

Sistema IoT para el Monitoreo en Tiempo Real y Estimación Inteligente del Consumo Doméstico de Agua en Condiciones de Suministro Intermitente.

IoT System for Real-Time Monitoring and Intelligent Estimation of Domestic Water Consumption under Intermittent Supply Conditions.

Jurado-Bichir, L. E.¹✉; González-González, D. S.²; Varela-Castro, W. H.³; Castillo-Ruelas, A. J.⁴; López-Flores, R.⁵

Datos de Adscripción:

¹ Jurado Bichir, Lorena Elizabeth
Universidad Autónoma de Coahuila. Centro de Estudios e Investigaciones Interdisciplinarias, Centro Cultural 2° piso. Ciudad Universitaria. Carr. México km. 13. C.P. 25350. Escuela de Sistemas, Blvd. Torreón-Matamoros Km 7.5. C.P. 27268. Torreón, Coahuila, México.
ROR ID: <https://ror.org/00dphn189>
ljuradobichir@uadec.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0122-6853>

² González González, David Salvador
Universidad Autónoma de Coahuila. Facultad de Sistemas, Ciudad Universitaria, 25350 Arteaga, Coahuila, México.
ROR ID: <https://ror.org/00dphn189>
david.gonzalez@uadec.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8135-4403>

³ Varela Castro, Werner Horacio
Universidad Autónoma de Coahuila. Escuela de Sistemas, Blvd. Torreón-Matamoros Km 7.5. C.P. 27268. Torreón, Coahuila, México.
ROR ID: <https://ror.org/00dphn189>
werner.varela@uadec.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3925-3251>

⁴ Castillo Ruelas, Alicia Josefina
Universidad Autónoma de Coahuila. Escuela de Sistemas, Blvd. Torreón-Matamoros Km 7.5. C.P. 27268. Torreón, Coahuila, México.
ROR ID: <https://ror.org/00dphn189>
a.castillo.ruelas@uadec.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2369-137X>

⁵ López Flores, Raymundo
Universidad Autónoma de Coahuila. Escuela de Sistemas, Blvd. Torreón-Matamoros Km 7.5. C.P. 27268. Torreón, Coahuila, México.
ROR ID: <https://ror.org/00dphn189>
lopezraymundo@uadec.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8083-4701>

Resumen - La escasez de agua y el suministro intermitente representan problemas críticos en entornos domésticos, donde los hogares dependen de sistemas de almacenamiento sin monitoreo en tiempo real, lo que limita la gestión eficiente del recurso. El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo y validación de un sistema IoT con telemetría para el monitoreo en tiempo real del almacenamiento doméstico de agua y la estimación del consumo. El sistema integra un sensor ultrasónico JSN-SR04T, un microcontrolador NodeMCU V3 (ESP8266) con conectividad Wi-Fi y la plataforma Blynk para visualización remota y almacenamiento de datos. El estudio siguió un enfoque cuantitativo y experimental e incluyó el diseño del sistema, la selección de componentes, la programación, la validación en un entorno controlado y la implementación en un domicilio de la Comarca Lagunera durante siete meses bajo condiciones reales de suministro intermitente. A partir de las mediciones continuas del nivel, se estimó el volumen disponible y, mediante el análisis de series temporales, se

evaluó el comportamiento del consumo. Los resultados muestran que el sistema registró aproximadamente 300,000 mediciones y estimó un consumo promedio entre 567 y 1,145 L/día, con picos matutinos y nocturnos. Se identificó un horario habitual de llenado entre las 07:00 y 09:00 horas, lo que permitió inferir la intermitencia del suministro, así como eventos atípicos asociados a posibles fugas cuya magnitud osciló entre el 8.9% y el 12.5% del consumo mensual. La propuesta representa una opción viable para mejorar la gestión doméstica del recurso hídrico.

Palabras Clave: Consumo Doméstico de Agua, IoT, Monitoreo de Agua, Suministro Intermitente, Telemetría.

