una visión integral de su estructura, componentes, principales métodos de recolección de datos, tecnologías de almacenamiento y visualización, y desafíos de implementación. Los resultados muestran que estos sistemas se estructuran en fases: recolección de datos mediante sensores, procesamiento con microcontroladores, transmisión inalámbrica y almacenamiento en la nube para visualización en tiempo real a través de interfaces amigables. Los estudios destacan su capacidad para optimizar el uso del agua en los hogares mediante detección temprana de fugas y monitoreo continuo, generando ahorros y promoviendo la sostenibilidad. En términos de precisión, algunos sistemas alcanzaron eficiencias de hasta 99.99%, reflejando avances significativos en la tecnología IoT aplicada a la gestión del agua. No obstante, persisten desafíos, como problemas de conectividad en zonas remotas, que limitan su adopción masiva. Los datos evidencian una tendencia hacia la automatización y la integración de tecnologías que no solo facilitan el control del consumo doméstico, sino también predicen patrones de uso para una gestión más eficiente. Los sistemas analizados ofrecen soluciones innovadoras y efectivas para la gestión del agua en el hogar, aunque su implementación masiva enfrenta retos técnicos y económicos que futuras investigaciones deberán abordar.

Palabras clave: Consumo doméstico, Monitoreo de agua, IoT, Revisión bibliográfica.

1. Introducción

El agua es fundamental para el desarrollo y la continuidad de la vida en el mundo. La disponibilidad de este recurso impacta de manera decisiva en diversos aspectos de la vida del ser humano, como el medio ambiente, la industria, la agricultura, la seguridad alimentaria, el consumo doméstico, entre otros; es un recurso vital para los seres vivos (Mo et al., 2015). El contar con suministro de agua es un derecho humano y el acceso debe ser fácil, suficiente y cumplir condiciones para su uso y consumo. Sin embargo, actualmente se reduce cada vez más la capacidad de abastecer de agua en cantidad y calidad a las actividades domésticas, por lo que la gestión eficiente del agua, especialmente en las viviendas particulares es un desafío cada vez mayor (Restrepo & Aguilar, 2019).

La escasez de agua es una realidad que requiere de atención urgente. Según la ONU, las sequías se duplicarán para el año 2050 lo que amenaza aún más la disponibilidad y calidad del agua. México ya enfrenta desafíos por la falta del recurso. A lo largo de las últimas décadas las sequías se han intensificado, principalmente en las regiones del norte y centro del país (López, 2023). Actualmente, en todo el país hay una crisis en el suministro del agua potable y muchos domicilios particulares sufren de falta de agua o cortes en el abasto del recurso, el hecho de que los hogares cuenten con conexión al sistema de agua potable no garantiza que las familias tengan acceso continuo al agua (COPARMEX, 2024).

En una investigación realizada por Figueroa-Oropeza et al., (2023) se demostró que, a nivel nacional, el suministro de agua en México es intermitente, lo que obliga a las familias a almacenarla para enfrentar los cortes y la incertidumbre en el abastecimiento. Al hablar de intermitencia, se refiere a que el flujo de agua no es constante ni continuo; es decir el agua es suministrada sólo algunos días por semana y pocas horas al día. Ante esta situación, el 81% de las viviendas almacenan agua de la red pública, de las cuales el 65% utiliza tinacos o cisternas y un 16% opta por tambos, cubetas, piletas, ollas o garrafones. Muchos hogares desconocen la frecuencia exacta del suministro.

Dichos medios de almacenamiento resultan ser una medida insuficiente para afrontar el problema de escasez de agua y las alternativas de solución son muy limitadas. Al no ser constante el suministro del recurso y no tener un monitoreo de su disponibilidad, se genera una mala gestión del consumo de agua y por lo tanto un descontrol del poco recurso con el que se cuenta, en donde los consumidores deben enfrentarse a situaciones de desabasto total temporal (Villanueva, 2021).

La importancia de proteger el recurso hídrico es fundamental y una adecuada administración del agua en los hogares puede realizarse con la ayuda de herramientas tecnológicas para monitorear y notificar en tiempo real cuánta agua se tiene disponible, lo que permite la racionalización y el consumo responsable del recurso (Salam, 2024).

Las herramientas tecnológicas como el Internet se han convertido en parte del día a día de las personas, aumentan el confort y simplifican las tareas diarias; lo que es posible a través de avances e innovaciones tecnológicas como el Internet de las cosas (Internet of Things, IoT por sus siglas en inglés); la implementación en los hogares permite a los usuarios de manera remota controlar sus dispositivos cotidianos con conectividad a internet (Anaya et al., 2022). El IoT integra dispositivos como computadoras, redes y sensores conectados a internet, facilitando la recopilación y el intercambio de información. También conecta objetos físicos en una red para detectar, monitorear y controlar el entorno físico de manera eficiente (Qiu et al., 2017).

Dentro del IoT, existen múltiples plataformas tecnológicas que mediante sistemas y/o aplicaciones móviles ejecutadas en dispositivos inteligentes como teléfonos o tabletas, pueden enviar y recibir información en tiempo real (Caminha, 2024). Dichas plataformas son sistemas diseñados para gestionar y procesar los datos generados por dispositivos conectados a IoT; cuando los dispositivos están conectados, las plataformas reciben datos continuamente mediante sistemas de comunicación como Wifi, ZigBee, GSM, Bluetooth (Monet, 2019).

Existe una diversidad de sistemas propuestos para el monitoreo y la gestión de agua basados en IoT empleando microcontroladores y sensores para medir el

caudal, volumen, calidad, entre otras características del recurso hídrico. Dichos sistemas se han implementado en sectores como la agricultura, la industria, la ganadería, áreas urbanas y rurales; con la finalidad de promover un consumo eficiente y un uso responsable del agua aprovechando las múltiples herramientas tecnológicas (Lokhande et al., 2023). Además, en la literatura hay trabajos de revisión bibliográfica enfocados por áreas específicas como el riego en la agricultura, la industria y el sector residencial (Ismail et al., 2022). Algunos estudios abordan estos temas desde un enfoque centrado en las características del agua, analizando aspectos como su calidad, disponibilidad y uso eficiente (Zulkifli et al., 2022). Otros trabajos se orientan a revisar por componentes tecnológicos empleados como plataformas, sensores o tipo de conectividad; implementados en distintos contextos (Yasin et al., 2021).

El presente artículo se centra en analizar investigaciones científicas existentes enfocadas en el desarrollo de sistemas de monitoreo y gestión basados en IoT, aplicados al consumo doméstico de agua. Se hace una búsqueda para identificar los enfoques y los avances más recientes, las diferentes herramientas y dispositivos tecnológicos empleados, además del software para la gestión de los datos, así como los beneficios y desafíos asociados a la implementación de estos sistemas en el ámbito doméstico. A través del análisis de las investigaciones previas, se pretende proporcionar una visión clara del estado actual del tema y sugerir áreas potenciales para futuras investigaciones con la finalidad de hacer más eficiente el uso del agua en hogares. Las preguntas de investigación planteadas son las siguientes:

1. ¿Cómo está definida la estructura de trabajo de los sistemas de monitoreo y gestión de agua propuestos?
2. ¿Cuáles son los principales medios empleados para recopilar y transferir los datos de consumo de agua?
3. ¿Qué tecnologías IoT y plataformas digitales son las más utilizadas para la gestión, almacenamiento y el monitoreo de los datos?
4. ¿Cuáles son los desafíos para la implementación masiva de sistemas de monitoreo de agua basados en IoT en el hogar y las áreas por abordar en futuras investigaciones?

