

Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarria S.C.
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada. Toluca, Estado de México. 7223898475
 RFC: ATI120618V12

Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.

<http://www.dilemascontemporaneoseducacionpoliticaayvalores.com/>

Año: XIII Número: 2 Artículo no.:55 Período: 1 de enero del 2026 al 30 de abril del 2026

TÍTULO: Sistema IoT de bajo costo para detección de fugas de agua en viviendas de interés social en México.

AUTORES:

1. Dr. Cornelio Morales Morales.
2. IQ. Julieta Ponce Vela.
3. Dra. Armida González Lorence.
4. Dra. Mirna Castro Bello.
5. Dra. Josefa Morales Morales.

RESUMEN: Este artículo presenta un sistema IoT de bajo costo que integra sensores de caudal, procesamiento de datos en microcontrolador ESP32 y despliegue mediante aplicación móvil, validado a través de un prototipo a escala 1:12 bajo escenarios con y sin fugas, y mediante encuesta a 133 usuarios. El sistema alcanzó 96.4% de precisión, 98% de estabilidad en transmisión de datos, y tiempo de alerta de 11.8 segundos. El 90% de participantes consideró importante esta tecnología para reducir pérdidas económicas. El sistema representa una solución accesible y efectiva para viviendas de interés social, contribuyendo al uso sostenible del agua y protegiendo a familias vulnerables de costos imprevistos.

PALABRAS CLAVES: IoT, detección de fugas, viviendas de interés social, bajo costo, gestión del agua.

TITLE: Low-cost IoT system for detecting water leaks in social housing in Mexico.

AUTHORS:

1. PhD. Cornelio Morales Morales.
2. Ch.E. Julieta Ponce Vela.
3. PhD. Armida González Lorence.
4. PhD. Mirna Castro Bello.
5. PhD. Josefa Morales Morales.

ABSTRACT: This article presents a low-cost IoT system that integrates flow sensors, data processing on an ESP32 microcontroller, and deployment via a mobile application. The system was validated using a 1:12 scale prototype under scenarios with and without leaks, and through a survey of 133 users. It achieved 96.4% accuracy, 98% data transmission stability, and an alert time of 11.8 seconds. Ninety percent of participants considered this technology important for reducing economic losses. The system represents an accessible and effective solution for social housing, contributing to the sustainable use of water and protecting vulnerable families from unforeseen costs.

KEY WORDS: IoT, leak detection, social housing, low cost, water management.

INTRODUCCIÓN.

El acceso al agua potable enfrenta desafíos críticos en viviendas de interés social, donde las fugas no detectadas generan pérdidas económicas significativas para familias de bajos recursos. A nivel mundial, entre el 30% y el 50% del agua potable se pierde por fugas no detectadas, afectando de manera crítica a comunidades vulnerables y generando incrementos significativos en los costos domésticos.

En México, la magnitud del problema alcanza proporciones alarmantes. Aproximadamente el 40% del agua potable distribuida se pierde antes de llegar al consumidor final por deterioro de la infraestructura, conexiones irregulares y falta de mantenimiento (CONAGUA, 2024). Estas pérdidas reducen la eficiencia

operativa de los sistemas de abastecimiento, incrementan los costos energéticos y de tratamiento, y comprometen la sostenibilidad del servicio.

Según datos del INEGI (2020), en México existen aproximadamente 35.2 millones de viviendas particulares habitadas, de las cuales cerca de 8.5 millones corresponden a viviendas de interés social. De estas, se estima que el 37% experimenta problemáticas relacionadas con fugas de agua, afectando directamente a más de 12 millones de personas. En las viviendas de interés social, el uso de materiales de baja durabilidad y las presiones de operación variables aceleran el deterioro de las tuberías, generando fugas constantes y difíciles de detectar con los métodos convencionales (UVFI, 2023).

El impacto económico resulta devastador para las economías familiares vulnerables. Estudios documentan casos donde familias de escasos recursos han recibido cobros por consumo excesivo que superan los \$8,000 pesos en un bimestre, cuando su consumo histórico no rebasaba los \$600 pesos. Estas situaciones representan una realidad cotidiana que empuja a numerosas familias hacia el endeudamiento o la suspensión del servicio.