Abstract - Water scarcity and intermittent supply represent critical challenges in domestic environments, where households depend on storage systems without real-time monitoring, limiting efficient water management and awareness of availability and consumption. This work aims to develop and validate an IoT system with telemetry for real-time monitoring of domestic water storage and consumption estimation. The system integrates a JSN-SR04T ultrasonic sensor, a NodeMCU V3 (ESP8266) microcontroller with Wi-Fi connectivity, and the Blynk platform for remote data visualization and storage. The study followed a quantitative and experimental approach and included system design, component selection, programming, validation under controlled conditions, and implementation in a household located in the Comarca Lagunera region during a seven-month period under real intermittent supply conditions. Continuous level measurements were used to estimate the available volume and, through time-series analysis, to evaluate consumption behavior. The results show that the system recorded approximately 300,000 measurements and estimated an average household consumption between 567 and 1,145 L/day, with morning and evening usage peaks. A recurrent filling schedule was identified between 07:00 and 09:00 hours, enabling indirect inference of supply intermittency, as well as atypical events associated with potential leaks ranging between 8.9% and 12.5% of monthly consumption. The proposed system represents a viable option for improving domestic water resource management.

Keywords: Domestic Water Consumption, Intermittent Water Supply, IoT, Telemetry, Water Monitoring.

I. INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso esencial para las actividades humanas y su acceso ha sido reconocido como un derecho fundamental que debe garantizarse en condiciones adecuadas de disponibilidad y calidad (Mo *et al.*, 2015; Restrepo & Aguilar, 2019). Sin embargo, en las últimas décadas la capacidad de abastecimiento de este recurso ha disminuido en distintas regiones del mundo y se prevé que los periodos de sequía se vuelvan más frecuentes en las próximas décadas.

México ya sufre de escenarios con desafíos por la falta del recurso; el servicio de agua potable enfrenta una crisis caracterizada por cortes frecuentes y baja presión, de manera que contar con conexión a la red pública no asegura el acceso continuo al recurso (COPARMEX, 2024; López, 2023). En este contexto, el suministro intermitente se presenta como una práctica frecuente en numerosas regiones del país. Figueroa-Oropeza *et al.* (2023) reportan que el 81% de las viviendas mexicanas almacenan agua proveniente de la red pública, de las cuales el 65% emplea tinacos o cisternas. A pesar de su uso generalizado, estos medios de almacenamiento de agua no cuentan con herramientas que permitan supervisar en tiempo real los niveles disponibles o los patrones de consumo, lo que favorece el desperdicio, dificulta la detección de fugas y genera desabasto dentro del propio hogar (Villanueva, 2021).

Esta situación es crítica en el norte de México, específicamente en Coahuila, por tratarse de una región de clima semiárido y por su fuerte dependencia del agua subterránea (CONAGUA, 2021). En la Comarca Lagunera, región conformada por municipios de Coahuila y Durango, la combinación de escasez hídrica, sobreexplotación del acuífero y la distribución del agua mediante esquemas de tandeo obliga a los hogares a depender del almacenamiento doméstico de agua para cubrir sus necesidades diarias. Sin embargo, bajo esta operación de almacenamiento, el usuario desconoce con qué cantidad de agua cuenta o en qué momento llegará el siguiente abastecimiento. Estas preguntas no tienen respuesta inmediata sin algún tipo de herramienta que permita observar de manera continua y en tiempo real el comportamiento del almacenamiento de agua.

En este sentido, el Internet de las Cosas (IoT) ofrece soluciones al alcance de los hogares. Se trata de una tecnología que permite la interconexión de objetos físicos capaces de captar, procesar y transmitir información mediante redes de comunicación, integrando el entorno físico con el entorno digital y facilitando el monitoreo de procesos, la ejecución automatizada de tareas y la toma de decisiones basada en datos medidos en tiempo real (Anaya *et al.*, 2022; Monet, 2019).