La principal contribución de este artículo es proporcionar una visión integral y actualizada de las tecnologías y enfoques utilizados en el sector doméstico para el monitoreo y la gestión eficiente del agua mediante sistemas inteligentes basados en IoT. El presente estudio se enfoca en las investigaciones para el consumo del recurso hídrico en hogares de áreas urbanas y rurales, con la finalidad de explorar tanto las tecnologías más relevantes como los desafíos que enfrentan estos sistemas para su implementación. Por lo que, para el análisis se excluyeron las investigaciones enfocadas en los sectores como el industrial y agrícola. Esta revisión destaca las tecnologías IoT, conectividad y sensores más utilizados, además de examinar las plataformas digitales, la gestión de los datos y las tendencias futuras en la implementación de IoT para la gestión del recurso hídrico a nivel doméstico (Ismail et al., 2022).

El presente trabajo se organiza de la siguiente manera: en la sección 1 se abordan los desafíos de acceso al agua, el uso de IoT en su gestión, así como el objetivo de este artículo. En la sección 2 se muestran los materiales y métodos empleados para realizar la revisión de los artículos. En la sección 3 se muestran los resultados y discusión, la cual está organizada en cinco subsecciones principales, en base a las preguntas de investigación planteadas para esta revisión.

En la subsección 3.1 se presentan los hallazgos encontrados en la revisión bibliográfica, en la subsección 3.2 se analizan las estructuras de trabajo propuestas para los sistemas y los componentes empleados. Posteriormente, la subsección 3.3 se enfoca en los principales medios utilizados para la recopilación y transferencia de datos, considerando tanto los sensores, como las tecnologías de comunicación empleadas para asegurar la conectividad y en la subsección 3.4 se discuten las tecnologías IoT y las plataformas digitales más empleadas en los sistemas de gestión de agua, así como el almacenamiento y monitoreo de los datos de consumo del recurso hídrico. Por último, en la subsección 3.5, se exploran los desafíos que limitan la implementación masiva de estos sistemas en el hogar, identificando las principales barreras tecnológicas y económicas. Además, se mencionan temas clave para futuras investigaciones.

2. Materiales y métodos

Se empleó como metodología la revisión sistemática de la literatura (RSL) para analizar y explorar los aspectos más relevantes de la información recolectada. Se seleccionó este enfoque para lograr un proceso de búsqueda efectivo en la identificación, selección y análisis de los estudios relacionados con el ámbito del consumo doméstico de agua, su monitoreo y el uso de tecnologías IoT (Carrizo & Moller, 2018).

Con base en lo anterior, para la búsqueda de artículos se trató de dar respuesta a las cuatro preguntas de investigación planteadas, así como una selección de estudios con desarrollos publicados en los últimos 10 años y se excluyeron las investigaciones enfocadas en áreas de monitoreo fuera del contexto doméstico, tales como el consumo de agua en la industria y la agricultura, entre otras.

Para el proceso de revisión y análisis, como primer paso se buscaron artículos con títulos relacionados al monitoreo del consumo de agua domestico basado en IoT, considerando el año de publicación. Se emplearon las siguientes palabras clave para la búsqueda: water, domestic, monitoring, consumption, e IoT. Entre las bases de datos y motores de búsqueda consultados están ResearchGate, IEEE Xplore, Google Scholar, ScienceDirect, Elsevier y SpringerLink. Posteriormente se realizó una revisión de los resúmenes para determinar su relevancia en el consumo de agua doméstico y los estudios seleccionados se revisaron en su totalidad para evaluar su contribución científica y metodológica. Por último, los datos extraídos se analizaron y sintetizaron para redactar el informe enfocado a recabar la estructura de trabajo de los sistemas de monitoreo y gestión del agua, las tecnologías IoT y plataformas digitales más utilizadas, los principales dispositivos empleados para recopilar los datos de consumo y la conectividad, así como los desafíos y áreas potenciales para futuras investigaciones.

Palabras clave	*Intervalo de tiempo*	*Repositorios de busqueda*	*Criterio de selección*
Wáter, domestic, monitoring, consumption, e IoT	Entre 2014 y 2024	ResearchGate, IEEE Xplore, Google Scholar, ScienceDirect, Elsevier, SpringerLink, Academia.edu	Publicaciones relacionadas al monitoreo del consumo de agua domestco empleando IoT

Figura 1: Criterios para selección de artículos.
Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados y discusión

3.1 Revisión literaria

La revisión de la literatura se realizó mediante la misma estructura metódica en todos los artículos seleccionados con la finalidad de observar los mismos criterios y patrones. En cada uno de los trabajos se identificaron y examinaron aspectos clave como: el objetivo principal de la investigación, la estructura o

fases en las que está conformado el sistema propuesto, los medios de recolección, procesamiento y almacenamiento de datos, la tecnología de conectividad utilizada y los resultados y beneficios obtenidos, así como su relevancia con respecto a otros sistemas similares.

Monitoreo del recurso hídrico con instalación en tuberías de suministro.



Figura 2. Monitoreo con instalación de sensores en tuberías de suministro de agua.
Fuente: Elaboración propia generada con IA.

En el año 2015, los autores S. H. Yang et al., (2015) presentaron un sistema que fue instalado en 30 domicilios, 10 en Sosnowiec, Polonia y 20 en Siakathos, Grecia. El sistema emplea sensores de flujo con efecto Hall instalados en tuberías de suministro del recurso hídrico y conectados a colectores de datos inalámbricos, que transfieren la información a dispositivos Wifi Gateway conectados a un router en cada domicilio para el envío de la información a un servidor dedicado. Se destaca que el servidor del sistema es único para los 30 domicilios y se instaló en Polonia. El resultado del sistema instalado en los hogares fue exitoso para el monitoreo y la gestión de agua. Sin embargo, presentó problemas de conectividad y en la gestión de datos en tiempo real, además de que los históricos de consumo se mostraban a través de dos interfaces diferentes. Un año después de su propuesta inicial L. Yang et al., (2016) mejoraron la interfaz de usuario del sistema desarrollado en 2015. El sistema, implementado en Polonia y Grecia, incorporó una aplicación de soporte de decisiones (DSS) diseñada para dispositivos móviles, que ofrece retroalimentación inmediata a los usuarios para incentivar cambios en sus hábitos de consumo de agua. Los usuarios recibieron tabletas con la aplicación DSS, permitiéndoles monitorear su consumo y recibir recomendaciones personalizadas para optimizarlo. Entre los principales desafíos del sistema destacan la gestión eficiente de grandes volúmenes de datos en el servidor central y la efectividad de la retroalimentación para modificar el comportamiento de los usuarios, además de la necesidad crítica de garantizar la privacidad y seguridad de los datos personales. Rajurkar et al., (2017) realizaron el monitoreo del uso de agua en viviendas empleando un microcontrolador Arduino Mega 1280 y sensores de flujo de agua YF-S201 colocados en las tuberías principales y una válvula solenoide para restringir el flujo de agua cuando se supera el límite de consumo. Por medio de IoT se envían los datos a la nube empleando un módulo GSM hacia ThingSpeak, que es una plataforma de código abierto en donde se almacena y analiza la información y mediante una API de la misma plataforma, los usuarios pueden recibir notificaciones sobre el consumo de agua en una App móvil. Una característica relevante del sistema es que permite visualizar gráficos detallados del consumo de agua. Padmanabhan et al., (2017) propusieron un dispositivo IoT que además del monitoreo del agua permitiera generar la facturación automatizada. La propuesta es para entornos residenciales que tiene el diferenciador de evitar la revisión manual de los medidores y muestra al usuario el consumo de agua. Consiste en medidores de agua con sensores de efecto Hall para recopilar los datos y un microcontrolador Atmega328P-PU con un módulo ZigBee con conexión a un servidor local Raspberry Pi, en donde se almacena y gestiona la información en una base de datos