La detección de fugas en redes de distribución ha experimentado una evolución significativa en las últimas décadas, pasando de métodos empíricos a estrategias basadas en instrumentación inteligente y análisis de datos. Los métodos tradicionales, como los acústicos, los de balance hidráulico o los modelos matemáticos, han contribuido al diagnóstico de pérdidas en sistemas urbanos (Akimu et al., 2025; Ben Seghier et al., 2022; Lučin et al., 2021; Nguyen et al., 2018; Puust et al., 2010; Wu et al., 2025); sin embargo, su precisión depende de condiciones operativas controladas, de la calidad de la información hidráulica y de la calibración constante de los equipos, lo que limita su aplicabilidad en entornos domésticos (Liemberger & Wyatt, 2019; Lučin et al., 2021; Nguyen et al., 2018).

De manera complementaria, los métodos de simulación e inferencia estadística han mostrado resultados prometedores en la estimación probabilística de fugas, aunque su implementación requiere altos recursos computacionales y no permite una detección en tiempo real (Alonso & Montenegro, 2015; Goharian et

al., 2018; Metropolis & Ulam, 1949; Proença et al., 2023; Rubinstein & Kroese, 2008; Torres & Verde, 2024).

Ante estas restricciones, los sistemas basados en sensores inteligentes e Internet de las Cosas (IoT) se han posicionado como una alternativa eficiente, flexible y sostenible para la gestión del agua. Estas soluciones integran sensores de caudal y presión con microcontroladores de bajo consumo y conectividad inalámbrica, permitiendo el monitoreo continuo de redes y la detección automática de anomalías (Akimu et al., 2025; Cheng et al., 2025; Kandil et al., 2024; Romero & Jeisson, 2024; Wu et al., 2025; Yang et al., 2017); además, la incorporación de plataformas móviles facilita la visualización de datos en tiempo real, la emisión de alertas automáticas y la interacción directa con el usuario, reduciendo los tiempos de respuesta ante incidencias.

Por su bajo costo, escalabilidad y fácil implementación, las tecnologías IoT ofrecen una solución viable para viviendas de interés social, donde las limitaciones técnicas y económicas restringen el acceso a sistemas avanzados de monitoreo. En este contexto, el presente estudio propone el diseño e implementación de un sistema IoT de bajo costo para la detección de fugas en tuberías de agua potable, orientado específicamente a viviendas de interés social.

Para comprender la dimensión social del problema, este estudio incluyó una caracterización mediante encuesta estructurada a 133 participantes de viviendas de interés social. Los resultados revelaron patrones claros: el 30.3% reportó haber enfrentado pérdidas por fugas, el 32% identificó consumo excesivo como principal problema, y el 29.5% señaló dificultades relacionadas con la calidad del servicio. Más del 90% de los encuestados calificó como importante o muy importante contar con un sistema IoT de monitoreo. La mayor parte expresó preocupación directa por los cobros elevados derivados de consumos no identificados, y más del 80% afirmó que consideraría valioso que una vivienda nueva incluyera esta tecnología integrada de fábrica.

El sistema propuesto automatiza la detección de fugas, reduce la intervención humana y promueve la participación activa del usuario en la gestión del recurso hídrico. De esta manera, contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) y el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), al fomentar el uso racional del agua, la eficiencia operativa y la sostenibilidad hídrica urbana.

DESARROLLO.

Materiales.

Para el desarrollo y validación del sistema propuesto se construyó un prototipo hidráulico a escala 1:12, diseñado para reproducir las condiciones operativas de una red de distribución de agua potable en viviendas de interés social. El montaje incluyó un tramo lineal de tubería de PVC doméstica de 1.20 m de longitud y $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro nominal, seleccionado por su representatividad hidráulica y facilidad de instrumentación. El sistema operó en régimen estacionario, lo que permitió garantizar la repetibilidad de las pruebas y la estabilidad de las mediciones.

Las fugas se模拟aron mediante válvulas calibradas de apertura manual, que permitieron controlar tanto la magnitud como la ubicación de las pérdidas. Se instalaron cuatro sensores de caudal y un sensor de presión, ubicados estratégicamente en la entrada, salida y puntos intermedios del tramo, para registrar las variaciones hidráulicas durante las pruebas.

El sistema de adquisición y procesamiento de datos se implementó con un microcontrolador ESP32, encargado de capturar y transmitir las señales de los sensores hacia una aplicación móvil desarrollada para el monitoreo en tiempo real.

Tabla 1. Descripción del prototipo físico.