En el entorno doméstico, el IoT se realiza a través de dispositivos como sensores, microcontroladores y plataformas en la nube que se comunican mediante tecnologías inalámbricas (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth o GSM), y que muestran la información al usuario en tiempo real mediante aplicaciones móviles o portales web. Esta medición continua y acceso remoto convierte al IoT en una alternativa para la gestión del recurso hídrico en hogares con almacenamiento doméstico, al permitir conocer en todo momento el volumen disponible, identificar patrones de uso y reaccionar de forma oportuna ante eventos atípicos (Salam, 2024).

Frente a este escenario, el IoT representa una alternativa tecnológica para mejorar la gestión del recurso hídrico en el

ámbito residencial, al permitir la interconexión de sensores y dispositivos para la captura, transmisión y análisis continuo de información (Qiu *et al.*, 2017; Salam, 2024). Trabajos previos han propuesto sistemas IoT orientados al monitoreo del agua con distintos enfoques: sistemas basados en sensores de flujo conectados a microcontroladores y servidores dedicados (Yang *et al.*, 2015), arquitecturas que integran plataformas en la nube para el almacenamiento y visualización de datos (Jisha *et al.*, 2019; Rajurkar *et al.*, 2017), propuestas que incorporan variables de calidad del agua (Raghava Rao *et al.*, 2018) y sistemas que combinan monitoreo de consumo, con interfaces móviles para la retroalimentación al usuario (Alcalá-Rodríguez *et al.*, 2022; Rosero *et al.*, 2021). Una proporción considerable de los sistemas reportados se ha validado únicamente en entornos experimentales, con una implementación limitada en domicilios reales bajo condiciones de suministro intermitente. Asimismo, predominan las soluciones basadas en medición directa de flujo, lo que incrementa la complejidad de la instalación. Además, son pocos los trabajos que integran, en un mismo sistema, la estimación del consumo, la detección de anomalías asociadas a fugas y el análisis de los horarios de abastecimiento propios de la intermitencia.

El presente trabajo aborda estos vacíos mediante el diseño, implementación y validación de un sistema IoT de bajo costo que, utilizando como variable principal el nivel de agua en el tanque de almacenamiento, permite estimar indirectamente el consumo doméstico, identificar patrones de uso y detectar posibles fugas mediante el análisis de series temporales. El sistema fue instalado en un domicilio particular de la Comarca Lagunera y operó de forma continua durante siete meses, generando información cuantitativa sobre el comportamiento del almacenamiento y consumo bajo condiciones reales de suministro intermitente.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Enfoque metodológico

El estudio se abordó con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental aplicado, orientado al desarrollo y la validación de una solución tecnológica basada en IoT para el monitoreo doméstico del agua. El proceso se organizó en cuatro etapas: análisis y selección de componentes; diseño de la interfaz de monitoreo; integración y pruebas en un entorno controlado; e implementación en condiciones reales en un domicilio particular urbano. El nivel de la investigación es descriptivo y evaluativo, ya que se describe el funcionamiento del sistema y se evalúa su desempeño técnico en términos de adquisición, transmisión, visualización y análisis de datos.

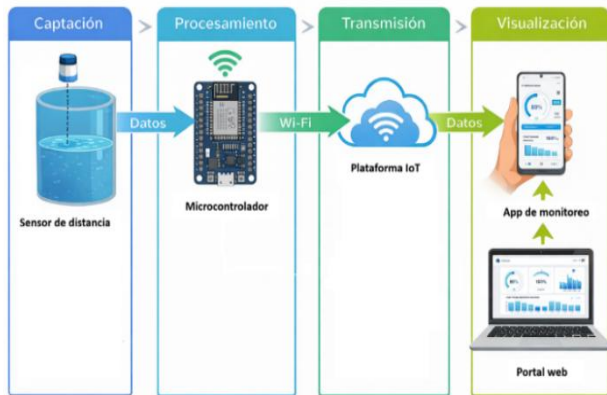
2.2 Arquitectura del sistema propuesto

El sistema se estructura en cuatro etapas que se muestran en la Figura 1: captación, procesamiento, transmisión y visualización. La etapa de captación utiliza un sensor ultrasónico colocado dentro del tanque de almacenamiento, en la parte superior, que mide la distancia entre el dispositivo y el espejo de agua. La información es procesada por un microcontrolador con conectividad Wi-Fi integrada, que prepara los datos y los envía por telemetría a una plataforma IoT en la nube, donde se

almacenan y quedan disponibles para su visualización por el usuario mediante una aplicación móvil o un portal web.