MySQL en un servidor Apache. Los datos de consumo se muestran a los usuarios con una interfaz web que genera la factura que corresponde al cálculo en base a una tarifa por litro. El sistema es efectivo y garantiza una comunicación confiable entre los 80 y 100 metros de distancia entre el transmisor y el receptor. El sistema de Soh et al., (2018) detecta fugas y envía alertas por consumo excesivo, pero en este caso emplea una plataforma diferente para el manejo de los datos, Ubidots, que es una plataforma en la nube que facilita la creación, desarrollo y despliegue de aplicaciones de IoT sin necesidad de programación. El sistema recolecta datos de consumo con un sensor de flujo con efecto Hall conectado a una tarjeta Intel Edison, programada con Arduino IDE. Los datos se envían a Ubidots vía Wifi y se almacenan en la nube con el protocolo MQTT. Además, esta propuesta se diferencia por enviar notificaciones por SMS, Telegram o correo electrónico, las cuales se envían al superar los 400 L/m^3 de consumo. Sin embargo, el uso de la tarjeta Intel Edison es costosa frente a alternativas más económicas como el ESP8266 o ESP32. El trabajo realizado por Tavares et al., (2018) también pretende medir el consumo de agua en hogares y automatizar la lectura de medidores, no obstante, este sistema destaca por ser el único en emplear un medidor con sensor Reed switch para medir el flujo de agua; posteriormente envía los datos al microcontrolador NodeMCU ESP8266 para procesarlos y transferirlos a un servidor mediante REST en formato JSON. Este sistema propone el uso de colas de almacenamiento como una solución para evitar la pérdida de datos causada por conexiones inestables. Los autores utilizaron dichas colas en el microcontrolador para almacenar temporalmente los datos y hasta que se confirma su almacenamiento en el servidor, son eliminados de las colas. Gracias a este enfoque, el sistema logró alcanzar una precisión del 99.99% en la medición del consumo de agua. Los autores Fuentes & Mauricio, (2020) propusieron un sistema con características que lo diferencian ya que incorpora GPS para detectar fugas, al identificar si el usuario no está en casa, así como un algoritmo avanzado que combina reglas establecidas y herramientas analíticas para cubrir 10 escenarios de consumo normales y anómalos. Emplea un sensor de flujo para recolectar los datos, los cuales son procesados con un microcontrolador NodeMCU ESP8266 y enviados vía Wifi con el protocolo MQTT a un servidor local Raspberry Pi. Posteriormente, los datos son almacenados en la nube mediante CouchDB y analizados en Cloudant de IBM, donde el algoritmo de detección emite alertas en caso de anomalías. La interfaz web para el monitoreo está alojada en Azure Cloud y conectada a través de una API desarrollada con el marco ASP.Net Core. Este sistema IoT alcanzó un 100% de precisión en la detección de fugas, superando otros sistemas existentes. En el año siguiente Rosero et al. (2021) propusieron un sistema que utiliza una memoria SD como elemento clave para evitar la pérdida de datos cuando no hay conexión a internet y garantizar su continuidad, el sistema alcanzó una precisión del 98%. Permite medir y monitorear el consumo de agua mediante IoT con pruebas realizadas en una vivienda de Quito, Ecuador. Utiliza un sensor de flujo YF-S201 conectado a una placa Arduino, que envía datos vía Wifi a la nube de Microsoft Azure o los almacena temporalmente en la memoria SD cuando no hay conectividad. Cuenta con una interfaz web para gestionar los usuarios y las consultas en tiempo real y una App móvil en Android que muestra los datos de consumo. La programación fue en C# y C, con una base de datos MySQL. En el mismo año los autores Nanda et al., (2021) a diferencia de otras propuestas revisadas, realizaron una investigación con un sistema más completo para la gestión inteligente del agua. Además de monitorear el flujo, incluye sensores para

medir temperatura, turbidez, pH y humedad del suelo, ampliando su funcionalidad más allá del consumo básico. Los datos son recolectados con dichos sensores y se envían a un controlador NI myRIO para su procesamiento y al software LabVIEW. El sistema no solo detecta fugas y consumos excesivos, sino que también controla un actuador que regula el flujo de agua. La interfaz del sistema se accede desde una aplicación web y móvil, y permite al usuario monitorear el consumo, establecer límites y controlar el actuador. Esta propuesta destaca por su precisión, sin embargo, enfrenta el desafío de un costo significativamente más alto debido a la integración de NI myRIO. Los autores Alcalá-Rodríguez et al., (2022) propusieron un sistema empleando conectividad Bluetooth HC-05 como alternativa accesible para hogares sin redes Wifi. Para recolectar los datos de consumo emplearon un sensor de flujo instalado en la toma principal de la vivienda y la información es procesada mediante un microcontrolador Arduino equipado con el módulo Bluetooth. Los datos se visualizan en una App desarrollada con MIT App Inventor, que almacena la información en TinyDB, una base de datos local que permite exportar los registros a Excel para generar históricos de consumo, además de generar alertas de exceso de consumo y envía recordatorios para promover el uso responsable del agua. Las pruebas experimentales mostraron que el sistema funciona correctamente y aunque el alcance de Bluetooth es limitado, el sistema demostró ser eficiente al proporcionar datos precisos y útiles para el usuario. Arsene et al., (2022) realizaron un sistema que permite identificar patrones de consumo utilizando algoritmos de clasificación y agrupamiento para predecir las fuentes de consumo de agua con mayor precisión, utilizando sensores instalados en las tuberías de distintas viviendas. El sistema emplea caudalímetros YF-S201 conectados a una tarjeta NodeMCU ESP8266, comunicándose mediante el protocolo MQTT para enviar datos en tiempo real a la nube, donde pueden visualizarse y analizarse en una aplicación móvil. También integra Firebase para autenticar el acceso y REDIS para almacenar datos recientes. Mediante Machine Learning, el sistema identifica patrones de consumo y genera recomendaciones para mejorar la eficiencia del agua. Los retos incluyen el manejo de grandes volúmenes de datos y la implementación del sistema en más hogares. Martínez Moreno et al., (2023) propusieron un sistema para medir y enviar datos sobre la distribución y presión de agua en hogares. El sistema valida el acceso seguro del usuario y recopila datos del caudalímetro conectado a un microcontrolador Arduino. Los datos son enviados a una API que los almacena en una base de datos en donde los usuarios consultan su consumo. El sistema utiliza un caudalímetro, una placa Arduino, el framework Spring para programación en Kotlin y la plataforma Azure para almacenamiento y administración de datos, conectándose a través de Wifi. Este prototipo se destaca por combinar medición de caudal y presión, lo que permite detectar fugas o problemas en la red, ofreciendo una solución más completa. A. Ortíz et al., (2023) propusieron un sistema para medir el flujo de agua mediante un sensor de caudal YF-S201, los datos recolectados son procesados por un microcontrolador NodeMCU ESP32 y visualizados localmente en una pantalla LCD en tiempo real, útil cuando hay perdida de conectividad. La información se registra en una base de datos vinculada a una plataforma IoT y usa herramientas como XAMPP (Apache, MySQL, PHP) y Visual Studio Code. Con una efectividad del 96%, permite comparar el consumo registrado con los datos proporcionados por la empresa suministradora, ayudando al usuario a identificar patrones de consumo y detectar fugas.

Tabla 1. Lista de sistemas de monitoreo y gestión basados en IoT para el consumo doméstico del agua con instalación en tuberías de suministro y sus componentes asociados.