Componentes	Especificación
Escala del prototipo	1:12
Material de la tubería	PVC (tubería hidráulica doméstica)
Longitud de la tubería	1.20 m
Diámetro de la tubería	½ pulgada
Número de sensores	4 sensores de caudal, 1 sensor de presión
Ubicación de sensores	Entrada, salida y puntos intermedios
Método de simulación de fugas	Apertura manual de válvulas calibradas
Condición de flujo	Operación en régimen estacionario
Sistema de adquisición	Microcontrolador ESP32

Cabe señalar, que aunque el prototipo físico experimental incluye una red hidráulica con múltiples ramificaciones, este estudio centra su análisis en una sección lineal específica de la red, representativa de las instalaciones típicas en viviendas de interés social.

Metodología.

La metodología desarrollada integra los principios de la instrumentación hidráulica, la electrónica embebida y la comunicación IoT. El proceso se estructuró en cuatro fases complementarias mostradas en la Figura 1.

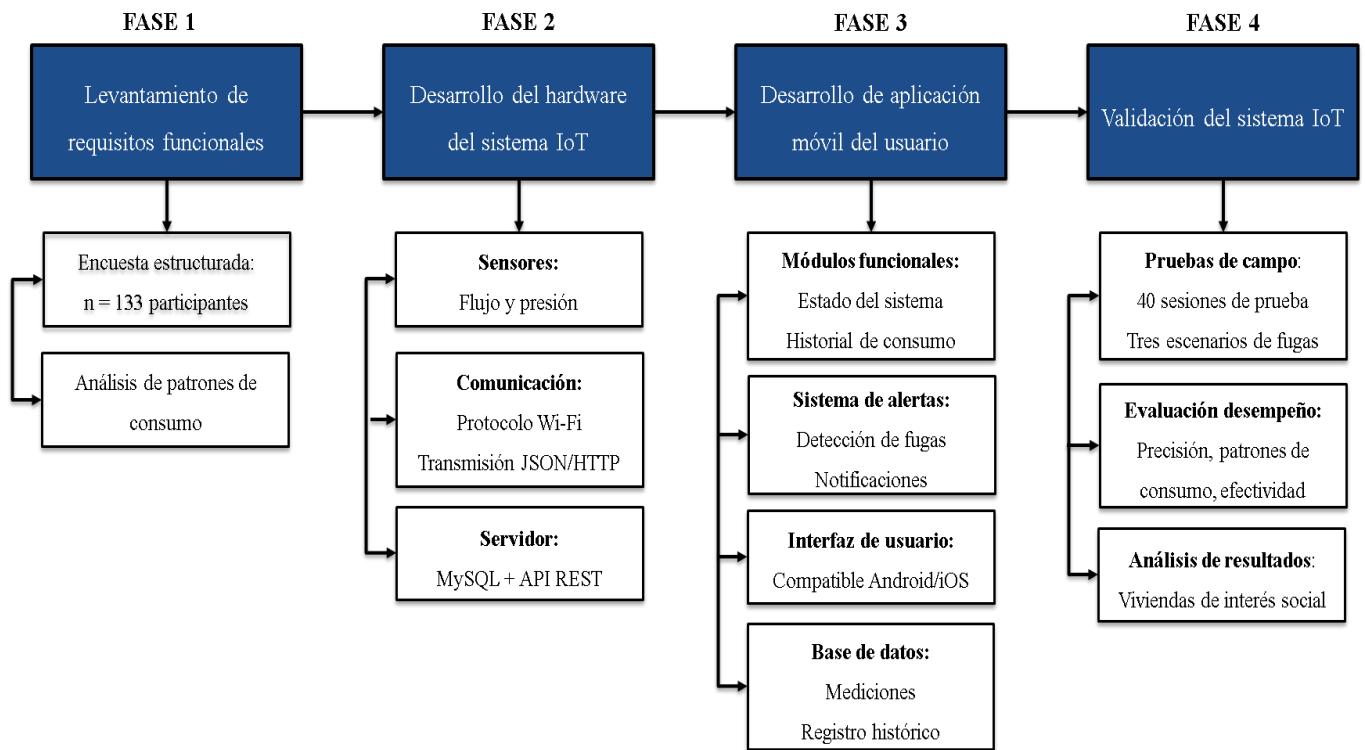


Figura 1. Diagrama metodológico del sistema IoT.

Fase 1. Recolección de información.

Se aplicó una encuesta estructurada a 133 participantes de viviendas de interés social mediante diseño transversal y muestreo no probabilístico por conveniencia. El instrumento recopiló información sobre:

- (a) Problemas frecuentes relacionados con el abastecimiento de agua.
- (b) Percepción de cobros elevados.
- (c) Importancia asignada a sistemas inteligentes de monitoreo.
- (d) Disposición económica para adoptar soluciones tecnológicas.