Figura 1

Arquitectura del sistema IoT propuesto. Fuente: Elaboración propia.



2.3 Selección de componentes

La selección del *hardware* y la plataforma de visualización se realizó mediante un análisis comparativo que consideró criterios técnicos, operativos y económicos, con el propósito de mantener el sistema de bajo costo, de fácil instalación y replicable en entornos domésticos.

a) Sensor ultrasónico. Se evaluaron cinco modelos comerciales (HC-SR04, DYP ME-007, JSN-SR04T, A02YYUW y U-GAGE S18U) considerando el rango de medición, la precisión, la resistencia a la humedad, la compatibilidad con microcontroladores y el costo de adquisición. El modelo JSN-SR04T ofreció la mejor relación entre estos criterios, al contar con un rango operativo de 20 a 600 cm, una precisión de ± 1 cm y una carcasa impermeable apta para ambientes húmedos (Makerguides, 2024).

b) Microcontrolador. Se compararon tres alternativas (NodeMCU V3, Mini NodeMCU D1 y ESP32-WROOM-32) en función de la capacidad de procesamiento, la memoria, la conectividad, el número de puertos GPIO y el costo. Si bien el ESP32 ofrece mayores prestaciones en velocidad de procesamiento y conectividad adicional, sus capacidades exceden los requerimientos del sistema propuesto. El NodeMCU V3, basado en el chip ESP8266, fue seleccionado por ofrecer conectividad Wi-Fi integrada, suficientes puertos de entrada/salida, compatibilidad con plataformas de desarrollo IoT y un costo accesible (Ceja *et al.*, 2017).

c) Plataforma IoT. Se analizaron cuatro opciones (HiveMQ Cloud, Blynk, Ubidots y Adafruit IO) considerando el modelo de licenciamiento, las capacidades de visualización, el almacenamiento de series temporales y la facilidad de integración con microcontroladores. La plataforma Blynk, en su versión gratuita, fue elegida por ofrecer un ecosistema de *widgets* configurables, una interfaz móvil intuitiva y compatibilidad directa con el ESP8266, lo que permite un despliegue rápido del prototipo y facilita la adopción por parte de usuarios no técnicos (Blynk Inc., 2025; Dwiansyah & Prasetya, 2022). La Tabla 1 resume los componentes seleccionados y sus principales características operativas.

Tabla 1

Componentes seleccionados para la integración del sistema IoT.

Componente	Modelo seleccionado	Característica principal
Sensor de nivel	JSN-SR04T	Rango 20-600 cm, precisión ± 1 cm, impermeable
Microcontrolador	NodeMCU V3 (ESP8266)	Wi-Fi integrado, 4 MB flash, 11 GPIO
Plataforma IoT	Blynk	Dashboard móvil, almacenamiento histórico
Conectividad	Wi-Fi 802.11 b/g/n	Transmisión en tiempo real

2.4 Modelo de estimación de volumen y consumo

Dado que el sistema no incorpora una medición directa del flujo, el volumen disponible y el consumo doméstico se estiman de forma indirecta a partir del nivel de agua registrado. La altura real del agua dentro del tanque se obtiene mediante (1), que ajusta la medición del sensor considerando la distancia mínima operativa del dispositivo:

$$D = H_{max} - (C - OFFSET) \quad (1)$$

donde D representa la altura real del agua (cm), H mayúscula subíndice max igual a 123 cm corresponde a la altura útil del tanque, C es la distancia medida por el sensor (cm) y OFFS, igual a 17 cm, es la distancia mínima operativa del sensor.