Instalación en tuberías de suministro			
Referencia y país de aplicación	**Medios para recopilar datos de consumo y microcontrolador empleado**	**Conectividad y gestión de datos**	**Observación**
S. H. Yang et al., (2015) Polonia, Grecia	Sensor de flujo con Colectores, Gateway	Wifi y SQL Server, Interfaz Web, servidor dedicado	Implementado en dos países con un solo servidor
L. Yang et al., (2016) Polonia, Grecia	Sensor de flujo con Colectores, Gateway	Wifi y HTTP, JSON, SQL Server, Interfaz Web, DSS	DSS con recomendaciones personalizadas de optimización
Rajurkar et al., (2017) India	Sensor YF-S201 con Arduino Mega 1280	GSM y ThingSpeak API	Válvula solenoide para restringir el flujo de agua
Padmanabhan et al., (2017) India	Sensor YF-S201 con Atmega328P-PU	ZigBee y Arduino IDE, Raspberry pi 3, MySQL, PHP	Informa cuantos litros se usan y su facturación
Soh et al., (2018) Indonesia	Sensor de flujo, YF-S201 con Intel Edison	Wifi y Arduino IDE, Ubidots, MQTT	Alertas por Telegram, SMS en exceso de consumo
Tavares et al., (2018) Brasil	Sensor de flujo, Reed Switch con NodeMCU ESP8266	Wifi y Servidor, Interfaz web	Sensor Reed Switch y colas de almacenamiento cuando no hay conexión
Fuentes & Mauricio, (2020) Perú	Sensor de flujo con NodeMCU ESP8266	Wifi y Arduino IDE, Raspberry Pi, Node-Red, CouchDB, Azure	Análisis de datos y algoritmo de detección de fugas
Rosero et al., (2021) Ecuador	Sensor de flujo, YF-S201 con Arduino Wemos D1	Wifi y Arduino IDE, Memoria SD, Web y App móvil	Memoria SD para almacenar datos cuando no hay conexión
Nanda et al., (2021) Dubái, EAU	Sensor de flujo con NI myRIO	Wifi y LabVIEW, Amazon AWS, AZURE, Interfaz web	UC NImyRIO, LabView y Amazon o Azure para los datos.
Alcalá-Rodríguez et al., (2022) México	Sensor de flujo, YF-S201 con Arduino	Bluetooth, HC-05 y Arduino IDE, Tiny DB, MIT App Inventor	Emplea Bluetooth y muestra la tarifa a pagar por consumo
Arsene et al., (2022) Suiza	Sensor de flujo, YF-S201 con NodeMCU ESP8266	Wifi y MQTT, Firebase, Arduino IDE, REDIS, HTTP	Machine Learning para patrones de consumo
Martínez Moreno et al., (2023) México	Sensor de flujo con Arduino Amtel	Wifi y Android Studio, Azure, PostgreSQL, Spring, Java, Kotlin	Almacenamiento en Azure, datos en App de Android.
A. Ortíz et al., (2023) Ecuador	Sensor de flujo, YF-S201 con NodeMCU ESP32	Wifi y Interfaz web, MySQL, Apache, PHP, Visual Studio.	Pruebas de consumo durante 30 días

Monitoreo del recurso hídrico con instalación en tanques de almacenamiento



Figura 3. Monitoreo con instalación de sensores en tanques de almacenamiento de agua.
Fuente: Elaboración propia generada con IA.

Wadekar et al., (2016) propusieron un sistema para administrar y planear el uso del agua en zonas residenciales mediante el monitoreo del nivel de un tanque y el control automático de una bomba. Emplearon cables monopolares conectados a transistores para detectar cinco niveles de agua: nivel 1) extremadamente bajo, activa la bomba y envía un aviso; niveles 2-4) notifica nivel bajo, medio o alto; nivel 5) detecta nivel extremadamente alto, apaga la bomba y envía un aviso. Usaron un microcontrolador ECC3200 con módulo Wifi de Texas Instruments, y avisos a una App móvil Android. Aunque el sistema es funcional, presenta limitaciones como la medición fija de solo cinco niveles. Los autores Warungase et al., (2017) diseñaron un sistema integral para monitorear en tiempo real parámetros como turbidez, pH, nivel de agua y temperatura por medio de sensores instalados en un tanque. Los datos recolectados son enviados mediante el protocolo Zigbee a un microcontrolador central, ATmega16, que los transmite a un entorno IoT para su monitoreo en la nube. Los usuarios pueden acceder a la información desde cualquier lugar a través de una aplicación web. El desafío del sistema es el alcance limitado de Zigbee, además de la interferencia en áreas con muchos dispositivos. Un sistema desarrollado por Shah et al., (2017) monitorea y controla el nivel en tanques de almacenamiento. Para la recolección de los datos emplearon un sensor ultrasónico para medir el nivel de agua en el tanque y la información recopilada se envía al microcontrolador NodeMCU ESP8266. Cuenta con un motor de llenado que se enciende o se apaga según los niveles de agua mínimos o máximos. Esta instrucción se lleva a cabo mediante un relé que actúa como un interruptor eléctrico. La conectividad a la nube se realiza por medio de Wifi y los datos son almacenados mediante un Firebase. La interfaz del usuario es una aplicación Android desarrollada en MIT App Inventor. El sistema es eficiente y económico y logra eficazmente el control del agua en el tanque, sin embargo, el desafío es la estabilidad de la conexión a internet. La propuesta del trabajo realizado por Raghava Rao et al., (2018) agrega la variable de calidad al monitoreo debido a que el agua esta almacenada. El sistema se implementó en hogares de una comunidad en la India con la finalidad de minimizar el desperdicio y asegurar la calidad del recurso. Se emplearon sensores ultrasónicos para el nivel y sensores de pH y turbidez para monitorear la calidad. Los datos son procesados por una Raspberry Pi B+ y enviados a la nube, donde se almacenan, analizan y visualizan en tiempo real mediante ThingSpeak en una App móvil. El sistema también envía alertas cuando los parámetros de nivel o calidad están fuera de los rangos establecidos. Joseph et al., (2018) implementaron un sistema que, a diferencia de propuestas anteriores, utiliza sensores láser VL53L0X para monitorear y controlar el nivel de agua en tanques y transmitir los datos mediante el transceptor HC-12 hacia un Arduino Uno para su procesamiento. Cuando el nivel desciende por debajo del umbral, un motor se activa automáticamente para bombear agua. Los datos son enviados a la plataforma Adafruit a través de un NodeMCU ESP8266 con conexión Wifi, permitiendo a los usuarios visualizar el nivel de agua y el