Fase 2. Desarrollo del hardware del sistema IoT.

Se desarrolló la arquitectura del sistema integrando sensores de caudal tipo efecto Hall YF-S201 y sensor de presión, conectados al microcontrolador ESP32. Este dispositivo convierte las señales analógicas en digitales, aplica filtrado básico, y envía los datos hacia un servidor remoto alojado en la plataforma Always

Data mediante conexión Wi-Fi. La información procesada genera alertas automáticas cuando se detectan desviaciones en los valores asociadas a fugas.

Fase 3. Desarrollo de aplicación móvil del usuario.

Se desarrolló una aplicación móvil que permite el monitoreo remoto de variables hidráulicas mediante solicitudes HTTP en formato JSON. La interfaz presenta módulos de Estado del sistema (visualización en tiempo real), Historial de consumo (registros previos y tendencias), Reportes de fugas (notificaciones de anomalías), y Contacto y soporte.

Fase 4. Validación del sistema IoT.

El sistema fue validado mediante 40 sesiones de prueba bajo tres escenarios definidos. La validación experimental se realizó para evaluar el desempeño del sistema IoT bajo diferentes condiciones hidráulicas, definiendo tres escenarios de prueba que permitieron analizar la capacidad del sistema para identificar cambios en caudal y presión asociados a la presencia de fugas, tal como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Escenarios de validación experimental.

Escenario	Descripción	Condiciones hidráulicas	Objetivo
Sin fuga	Operación normal sin pérdidas inducidas.	Caudal 0.8-1.0 L/min, presión 0.3-0.6 bar.	Establecer línea base de referencia.
Fuga moderada	Apertura parcial de válvula calibrada.	Disminución leve de caudal y variación moderada de presión.	Evaluar sensibilidad ante pérdidas pequeñas.
Fuga severa	Apertura amplia de válvula calibrada.	Reducción significativa del caudal y caída notable de presión.	Validar detección en condiciones críticas.

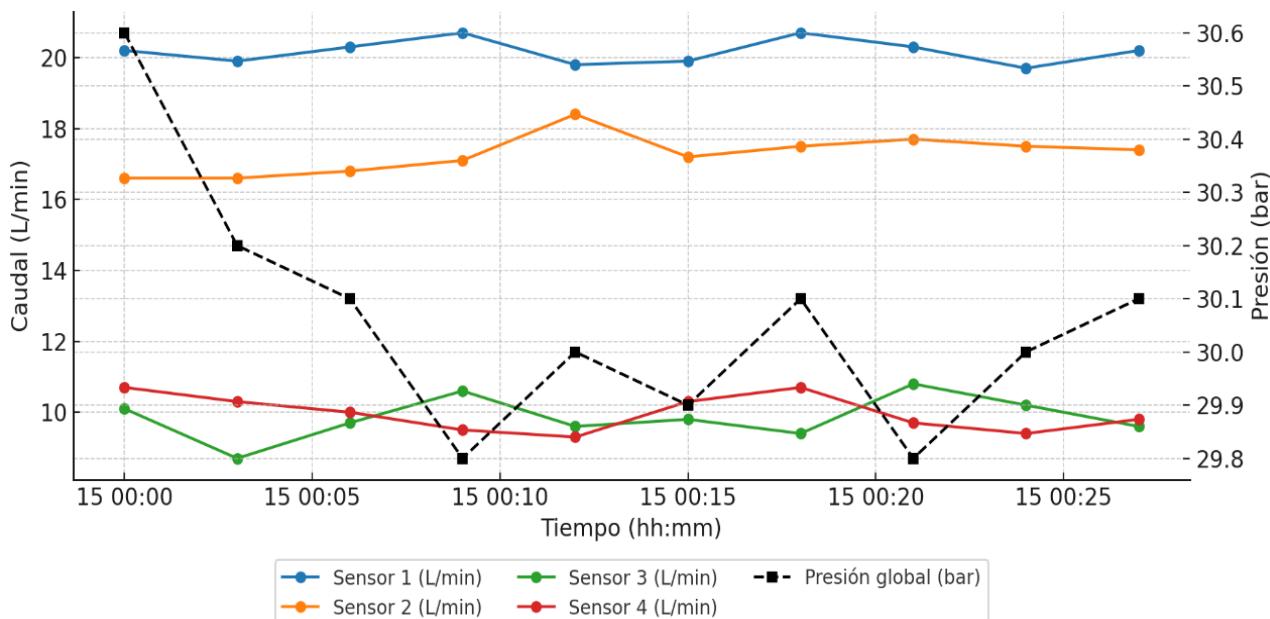
Resultados.