El volumen almacenado se calcula mediante una relación proporcional respecto al volumen máximo del tanque, que se muestra en (2):

$$V = \frac{D}{H_{max}} \cdot V_{max} \quad (2)$$

donde V es el volumen estimado (L) y $V_{max} = 1120$ L, que es la capacidad máxima de la cisterna.

El consumo instantáneo se determina a partir de la variación temporal del volumen entre dos mediciones consecutivas, como se muestra en (3):

$$C_t = V_{t-1} - V_t \quad (3)$$

Las disminuciones del volumen se interpretan como uso doméstico del agua, mientras que los incrementos corresponden a eventos de abastecimiento. Debido a la naturaleza discreta del consumo residencial, el análisis se realiza sobre consumos acumulados en intervalos horarios y diarios, lo que permite obtener una representación más robusta del uso real del recurso mediante técnicas de análisis de series temporales (Viñals, 2009).

2.5 Implementación y validación

La validación del sistema se realizó en dos fases. En la primera, se realizaron pruebas en un entorno controlado utilizando un recipiente como tanque simulado. Se compararon

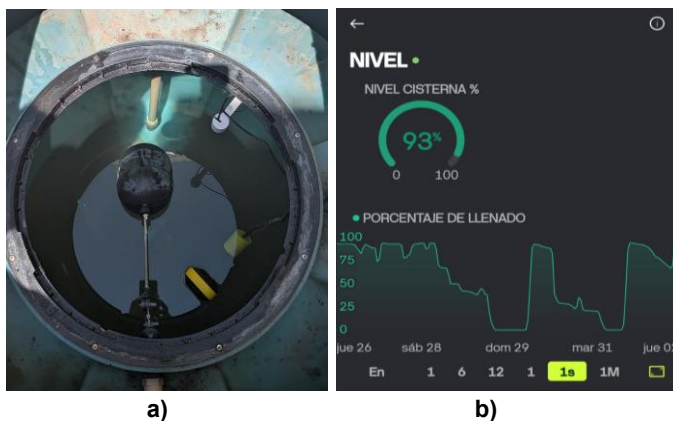
las mediciones del sensor con referencias obtenidas con cinta métrica, verificando la coherencia entre los valores registrados y las especificaciones del fabricante, así como la estabilidad de la transmisión de datos a la plataforma. Durante esta fase se confirmó que el sensor opera de manera confiable por encima de su distancia mínima operativa y mantiene un desempeño adecuado en condiciones de humedad.

En la segunda fase, el sistema se instaló en un domicilio urbano particular de la Comarca Lagunera, bajo condiciones reales de suministro intermitente. El sensor se fijó en la parte superior interna de la cisterna, orientado hacia el espejo de agua, y el microcontrolador se integró en una caja de protección para resguardarlo de los factores ambientales. Se configuró la conectividad Wi-Fi del domicilio y se estableció una transmisión continua de datos a la plataforma Blynk, donde los registros quedan disponibles para su consulta remota. El sistema operó de manera continua durante siete meses, el periodo fue de septiembre de 2025 a marzo de 2026, lo que permitió recolectar un conjunto de datos representativo para el análisis del comportamiento del almacenamiento y consumo.

La plataforma Blynk se configuró con una interfaz móvil que integra dos componentes principales: un indicador tipo medidor que muestra en tiempo real el porcentaje de llenado actual de la cisterna y una gráfica de registro histórico que muestra cómo ha evolucionado el nivel en distintos intervalos de tiempo. En la Figura 2 se muestran tanto la instalación física del sensor en la cisterna (a) como la lectura de datos en tiempo real mediante la aplicación móvil (b), donde se muestra el nivel actual al 93 % y la serie temporal del porcentaje de llenado de los días previos. La interfaz de visualización del nivel del tanque de almacenamiento permite a cualquier usuario interpretar el estado del sistema. La gráfica permite distinguir a simple vista cuándo llega el agua, cuánta se consume y si hay alguna irregularidad en el servicio.