historial de consumo desde un sitio web. El sistema desarrollado por Jisha et al., (2019) permite el monitoreo y control del nivel de agua empleando un sensor ultrasónico instalado en la parte superior del tanque, adicionalmente mide la humedad en el suelo para activar el riego de plantas, solo cuando sea necesario. Cuenta con un relé para controlar el nivel del tanque con un motor de llenado y los datos recopilados por los sensores son procesados por un Arduino Uno y enviados a un servidor en la nube mediante Ethernet. Además, la información del nivel del tanque y la humedad se envían al usuario vía SMS. Al igual que en otros desarrollos se emplea Ubidots para análisis y gestión de los datos. Supriya, (2020) propone un sistema que se destaca por incluir geolocalización del tanque, lo que puede ser de utilidad para monitorear varios dispositivos a la vez. Para el procesamiento de los datos utilizó el microcontrolador CC3200 de Texas Instruments, similar al empleado por Wadekar et al., (2016). Para medir el nivel de agua se utilizó un sensor ultrasónico HC-SR04 y la plataforma ThingSpeak para la visualización gráfica de los datos. Cuenta con un relé para automatizar el encendido y apagado del motor de llenado del tanque y en caso de fallos del motor o desbordamiento del tanque, utiliza un módulo GSM SIM900A que envía alertas al usuario. Aunque los resultados fueron satisfactorios, el microcontrolador tiene un costo que podría ser una barrera en proyectos domésticos o con instalación de múltiples unidades. En el mismo año, los autores Kulkarni et al., (2020) crearon un sistema en el que, de igual manera se empleó el módulo GSM SIM900A para las alertas, sin embargo, en esta propuesta, en caso de fallo realiza llamadas telefónicas. Cuando el nivel de agua excede el umbral establecido, el sistema usa el módulo inalámbrico GSM para las llamadas, siendo accesible en áreas con conectividad limitada. Una característica diferente, es que empelaron sensores de profundidad para medir el nivel de agua, los datos se transfieren a un microcontrolador Arduino Uno ATmega328P, para procesar y reaccionar a las lecturas de los sensores programados en C++ mediante Arduino IDE. Por último, cuando se detecta que el nivel de agua es superior al umbral definido, el sistema envía una señal a un relé para que active una bomba sumergible para drenar el agua del tanque. Los autores Gautam et al., (2020) diseñaron un sistema IoT para monitoreo implementado en cuatro tanques de almacenamiento para abastecer a 16 hogares con 24 personas. Una característica que hace relevante y diferente al sistema frente a otros es el uso de Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) con Java-ML, para detectar y predecir patrones de consumo. Se emplearon sensores ultrasónicos HC-SR04 para medir el nivel de agua y los datos se transmiten a un microcontrolador Arduino y con un módulo Wifi ESP12-e se envían a un servidor para su almacenamiento y procesamiento, donde se aplican técnicas de aprendizaje automático. Además, cuenta con un algoritmo de detección de fugas que emite una alerta cuando detecta disminuciones en el nivel de agua. La interfaz permite visualizar el historial de consumo, recibir notificaciones de fugas y consultar predicciones. Aunque el sistema es eficaz, su desempeño puede verse afectado por cambios en el número de usuarios, ya que las predicciones dependen de patrones históricos. Un año después, un sistema de monitoreo y gestión de agua en tanques que logró predecir la demanda de agua con alta precisión fue diseñado por Jain et al., (2021), cuenta con características que lo hacen distinguirse, ya que con aprendizaje automático logró predecir patrones de consumo. Emplearon sensores de nivel tipo flotador dentro del tanque para medir el nivel de agua al 100%. Además de un sensor de temperatura y un sensor de vibración en la tubería para garantizar el flujo y detectar obstrucciones. Los datos recolectados son enviados a un microcontrolador con comunicación a un servidor configurado con

Apache, MaríaDB, PHP y Python para realizar las tareas de aprendizaje automático y son ingresados a un modelo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) para analizar patrones y tendencias de consumo. En una aplicación Android, muestra informes del nivel de agua, del estado del dispositivo, del patrón de consumo y de la demanda proyectada. En 2022, Irianto, desarrolló un sistema que utiliza un sensor YFS201 para medir el caudal del agua suministrada desde una fuente subterránea bombeada hacia el tanque. Los datos del caudalímetro son procesados por un microcontrolador ESP32 DevKit V1 y enviados a la plataforma IoT de Blynk mediante conexión Wifi, permitiendo a los usuarios visualizar el consumo a través de una aplicación móvil. El resultado de la implementación del sistema fue el registro del consumo promedio de los habitantes en un hogar con 7 personas, durante una semana. Para visualizar la información, los usuarios deben acceder manualmente a la aplicación, ya que no genera alertas automáticas. Lokhande et al., (2023) diseñaron un sistema para la medición de flujo, volumen y calidad del agua en un tanque de almacenamiento. Para la recolección de los datos de volumen, emplearon cuatro sensores flotadores instalados en el tanque para indicar los niveles de agua al 25%, 50%, 75% y 100%, además de un sensor de pH para la calidad y uno de caudal para conocer la velocidad del agua en la tubería. El procesamiento de los datos se llevó a cabo en un microcontrolador NodeMCU ESP8266, integrando la API Twilio. El sistema incluye el control automático de un motor para extraer agua del tanque, una interfaz web para visualizar los niveles del agua y el envío de alertas SMS a los usuarios cuando el tanque está lleno o vacío. El sistema diseñado más reciente de la revisión es el de los autores Srinivas Vellela et al., (2024) el cual permite a los usuarios visualizar el agua disponible y recibir alertas cuando los niveles en el tanque superan límites predefinidos. Emplearon un sensor ultrasónico para medir el nivel de agua y los datos son procesados por un microcontrolador NodeMCU ESP8266, en el cual, se validan los niveles definidos, se programan alertas y se transmite la información mediante Wifi a la plataforma IoT de Blynk, donde se generan gráficas del nivel del agua y los usuarios pueden acceder a los datos en tiempo real a través de una aplicación móvil de la misma plataforma.

Tabla 2. Lista de sistemas de monitoreo y gestión basados en IoT para el consumo doméstico del agua con instalación en tanques de almacenamiento y sus componentes asociados.

Instalación en tanques de almacenamiento			
Referencia y país de aplicación	**Medios para recopilar datos de consumo y microcontrolador empleado**	**Conectividad y gestión de datos**	**Observación**
Wadekar et al., (2016) India	Alambres de un solo hilo con CC3200	Wifi y Energía IDE, App móvil	Medición de cinco niveles de agua
Warungase et al., (2017) India	Sensores pH, turbidez, nivel y temperatura con ATmega16	Zigbee y Cloud, HTTP	Nivel de agua en un tanque con Zigbee para conectividad
Shah et al., (2017) India	Sensor ultrasónico con NodeMCU ESP8266	Wifi y Arduino IDE, Firebase, Android, MIT App Inventor	Motor de llenado controlado de forma remota.
Raghava Rao et al., (2018) India	Sensor ultrasónico, PH y turbidez con Raspberry Pi B+	Wifi y ThingSpeak, App Móvil	Monitoreo de la calidad de agua en tanques

Joseph et al., (2018) India	Sensor de flujo láser VL53LOX con NodeMCU ESP8266 y Arduino Uno	HC12, Wifi y Arduino IDE, Adafruit	Gestión de agua en tanque con sensores láser.
Jisha et al., (2019) India	Sensor ultrasónico y humedad Arduino UNO	Ethernet y Ubidots, SMS, Alertas	Emplea ethernet para la conectividad
Supriya, (2020) India	Sensor de nivel HC-SR04 con CC3200 Launchpad	Wifi, GSM SIM 900A y Energia IDE, ThingSpeak	Geoetiquetado para ubicar los tanques
Kulkarni et al., (2020) India	Sensor de nivel con Arduino UNO ATmega328P	SIM900A GSM y Arduino IDE, Servidor Local, C++	Notificaciones con llamada telefónica mediante GSM
Gautam et al., (2020) India	Sensor de nivel HC-SR04 con Arduino ESP12-e	Wifi y Arduino IDE, SVM, Java-ML	Algoritmos para predicción de consumo y detección de fugas
Jain et al., (2021) India	Sensores: nivel flotador, flujo vibración, temperatura microcontrolador no especificado	Wifi y MaríaDB, Apache Server, ARIMA, Android, PHP, Phython	Modelo ARIMA para pronosticar demanda y patrón de consumo
Irianto, (2022) Indonesia	Sensor de flujo, YF-S201 con NodeMCU ESP32 DevKit V1	Wifi y Arduino IDE, Blynk Cloud y App	Suministro de agua desde fuente subterránea
Lokhande et al., (2023) India	Sensor de flujo, nivel flotador, PH con NodeMCU ESP8266	Wifi y Arduino IDE, PHP, SQL, C++, Twilio API, SMS	4 sensores flotadores para el nivel de agua en tanque
Srinivas Vellela et al., (2024) India	Sensor ultrasónico con NodeMCU ESP8266	Wifi y Arduino IDE, Blynk App, Cloud	App móvil prediseñada en plataforma IoT

Monitoreo del recurso hídrico con instalación en tuberías de suministro y tanques de almacenamiento.