Comportamiento del sistema.

Para la evaluación del desempeño del sistema de detección propuesto, se estableció una condición de referencia mediante el registro del comportamiento del prototipo sin presencia de fugas. Esta línea base permitió caracterizar el estado de operación normal y determinar los valores de estabilidad de caudal y presión en régimen estacionario. Los sensores de caudal mostraron lecturas constantes con variaciones mínimas atribuibles al ruido inherente de los dispositivos. El sensor de presión registró valores estables durante todo el periodo de prueba, confirmando que el sistema operó bajo condiciones hidráulicas controladas y reproducibles.

La Figura 2 presenta la evolución del caudal y la presión durante el funcionamiento estable del prototipo. La constancia en los valores registrados evidencia que la instrumentación respondió adecuadamente y que el prototipo reprodujo de manera fiel el equilibrio hidráulico esperado en una red doméstica sin fugas.

Figura 2. Comportamiento del sistema en condiciones de operación normal sin fugas.



En contraste, el comportamiento bajo inducción de fuga controlada mostró una disminución perceptible en las lecturas de caudal en los sensores cercanos al punto de fuga, acompañada de caídas apreciables en la presión. Estas variaciones confirman la sensibilidad del sistema ante cambios en las condiciones de operación y constituyen un indicador confiable para la identificación temprana de fugas en redes domésticas.

La Figura 3 muestra la interfaz principal del menú de la aplicación móvil, y en esta pantalla se presentan los módulos operativos disponibles para el usuario, incluyendo: Estado del sistema para visualizar en tiempo real las variables hidráulicas; Historial de consumo que permite consultar registros previos y tendencias; Reportes de fugas, donde se notifican las anomalías detectadas; Contacto y soporte habilitados para asistencia técnica; y Cerrar sesión. Esta estructura organiza las funciones esenciales del sistema, facilitando una interacción intuitiva, rápida y accesible para usuarios no especializados.

Figura 3. Interfaz de gráfica de la aplicación móvil.



Indicadores de desempeño.

La plataforma desarrollada demostró un rendimiento notable durante las 40 sesiones de prueba realizadas bajo condiciones controladas. El sistema de adquisición de datos se mantuvo estable en el 98% de las sesiones, garantizando una transmisión fiable con una latencia promedio de 1.2 segundos entre la captura de datos y su visualización remota. A lo largo de estas sesiones, se recopilaron más de 8,000 registros que fueron procesados para calcular los indicadores clave del sistema.

Tabla 3. Indicadores de desempeño.

Indicador	Valor
Precisión del sensor de caudal	96.4%
Sensibilidad del sensor de presión	0.18 mbar
Estabilidad en la transmisión de datos	98%
Tiempo medio de detección de fugas	11.8 segundos
Efectividad en la generación de alertas	100%

La precisión del sensor de caudal se evaluó mediante la comparación entre los volúmenes medidos por el sistema y los volúmenes reales descargados durante las simulaciones. La sensibilidad del sensor de presión se determinó en función de su capacidad para detectar fluctuaciones mínimas. La estabilidad en la transmisión de datos se evaluó con base en el porcentaje de paquetes correctamente recibidos. La efectividad de las alertas se calculó en relación con la capacidad del sistema para identificar eventos anómalos. Estos valores reflejan la capacidad del sistema para realizar mediciones precisas y detectar anomalías en tiempo real.

Percepción social y valoración por usuarios.

Los resultados de la encuesta a 133 participantes revelan una alta valoración del sistema por parte de los usuarios potenciales. El 90% de los participantes consideró importante o muy importante contar con

tecnología de monitoreo para reducir pérdidas y costos asociados a fugas no detectadas. La mayoría manifestó preocupación directa por los cobros elevados derivados de consumos no identificados, y más del 80% expresó que valoraría que una vivienda de interés social incluyera esta tecnología integrada desde su construcción.

Estas respuestas evidencian una demanda social explícita de herramientas tecnológicas accesibles. Considerando que una fuga no detectada de magnitud moderada puede generar consumos adicionales de 150-300 litros diarios, el ahorro potencial por vivienda oscila entre \$400 y \$1,200 pesos bimestrales, lo que representa entre 5% y 15% del ingreso mensual promedio en hogares de interés social. El sistema propuesto, con un costo estimado de implementación de \$2,400 pesos por vivienda, puede reducir significativamente el riesgo de estos cobros excesivos.