Figura 2

a) Instalación del sensor ultrasónico en la cisterna del domicilio. b) Interfaz móvil desarrollada en la plataforma Blynk, con indicador de nivel actual y gráfica histórica del porcentaje de llenado. Fuente: Elaboración propia.



2.6 Programación del microcontrolador

La programación del microcontrolador NodeMCU V3 se realizó en el entorno Arduino IDE utilizando el lenguaje C/C++. El código recopila las mediciones del sensor ultrasónico, el cálculo del

nivel, el porcentaje de llenado y volumen estimado de la cisterna, además de enviar los datos hacia la plataforma Blynk en la nube mediante Wi-Fi. El programa integra dos librerías principales: BlynkSimpleEsp8266.h, que gestiona la comunicación con la plataforma IoT y el envío de datos mediante variables virtuales, y HCSR04.h, que proporciona las funciones de lectura del sensor ultrasónico. La Figura 3 muestra un fragmento del código desarrollado, en el que se incluyen las líneas encargadas de la adquisición y transmisión de los datos.

Figura 3

Fragmento principal del código de programación del microcontrolador NodeMCU V3 implementado en Arduino IDE. Fuente: Elaboración propia.

```
1) #include <ESP8266WiFi.h>
2) #include <BlynkSimpleEsp8266.h>
3) #include <HCSR04.h>
4) UltrasonicDistanceSensor distanceSensor(D6, D5);
5) const int H_MAX = 123; //Altura útil del tanque (cm)
6) const int OFFSET = 17; //Distancia mínima del sensor (cm)
7) const int V_MAX = 1120; //Capacidad máxima del tanque (L)
8) BlynkTimer timer;
9) void Escalamiento() {
10)   int C = distanceSensor.measureDistanceCm();
11)   int D = H_MAX - (C - OFFSET);
12)   if (D < 0) D = 0;
13)   if (D > H_MAX) D = H_MAX;
14)   int Porcentaje = (D * 100) / H_MAX;
15)   int Volumen = (D * V_MAX) / H_MAX;
16)   Blynk.virtualWrite(V0, C);
17)   Blynk.virtualWrite(V1, Porcentaje);
18)   Blynk.virtualWrite(V2, Volumen);
19) }
20) void setup() {
21)   Serial.begin(9600);
22)   Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);
23)   timer.setInterval(1000L, Escalamiento);
24) }
25) void loop() {
26)   Blynk.run();
27)   timer.run();
28) }
```

El funcionamiento del programa se estructura en tres componentes. El primer componente corresponde a la instancia del sensor, configurada mediante los pines digitales D6 y D5 del NodeMCU como señal de disparo (*trigger*) y de recepción (*echo*), respectivamente, que permiten medir el tiempo de vuelo del pulso ultrasónico y calcular la distancia al espejo de agua. Además, se definen los parámetros físicos del tanque como constantes, la altura útil del tanque (H_MAX), la distancia mínima operativa del sensor ($OFFSET$) y la capacidad máxima (V_MAX), correspondientes a los valores 123 cm, 17 cm y 1120 L empleados en (1) y (2) presentados en la sección 2.4.

Como segundo componente, la función `Escalamiento()` contiene la lógica de operación del modelo matemático descrito previamente. A partir de la distancia registrada por el sensor (C), se calcula la altura real del agua mediante $D = H_MAX - (C - OFFSET)$, equivalente a (1). Después, el código establece límites para evitar que el sistema considere válidas mediciones incorrectas del sensor, por ejemplo, lecturas ocasionadas por reflejos o errores momentáneos. Una vez filtrados esos valores, calcula el porcentaje de llenado de la cisterna y el volumen aproximado de agua almacenada mediante una relación proporcional a la altura del tanque.

Los tres valores resultantes (distancia medida, porcentaje de

llenado y volumen estimado) se transmiten a la plataforma Blynk mediante las funciones Blynk.virtualWrite() en los pines virtuales V0, V1 y V2, respectivamente.