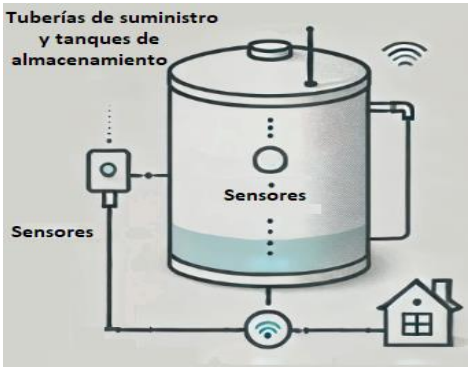


Figura 4. Monitoreo con instalación de sensores en tuberías de suministro y tanques de almacenamiento de agua. Fuente: Elaboración propia generada con IA.

Los autores Narendran et al., (2017) propusieron un sistema de monitoreo y gestión de agua en tanques de almacenamiento y que además emplea sensores en las tuberías de suministro para automatizar la distribución, almacenamiento y regulación del consuno de agua en hogares de áreas rurales. Su propósito es maximizar el aprovechamiento del agua, considerando los hábitos de consumo, las variaciones ambientales y la recuperación de las fuentes de agua subterráneas. Se emplearon sensores de presión en los pozos para monitorear la disponibilidad de agua subterránea, medidores de flujo en las tuberías para el volumen y sensores ultrasónicos en los tanques para monitorear el nivel. Los datos de consumo son recopilados por los sensores y enviados a Libelium Waspmote Pro V1.2 una plataforma de desarrollo IoT para almacenarlos y procesarlos. El envío de la información es por API RESTful y tecnología GSM. Las alertas sobre los niveles de agua son enviadas por un panel web. Otra propuesta similar, es la de los autores Kusuma et al., (2018) con resultados que demuestran que el sistema es eficiente, confiable y de bajo costo. Adicionalmente el monitoreo también aborda el suministro de agua para prevenir consumo excesivo, desbordamiento y la detección de fugas en tuberías. Se emplearon sensores de flujo, nivel, pH y suelo, conectados a una Raspberry Pi que procesa

los datos y los almacena tanto en una base de datos local como en la nube de ThingSpeak mediante conectividad Wifi. La información se analiza y se visualiza través de gráficos generados con Python en una interfaz para el usuario.

Monitoreo del recurso hídrico con instalación en los dispositivos de servicio de agua en el hogar.



Figura 5. Monitoreo con instalación de sensores en cada grifo.
Fuente: Elaboración propia generada con IA.

En el año 2019, Mauro et al., diseñaron un sistema que, a diferencia de otras propuestas, proporciona un análisis más detallado del consumo de agua ya que, para la recolección de datos se instalaron sensores de flujo YF-S201 en cada dispositivo de agua en un hogar y en lugares donde fue difícil la instalación, se colocó un medidor de energía Sonoff para correlacionar el consumo de agua con el uso de energía. Para el procesamiento de la información se usó un microcontrolador NodeMCU ESP32 y la transferencia datos fue vía Wifi a EmonCMS; una plataforma de código abierto para almacenamiento, análisis y visualización en tiempo real. La interfaz de usuario detalla el consumo en cada punto de uso y aunque el sistema demostró eficacia, enfrenta desafíos de precisión, con un margen de error del 5% entre el consumo global registrado y el calculado, así como limitaciones para instalar sensores en ciertos dispositivos. En el mismo año los autores Tasong & Abao, (2019) diseñaron una aplicación para monitorear el consumo de agua en cada grifo en una vivienda con sensores YF-S201, similar al sistema de Mauro et al., (2019). No obstante, esta propuesta cuenta con analítica visual (VA) y permite detectar cual grifo es más usado ya que fueron etiquetados con su ubicación. Los datos son procesados por microcontroladores NodeMCU, que calculan el flujo y lo convierten a litros para mostrarlos en una pantalla LCD y al mismo tiempo se envían a un servidor en la nube de Heroku. Cuenta con una interfaz desarrollada con Laravel, JavaScript, jQuery, Bootstrap y Chart.js, para consultar gráficos de consumo desde dispositivos móviles, con una base de datos en PostgreSQL. Además, cuenta con un botón para calibrar los caudalímetros, lo que contribuyó a una precisión del 99.38%. Sin embargo, la instalación de múltiples sensores implica un costo inicial elevado.

3.2 Estructura de los sistemas de monitoreo y gestión de agua

Durante los últimos 10 años, periodo en el cual se delimitó la búsqueda de investigaciones, se encontró que la mayoría de los sistemas propuestos están estructurados en fases con una función específica. Cuentan con etapas similares utilizadas para representar el proceso general de los sistemas de monitoreo y gestión de agua, entre dichas fases están la recolección de los datos, el procesamiento, almacenamiento y la visualización de la información. La finalidad de representar la estructura de los sistemas en fases es facilitar la comprensión, el desarrollo, diseño, organización e implementación de las funciones de cada módulo del sistema. En la figura 6 se muestra la representación de la estructura general de los sistemas de monitoreo y gestión de agua en entornos domésticos.

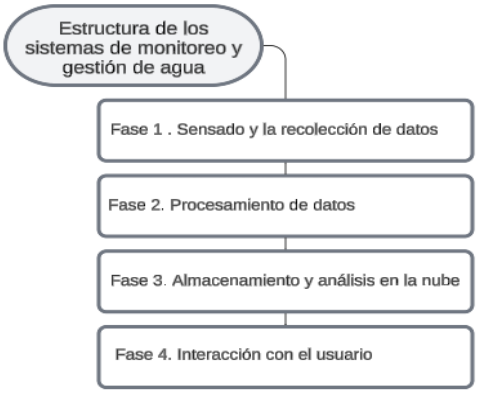


Figura 6. Estructura general encontrada en los sistemas de monitoreo y gestión de agua.
Fuente: Elaboración propia.

Para el sensado y la recolección de datos se emplearon diversos sensores como los de flujo, nivel, turbiedad, pH, temperatura entre otros; colocados en tanques, tuberías y dispositivos domésticos de agua, según el objetivo de cada sistema. Para el procesamiento y la conversión de los datos de análogo a digital se usaron numerosos microcontroladores. Además, integran protocolos de comunicación como Wifi, GSM o Zigbee. En esta fase es fundamental elegir un componente que tenga la capacidad de enviar la información a la nube, ya que los sistemas están basados en IoT y requieren en su mayoría algún medio para la conectividad a internet. El almacenamiento y análisis en la nube, consiste en el envío de datos a plataformas basadas en IoT procesamiento y visualización. Algunas soluciones integran capacidades de análisis avanzado, como aprendizaje automático (ARIMA, SVM) para predecir patrones de consumo. Por último, está la fase de la interacción con el usuario, en donde las aplicaciones móviles o web permiten al usuario visualizar los datos en tiempo real, recibir alertas y acceder a análisis históricos del consumo de agua. Se incluyen alertas y notificaciones, permiten el control de manera remota del flujo o nivel de agua, además de alertas cuando el consumo de agua sobrepasa el considerado como mínimo.

3.3 Principales medios empleados para recopilar, transferir y procesar los datos de consumo de agua

Los sensores más utilizados incluyen los de flujo o caudal, como el modelo YF-S201 y los sensores de nivel, como los ultrasónicos y de flotador, que permiten medir la cantidad de agua en tanques. Adicionalmente, donde se monitorean contextos específicos, se utilizan sensores láser y Reed switch, diseñados para mediciones precisas en entornos de difícil acceso. Para el procesamiento inicial de los datos recolectados, predominan microcontroladores como Arduino Uno, Arduino Mega y NodeMCU, este último con módulo Wifi integrado compatible con ESP8266/ESP32, que simplifica la transmisión de datos hacia plataformas digitales. En la transferencia de información, se identifican como principales tecnologías de comunicación el Wifi y el GSM/GPRS, siendo estas últimas esenciales en áreas sin conectividad Wifi mediante módulos como el SIM900 y SIM900A. Este conjunto de tecnologías facilita la captura, procesamiento y transmisión de datos en tiempo real, contribuyendo al monitoreo eficiente del consumo de agua en diversas aplicaciones.