Discusión.

Los resultados obtenidos evidencian que la integración de sensores hidráulicos, un módulo ESP32 y un servidor remoto constituye una alternativa técnica eficaz para la detección temprana de fugas en redes domésticas de agua potable. A diferencia de los métodos convencionales basados en acústica, balance hidráulico o calibración de modelos, en los que la precisión depende fuertemente de condiciones de operación estables y de la calidad de la instrumentación utilizada (Lučin et al., 2021), el sistema propuesto demostró ser capaz de registrar variaciones de caudal y presión con alta sensibilidad en un entorno de baja complejidad, sin requerir equipos especializados ni infraestructura avanzada.

En comparación con enfoques recientes basados en plataformas IoT de carácter industrial o urbano, los cuales suelen operar con sensores de alta gama e infraestructura robusta (Cheng et al., 2025; Kandil et al., 2024), el sistema desarrollado ofrece una arquitectura más ligera, económica y adaptable a viviendas de interés social. Esta simplificación no compromete el desempeño, ya que los resultados experimentales mostraron una precisión del 96.4% en los sensores de caudal, una estabilidad del 98% en la transmisión

de datos, y una efectividad del 100% en la generación de alertas. Tales indicadores se encuentran dentro de rangos comparables a los reportados en soluciones IoT de mayor costo.

Investigaciones recientes centradas únicamente en la recolección de datos o en el monitoreo básico no abordan de manera integral la comunicación bidireccional ni la interacción con el usuario final (Akimu et al., 2025; Romero & Jeisson, 2024). En contraste, la propuesta aquí desarrollada incorpora una aplicación móvil capaz de visualizar el estado del sistema, emitir alertas automáticas, y almacenar un historial de mediciones, facilitando la toma de decisiones por parte del usuario y permitiendo una gestión más activa del recurso hídrico en el hogar.

El impacto económico del sistema sobre familias de bajos recursos constituye un hallazgo significativo. Con un costo de implementación de \$2,400 pesos por vivienda y un ahorro potencial de \$400 a \$1,200 pesos bimestrales, el sistema puede recuperar su inversión en un periodo de 4 a 12 meses, dependiendo de la magnitud de las fugas detectadas y reparadas. Este retorno de inversión resulta particularmente relevante para hogares vulnerables donde estos ahorros representan una proporción significativa del ingreso familiar mensual.

Desde la perspectiva de política pública, los resultados demuestran la viabilidad de integrar este tipo de sistemas en programas gubernamentales de vivienda social. Considerando que en México se construyen aproximadamente 500,000 viviendas de interés social anualmente (CONAVI, 2023), la incorporación de esta tecnología desde la construcción representaría una inversión de \$1,200 millones de pesos, pero generaría ahorros estimados superiores a \$2,400 millones anuales por reducción de desperdicio hídrico y prevención de cobros excesivos.

El sistema desarrollado contribuye directamente al cumplimiento de múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. En particular, se alinea con el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), específicamente con la meta 6.4 sobre eficiencia en el uso del agua y reducción de la escasez hídrica. Al

permitir la detección temprana de fugas, el sistema contribuye a reducir el desperdicio de agua potable tratada, optimizando el uso de un recurso cada vez más escaso.

El sistema contribuye al ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) al promover una gestión urbana del agua más eficiente y equitativa. La reducción de pérdidas en el ámbito doméstico complementa los esfuerzos de gestión a nivel de sistemas de distribución, contribuyendo a la sostenibilidad hídrica de las ciudades. Adicionalmente, al proteger a familias vulnerables de cobros excesivos imprevistos, el sistema tiene un impacto indirecto en el ODS 1 (Fin de la pobreza) y ODS 10 (Reducción de las desigualdades).

El estudio presenta limitaciones que deben reconocerse. Primero, aunque el prototipo a escala 1:12 permitió validación técnica controlada, la implementación en redes reales presentará complejidades adicionales: variabilidad de presión en horarios pico, interferencias en conectividad WiFi, y durabilidad de componentes en condiciones de operación continua. Estudios piloto en viviendas reales son necesarios para validar desempeño en condiciones no controladas.