Por último, la función `setup()` inicializa la comunicación con la plataforma Blynk utilizando las credenciales del dispositivo y de la red Wi-Fi del domicilio, y configura un temporizador mediante la instrucción `timer.setInterval(1000L, Escalamiento)`, que ejecuta la función de escalamiento cada 1000 milisegundos. Aunque el microcontrolador lee el sensor cada segundo, la serie exportada a la plataforma corresponde a registros almacenados a intervalos aproximados de un minuto, lo cual resulta suficiente para el análisis de patrones de consumo y abastecimiento. En cuanto al `software`, el `loop()` es el encargado de mantener la conexión con el servidor y de asegurar que el temporizador se ejecute sin interrupciones.

Este enfoque de programación permite un despliegue ligero y eficiente del sistema al utilizar exclusivamente las capacidades integradas del ESP8266, sin requerir procesamiento local avanzado. Todo el procesamiento analítico de los datos (estimación de consumo, detección de anomalías y análisis horario) se realiza posteriormente sobre la serie temporal almacenada en la plataforma, lo que permite mantener el código del microcontrolador sencillo.

2.7 Validación y análisis de precisión del sistema

La confiabilidad del sistema se evaluó considerando la precisión del sensor, la continuidad del muestreo y la consistencia de los datos registrados.

Durante la fase de validación en un entorno controlado, las mediciones obtenidas con el sensor JSN-SR04T se compararon con mediciones de referencia realizadas con una cinta métrica. Esta comparación permitió comprobar que el sensor mantiene una precisión acorde con la especificada por el fabricante (± 1 cm) dentro del rango de operación de la cisterna. Debido a las dimensiones del tanque, este margen de error equivale aproximadamente a una incertidumbre de ± 9 L por medición. Sin embargo, al trabajar con promedios calculados en intervalos horarios y diarios, el efecto de esta incertidumbre disminuye considerablemente.

En cuanto a la continuidad del muestreo, el sistema se configuró para transmitir un registro por minuto a la plataforma Blynk. Durante los 212 días de operación se esperaban 305,280 mediciones, de las cuales se registraron 297,655, lo que equivale a una disponibilidad del 97.5%. La disponibilidad mensual varió entre el 93.6 % y el 100%, sin presentarse periodos continuos de más de 24 horas sin registros. Las pérdidas de información observadas se asociaron principalmente a interrupciones ocasionales en la conexión Wi-Fi del domicilio donde estaba instalado el sistema.

Como parte del proceso de validación, se incorporaron dos filtros en el microcontrolador para garantizar la consistencia de las mediciones. El primero descartó las lecturas fuera del rango operativo de la cisterna, mientras que el segundo eliminó cambios bruscos causados por lecturas anómalas del sensor. Estos filtros, junto con la operación continua durante siete meses, sustentan la validez del conjunto de datos utilizado para los análisis posteriores de consumo, la detección de anomalías y los patrones de abastecimiento.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Recolección y comportamiento general de los datos

Durante los siete meses de monitoreo (septiembre de 2025 a marzo de 2026), el sistema registró aproximadamente 300,000 mediciones del nivel de agua en la cisterna, operando de manera continua y con transmisión estable hacia la plataforma Blynk. La Tabla 2 presenta el resumen mensual del número de registros y las estadísticas descriptivas del nivel de agua.

Tabla 2

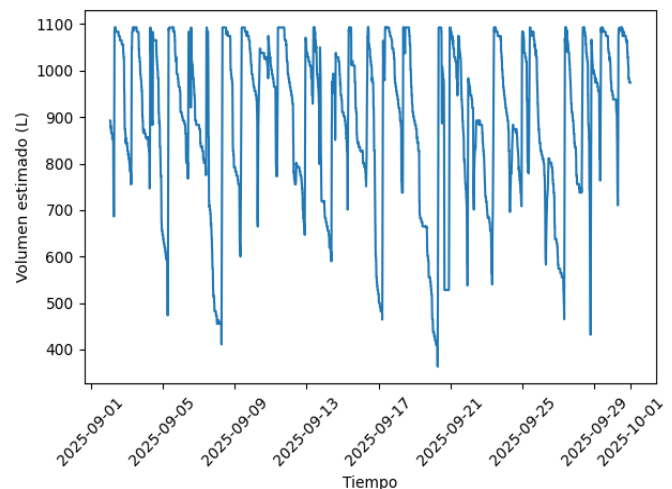
Resumen mensual de los datos recolectados por el sistema IoT.