3.4 Tecnologías IoT y plataformas digitales más utilizadas para la gestión, almacenamiento y el monitoreo de los datos

En las investigaciones revisadas, destacan diversas tecnologías IoT y plataformas digitales. Wifi es la tecnología más usada para transmitir datos a la nube en entornos domésticos, acompañada del protocolo MQTT por su eficiencia para la transmisión de mensajes entre dispositivos en redes con recursos limitados. ThingSpeak es la plataforma en la nube más común para almacenamiento y visualización en tiempo real. Además, su integración con MATLAB permite análisis avanzados para detectar patrones en el consumo de agua. Otras

plataformas empleadas que facilitan el manejo de los datos hacia el usuario son Adafruit, Blynk, y Ubidots, que facilitan aplicaciones de IoT sin necesidad de programación. Para el almacenamiento de datos históricos, MySQL y Firebase son las opciones más empleadas. MySQL se destaca por su eficiencia y compatibilidad con múltiples lenguajes, mientras que Firebase es útil para la sincronización en tiempo real, especialmente en aplicaciones móviles. En entornos que requieren mayor escalabilidad, también se utilizan Azure y Amazon AWS.

3.5 Desafíos para la implementación masiva de los sistemas revisados y áreas por abordar en futuras investigaciones

El principal desafío para la adopción y efectividad de estos sistemas es la inestabilidad de la conexión a internet, además de la conectividad limitada en hogares ubicados en zonas remotas, donde los recursos económicos para implementar redes Wifi, acceso a Internet o redes móviles estables son escasos. Esto dificulta la implementación de sistemas de monitoreo basados en IoT, que dependen de la transmisión de datos en tiempo real. Aunque en la revisión se identificaron soluciones potenciales, como Zigbee, GSM o Bluetooth, implementar estos sistemas continúa siendo un reto significativo. Con respecto a las áreas por abordar en futuras investigaciones está la dependencia de la red eléctrica para alimentar los dispositivos empleados en los sistemas y la integración de algoritmos que permitan determinar patrones de consumo y detectar fugas, que si bien, entre los desarrollos revisados hay algunos que si lo incluyen, se podría integrar la inteligencia artificial para lograr un análisis más preciso y que más sistemas lo lleven a cabo.

4. Conclusiones

La revisión bibliográfica sobre sistemas de monitoreo y gestión de agua basados en IoT para entornos domésticos muestra importantes avances en la recolección, análisis, almacenamiento, procesamiento y visualización de datos de consumo de agua en tiempo real. A lo largo de los años, la estructura de los sistemas se ha mantenido relativamente constante debido a la efectividad de sus componentes básicos, los principios fundamentales siguen siendo aplicables. La infraestructura y la tecnología para el procesamiento de datos han evolucionado notablemente, especialmente en el ámbito de los microcontroladores, que ahora integran módulos Wifi y ofrecen costos accesibles. Así mismo, las plataformas en la nube destacan por su efectividad y accesibilidad. Sin embargo, existen desafíos importantes, como la limitada conectividad en domicilios de zonas remotas y la dependencia de fuentes de energía. La integración de algoritmos avanzados e inteligencia artificial en estos sistemas representa una oportunidad clave en la predicción de patrones de consumo y detección de fugas. Lo anterior con la finalidad de avanzar en la implementación efectiva de sistemas de monitoreo de consumo doméstico de agua basados en IoT que permitan a los hogares monitorear y gestionar el consumo de agua de manera eficiente y sostenible.

5. Referencias

Alcalá-Rodríguez, J., Barbosa-García, J. C., Contreras-Guzmán, M. J., Gudiño-Lau, J., Charre-Ibarra, S. M., & Vélez-Díaz, D. (2022). *XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan*. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xikua/issue/archive

Anaya, Y. T. M. C. M., Gonzalo Galván Rodríguez, D., & Alberto Orrante Sakanassi, J. (2022). El impacto del internet de todas las cosas (IoT) en la vida cotidiana. *Ciencialatina.OrgYDS Anaya, DGG Rodríguez, IG Prince, JAO*

SakanassiCiencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 2022•ciencialatina.Org. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.1959

Arsene, D., Predescu, A., Pahonțu, B., Chiru, C. G., Apostol, E. S., & Truică, C. O. (2022). Advanced Strategies for Monitoring Water Consumption Patterns in Households Based on IoT and Machine Learning. *Water (Switzerland)*, *14*(14). https://doi.org/10.3390/w14142187

Caminha, G. (2024). *What is Static Pressure in Fluid Dynamics? | SimScale Blog*. https://www.simscale.com/blog/what-is-static-pressure/

Carrizo, D., & Moller, C. (2018). *Estructuras metodológicas de revisiones sistemáticas de literatura en Ingeniería de Software: un estudio de mapeo sistemático Methodological structures of systematic literature review in software engineering: a systematic mapping study*.

COPARMEX. (2024). *México en crisis por falta de agua*. https://coparmex.org.mx/mexico-en-crisis-por-falta-de-agua/

Figueroa-Oropeza, J. L., Rodríguez-Atristain, A., Cole, F., Mundo-Rosas, V., Muñoz-Espinosa, A., Figueroa-Morales, J. C., Boudart, Z., Téllez-Rojo, M. M., Bautista-Arredondo, S. A., Sánchez, B., & Roberts, E. F. (2023). ¿Agua para todos? La intermitencia en el suministro de agua en los hogares en México. *Salud Publica de Mexico*, *65*, s181–s188. https://doi.org/10.21149/14783

Fuentes, H., & Mauricio, D. (2020). Smart water consumption measurement system for houses using IoT and cloud computing. *Environmental Monitoring and Assessment*, *192*(9). https://doi.org/10.1007/s10661-020-08535-4

Gautam, J., Chakrabarti, A., Agarwal, S., Singh, A., Gupta, S., & Singh, J. (2020). Monitoring and forecasting water consumption and detecting leakage using an IoT system. *Water Science and Technology: Water Supply*, *20*(3), 1103–1113. https://doi.org/10.2166/ws.2020.035

Irianto, K. D. (2022). Residential Water Tanks with IoT: A Solution for Household Water Consumption Monitoring. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 238–247. https://doi.org/10.9734/ajrcos/2022/v14i4308

Ismail, S., Dawoud, D. W., Ismail, N., Marsh, R., & Alshami, A. S. (2022). IoT-Based Water Management Systems: Survey and Future Research Direction. *IEEE Access*, *10*, 35942–35952. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3163742

Jain, H., Buch, M., & Babu, P. (2021). *Water Management System Using Machine Learning*. 481–492. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0171-2_45

Jisha, R., Vignesh, G., & Deekshit, D. (2019). IOT based water level monitoring and implementation on both agriculture and domestic areas. *Ieeexplore.Ieee.OrgRC Jisha, G Vignesh, D Deekshit2019 2nd International Conference on Intelligent Computing, 2019•ieeexplore.Ieee.Org*. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8993272/

Joseph, J., Manju, K. M., Sajith, M. R., Nair, S., Viay, V. P., & Krishnan, S. (2018). Water Management System Using IoT. *International Research Journal of*

Engineering and Technology. www.irjet.net

Kulkarni, S. A., Raikar, V. D., Rahul, B. K., Rakshitha, L. V., Sharanya, K., & Jha, V. (2020, December 16). Intelligent water level monitoring system using IoT. *Proceedings - 2020 IEEE International Symposium on Sustainable Energy, Signal Processing and Cyber Security, ISSSC 2020*. https://doi.org/10.1109/iSSSC50941.2020.9358827