Segundo, la encuesta a 133 participantes proveyó información valiosa sobre percepciones y necesidades, pero estudios longitudinales son necesarios para evaluar la apropiación tecnológica sostenida, las modificaciones en comportamientos de consumo de largo plazo, y el impacto económico real sobre economías familiares después de varios meses o años de uso.

Tercero, aunque la arquitectura ESP32-Always Data-Aplicación móvil funcionó sin interrupciones significativas durante las pruebas, la implementación a mayor escala requerirá análisis de eficiencia energética en operación continua, manejo seguro de datos personales de consumo, y estrategias para garantizar robustez en hogares con conectividad intermitente. Futuros trabajos deberán abordar estos aspectos mediante pilotos de implementación real con seguimiento de 12-24 meses, análisis comparativo de modelos de financiamiento, y evaluación de sinergias con otras tecnologías domésticas.

CONCLUSIONES.

El sistema IoT de bajo costo desarrollado demostró ser una solución efectiva y accesible para la detección temprana de fugas en viviendas de interés social. Los resultados experimentales confirmaron que la combinación de sensores hidráulicos, un módulo ESP32 y un servidor en la nube permite identificar con precisión variaciones de caudal y presión asociadas a fugas moderadas y severas, alcanzando 96.4% de precisión, 98% de estabilidad operativa y tiempo de alerta de 11.8 segundos.

Su arquitectura de bajo costo (\$2,400 pesos por vivienda) y fácil implementación lo convierte en una alternativa viable para viviendas de interés social, donde las limitaciones económicas e infraestructurales dificultan el acceso a tecnologías especializadas. El sistema puede generar ahorros de \$400 a \$1,200 pesos bimestrales por vivienda, recuperando su inversión en 4 a 12 meses.

La encuesta a 133 participantes reveló que más del 90% consideró importante contar con tecnología de monitoreo para reducir pérdidas y costos. Esta demanda social explícita, combinada con el ahorro potencial significativo, evidencia que el sistema responde a una necesidad real de poblaciones vulnerables que enfrentan riesgo constante de cobros excesivos por fugas no detectadas.

Al ofrecer monitoreo continuo y alertas automáticas, el sistema contribuye a reducir pérdidas físicas de agua, optimizar el mantenimiento doméstico y promover una gestión más responsable del recurso hídrico. Esto se alinea directamente con el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) y ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), fortaleciendo la sostenibilidad y la seguridad hídrica urbana.

El sistema fortalece la autonomía del usuario, mejora la eficiencia del consumo en sectores vulnerables y apoya los esfuerzos orientados a la gestión sostenible del agua. Futuros trabajos deberán evaluar su desempeño en redes más complejas, adaptar la plataforma para operación continua en entornos reales, y explorar modelos de implementación y financiamiento sostenibles que permitan su adopción a mayor escala.

Agradecimientos.

Los autores agradecen el apoyo de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), al Tecnológico Nacional de México, y al Instituto Tecnológico de San Juan del Río, para la elaboración de este proyecto. También se agradece a las 133 familias que participaron en la encuesta, cuya disposición a compartir sus experiencias hizo posible comprender la dimensión social de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2024). Estadísticas del Agua en México, edición 2024. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
2. Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020: Características de las viviendas. INEGI.
3. UVFI. (2023). Universidad Veracruzana Facultades de Ingeniería y Ciencias Químicas Región Xalapa Manual de Detección de Pérdidas de Agua.
4. Akimu, O., Rashayi, E., Gumindoga, W., Gotora, G. M., & Zulu, G. B. (2025). Optimising Harare's Water Dissemination Network: Development of an IoT-Driven Leak Monitoring System for Sustainable Urban Water Management. *East African Journal of Engineering*, 8(1), 219–230. <https://doi.org/10.37284/eaje.8.1.3344>
5. Ben Seghier, M. E. A., Spyridis, P., Jafari-Asl, J., Ohadi, S., & Li, X. (2022). Comparative Study on the Efficiency of Simulation and Meta-Model-Based Monte Carlo Techniques for Accurate Reliability Analysis of Corroded Pipelines. *Sustainability* (Switzerland), 14(10). <https://doi.org/10.3390/su14105830>

6. Lučin, I., Lučin, B., Čarija, Z., & Sikirica, A. (2021). Data-driven leak localization in urban water distribution networks using big data for random forest classifiers. *Mathematics*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/math9060672>
7. Nguyen, K. A., Stewart, R. A., Zhang, H., Sahin, O., & Siriwardene, N. (2018). Re-engineering traditional urban water management practices with smart metering and informatics Software availability Restricted Software size 44 MB Software requirements MATLAB Compiler Runtime (MCR) Hardware requirements 2.4 GHz processor and 2 GB RAM Data collection locations Melbourne and Southeast Queensland-Australia Size 500 residential households. *Environmental Modelling and Software*, 101, 256–267. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.03>
8. Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D. A., & Koppell, T. (2010). A review of methods for leakage management in pipe networks. *Urban Water Journal*, 7(1), 25–45. <https://doi.org/10.1080/15730621003610878>
9. Wu, H., Jiang, Z., Zhang, X., & Cheng, J. (2025). Research on a Novel Unsupervised-Learning-Based Pipeline Leak Detection Method Based on Temporal Kolmogorov–Arnold Network with Autoencoder Integration. *Sensors*, 25(2). <https://doi.org/10.3390/s25020384>
10. Liemberger, R., & Wyatt, A. (2019). Quantifying the global non-revenue water problem. *Water Science and Technology: Water Supply*, 19(3), 831–837. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.129>
11. Alonso, J. C., & Montenegro, S. (2015). A Monte Carlo Study to compare 8 normality tests for least-squares residuals following a first order autoregressive process. *Estudios Gerenciales*, 31(136), 253–265. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2014.12.003>
12. Goharian, E., Zahmatkesh, Z., & Sandoval-Solis, S. (2018). Uncertainty Propagation of Hydrologic Modeling in Water Supply System Performance: Application of Markov Chain Monte Carlo Method. *Journal of Hydrologic Engineering*, 23(5). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0001646](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0001646)

13. Metropolis, N., & Ulam, S. (1949). The monte Carlo method. In *Journal of the American Statistical Association* (Vol. 44).
14. Proença, M., Paschoalini, A. T., & Obata, D. H. S. (2023). Prediction of the probabilistic water leak location in underground pipelines using Monte Carlo simulation. *Water Practice and Technology*, 18(3), 522–535. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.026>
15. Rubinstein, R. Y., & Kroese, D. P. (2008). *Simulation and the Monte Carlo method* Second Edition.
16. Torres, L., & Verde, C. (2024). Localization estimation of two leaks in pipelines through Monte Carlo simulations and hydraulic-spatial constraints. *Applied Mathematical Modelling*, 133, 460–473. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2024.05.036>
17. Cheng, J., Jiang, Z., Wu, H., & Zhang, X. (2025). Water Pipeline Leak Detection Method Based on Transfer Learning. *Water (Switzerland)*, 17(3). <https://doi.org/10.3390/w17030368>
18. Kandil, A., Khanafer, M., Darwiche, A., Kassem, R., Matook, F., Younis, A., Badran, H., Bin-Jassem, M., Ahmed, O., Behiry, A., & El-Abd, M. (2024). A Machine-Learning-Based and IoT-Enabled Robot Swarm System for Pipeline Crack Detection. *Internet of Things*, 5(4), 951–969. <https://doi.org/10.3390/iot5040043>
19. Romero, B., & Jeisson, H. (2024). Sistema IoT para monitoreo en tiempo real del consumo de agua. IoT system for real-time water monitoring.
20. Yang, L., Yang, S. H., Magiera, E., Froelich, W., Jach, T., & Laspidou, C. (2017). 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>
21. Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI]. (2023). *Reporte Anual de Vivienda 2023*. Gobierno de México.

DATOS DE LOS AUTORES.

1. **Cornelio Morales Morales.** Doctor en Ciencias en Ingeniería Electrónica. Profesor investigador del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Juan del Río. México. Correo electrónico: cornelio.mm@sjuanrio.tecnm.mx
2. **Julieta Ponce Vela.** Estudiante de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico San Juan del Río. México. Correo electrónico: m23590616@sjuanrio.tecnm.mx
3. **Armida González Lorence.** Doctora en Ciencias de la Computación. Profesora investigadora del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Juan del Río. México. Correo electrónico: armida.gl@sjuanrio.tecnm.mx
4. **Mirna Castro Bello.** Doctora en Ciencias Ambientales. Profesora-investigadora del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chilpancingo. Autor de correspondencia. México. Correo electrónico: mirna.cb@chilpancingo.tecnm.mx
5. **Josefa Morales Morales.** Doctora en Ciencias Aplicadas. Profesora-investigadora del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chilpancingo. Autor de correspondencia. México. Correo electrónico: crearjoss@gmail.com

RECIBIDO: 20 de octubre del 2025.**APROBADO:** 16 de noviembre del 2025.