Kusuma, S., & Anil, G. N. (2018). An IoT based water supply monitoring and controlling system. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 5(02).* https://www.academia.edu/download/55999502/IRJET-V5I2189.pdf

Lokhande, V. K., Kamandar, S. B., Bobade, U. K., Kolase, R. S., & Patankar, N. S. (2023). An Intelligent Iot Based Alert Messaging System For Water Tank Level, Water Quality and Flow Detection. *2023 4th International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management, ICCAKM 2023*. https://doi.org/10.1109/ICCAKM58659.2023.10449654

López, S. (2023). *Escasez de agua y sequía en México: crisis actual*. https://imco.org.mx/escasez-de-agua-y-sequia-en-mexico-crisis-actual/

Martínez Moreno, M., Hernández Castrejón, D. A., Cervantes Honorato, J., Gómez Santamarina, M. L., & Gil Moreno, B. (2023). Water network: Aplicación móvil con tecnología Arduino para la medición de presión y consumo del agua. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *7*(2), 7817–7829. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5920

Mauro, A. Di, Nardo, A. Di, Santonastaso, G. F., & Venticinque, S. (2019). An IoT system for monitoring and data collection of residential water end-use consumption. *Ieeexplore.Ieee.OrgA Di Mauro, A Di Nardo, GF Santonastaso, S Venticinque2019 28th International Conference on Computer Communication and, 2019•ieeexplore.Ieee.Org*. https://doi.org/10.1109/ICCCN.2019.8847120

Mo, X., Qiu, X. J., & Shen, S. (2015). An IoT-based system for water resources monitoring and management. *Proceedings - 2015 7th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, IHMSC 2015*, *2*, 365–368. https://doi.org/10.1109/IHMSC.2015.150

Monet, M. O. (2019). *Implementación y Evaluación de Plataformas en la Nube para Servicios de IoT*. https://riunet.upv.es/handle/10251/127825

Nanda, I., Shukla, V. K., Jitendra Dhanekula, V., Gadipudi, M., Penugonda, V., & Maloji, S. (2021). Design and Real Time Implementation of SmartWater Management using LabVIEW and IoT. *Proceedings of 2nd IEEE International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy, ICCIKE 2021*, 524–528. https://doi.org/10.1109/ICCIKE51210.2021.9410782

Narendran, S., Pradeep, P., & Ramesh, M. V. (2017). An Internet of Things (IoT) based sustainable water management. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8239320/

Ortíz, A., Chérrez, D., Narvaez, E., & Cando, W. (2023). Infraestructura de medición avanzada para monitoreo de consumo de agua potable basado en Internet de las Cosas. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, *5*(4), 414–425. https://doi.org/10.59169/PENTACIENCIAS.V5I4.677

Padmanabhan, R., Elamukil, D., & Bhuvaneswari, P. T. V. (2017). *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication SOC Module for IOT Based Smart Water Monitoring*. http://www.ijritcc.org

Qiu, T., Wu, D. O., & Prathap, P. (2017). Introduction to the special section on Software Architecture and Modeling for Industrial Internet of Things. *Computers & Electrical Engineering*, *58*, 241–243. https://doi.org/10.1016/J.COMPELECENG.2017.04.022

Raghava Rao, K., Srinija, S., Bindu, K. H., & Satish Kumar, D. (2018). IOT based water level and quality monitoring system in overhead tanks. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, *7*, 379–383. https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.7.10747

Rajurkar, C., Prabaharan, S. R. S., & Muthulakshmi, S. (2017). IoT based water management. *International Conference on Nextgen Electronic Technologies: Silicon to Software (ICNETS2) (Pp. 255-259). IEEEe.Org*. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8067943/

Restrepo, J., & Aguilar, J. E. (2019). El derecho al agua como Derecho Fundamental. *Nuevo Derecho,15(24),5-16.* https://www.redalyc.org/pdf/6697/669770736002.pdf

Rosero, R., Bahamonde, S., & Zambrano, A. (2021). Sistema remoto para la medición y visualización del consumo de agua. *INNOVATION &DEVELOPMENT IN ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES, 3(1), 28-28*. http://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas/article/view/554

Salam, A. (2024). *Internet of Things for Water Sustainability*. 113–145. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62162-8_4

Shah, P. P., Patil, A. A., & Ingleshwar, S. S. (2017). IoT based smart water tank with Android application. *International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC) (Pp. 600-603). IEEE*. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8058250/

Soh, Z. H. C., Shafie, M. S., Shafie, M. A., Sulaiman, S. N., Ibrahim, M. N., & Abdullah, S. A. C. (2018). Iot water consumption monitoring & alert system. *International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICs) (Pp.168-172). IEEE.* https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8548930/

Srinivas Vellela, S., Venkatesh Babu, B., Mahendra, D., Bharat, Y., & Info, A. (2024). IoT-Based Tank Water Monitoring Systems: Enhancing Efficiency and Sustainability. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, *2024*(02), 291–298. https://doi.org/10.46501/IJMTST1002037

Supriya, K. E. (2020). IoT based real time water level monitoring using Texas

instruments' CC3200. *Indian Journal of Science and Technology*, *13*(17), 1720–1729. https://doi.org/10.17485/ijst/v13i17.295

Tasong, A. C., & Abao, R. P. (2019). Design and development of an IoT application with visual analytics for water consumption monitoring. *Procedia Computer Science*, *157*, 205–213. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.159

Tavares, S. A. C., Cavalcanti, R. J., Silva, D. R., Nogueira, M. B., & Rodrigues, M. C. (2018). Telemetry for domestic water consumption based on iot and open standards. *Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (Pp. 1-6). IEEE.* https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8428333/

Villanueva, H. G. (2021). *Sistema de medición inteligente de consumo de agua en hogares usando IoT y Cloud Computing*. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/0c192d58-24b3-4d22-977e-99582a8273ff/content

Wadekar, S., Vakare, V., Prajapati, R., Yadav, S., & Yadav, V. (2016). Smart water management using IOT. *5th International Conference on Wireless Networks and Embedded Systems (WECON) (Pp. 1-4). IEEE.* https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7993425/

Warungase, P., Worlikar, A., Mhatre, J., Saha, D., & Salunkhe, G. (2017). *IOT Based Water Monitoring System*. www.ijert.org

Yang, L., Yang, S. H., Magiera, E., Froelich, W., Jach, T., & Laspidou, C. (2016). Domestic water consumption monitoring and behaviour intervention by employing the internet of things technologies. *Procedia Computer Science*, *111*, 367–375. https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.06.036

Yang, S. H., Chen, X., Chen, X., Yang, L., Chao, B., & Cao, J. (2015). A case study of internet of things: A wireless household water consumption monitoring system. *IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2015 - Proceedings*, 681–686. https://doi.org/10.1109/WF-IOT.2015.7389136

Yasin, H. M., Zeebaree, S. R. M., Sadeeq, M. A. M., Ameen, S. Y., Ibrahim, I. M., Zebari, R. R., Ibrahim, R. K., & Sallow, A. B. (2021). IoT and ICT based Smart Water Management, Monitoring and Controlling System: A Review. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 42–56. https://doi.org/10.9734/ajrcos/2021/v8i230198

Zulkifli, C. Z., Garfan, S., Talal, M., Alamoodi, A. H., Alamleh, A., Ahmaro, I. Y. Y., Sulaiman, S., Ibrahim, A. B., Zaidan, B. B., Ismail, A. R., Albahri, O. S., Albahri, A. S., Soon, C. F., Harun, N. H., & Chiang, H. H. (2022). IoT-Based Water Monitoring Systems: A Systematic Review. *Water 2022, Vol. 14, Page 3621*, *14*(22), 3621. https://doi.org/10.3390/W14223621