Mes	Registros	Nivel mínimo (cm)	Nivel máximo (cm)	Nivel promedio (cm)
Septiembre 2025	41,553	19.98	100.58	41.58
Octubre 2025	44,500	19.98	96.93	45.93
Noviembre 2025	43,191	19.98	94.75	38.97
Diciembre 2025	42,468	20.00	93.38	39.72
Enero 2026	43,794	19.98	103.70	33.41
Febrero 2026	40,316	19.98	96.03	33.09
Marzo 2026	41,833	19.98	121.52	43.32

El comportamiento temporal del nivel muestra un patrón cíclico característico de los sistemas de suministro intermitente, el tanque se llena en ventanas específicas del día y desciende de manera progresiva debido al consumo doméstico. La Figura 4 muestra el comportamiento del mes de septiembre, en el que se aprecian los incrementos asociados al abastecimiento y los descensos graduales por consumo. La consistencia de estas oscilaciones a lo largo de los siete meses confirma que el sistema captura de manera efectiva la dinámica de almacenamiento en condiciones reales de operación.

Figura 4

Comportamiento temporal del nivel de agua en la cisterna durante septiembre de 2025. Fuente: Elaboración propia.



3.2 Estimación del consumo doméstico y patrones horarios

A partir de la conversión del nivel a volumen mediante (1) y (2), y del cálculo de las variaciones temporales mediante (3), se estimaron el consumo diario y su distribución horaria. La Tabla 3 presenta el consumo promedio diario mensual durante el periodo de mediciones en el domicilio particular.

Tabla 3

Consumo doméstico promedio estimado por mes.

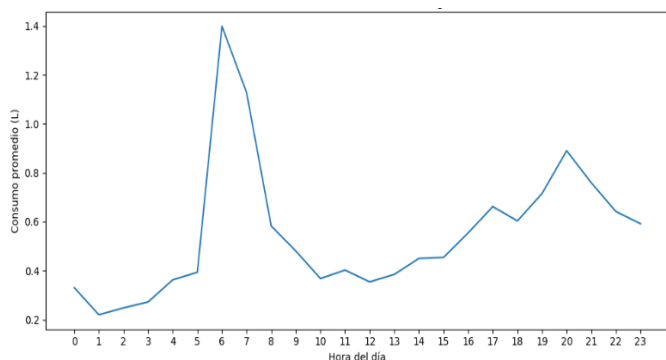
Mes	Consumo promedio (L/día)
Septiembre 2025	715.72
Octubre 2025	654.39
Noviembre 2025	567.27
Diciembre 2025	620.56
Enero 2026	606.31
Febrero 2026	1,144.88
Marzo 2026	1,131.06

Durante los primeros cinco meses el consumo se mantuvo en un rango estable entre 567 y 716 L/día, mientras que en febrero y marzo se registró un incremento importante, superando los 1.100 L/día. Esta tendencia coincide con el incremento de las temperaturas y con el cambio en las dinámicas del hogar propios de la primavera en la Comarca Lagunera. En esta región semiárida, el inicio de la estación cálida altera los hábitos de consumo, lo cual se refleja directamente en los datos analizados. Cabe señalar que durante los meses de septiembre y marzo, el domicilio utilizó un sistema de aire lavado que implica consumos continuos de agua, lo cual se tuvo en cuenta para evitar sesgos en los análisis posteriores.

El análisis del consumo promedio por hora del día permitió identificar un comportamiento no uniforme, con dos picos bien definidos, uno matutino alrededor de las 06:00 horas y otro nocturno entre las 19:00 y 21:00 horas. En contraste, los valores más bajos se registraron entre la 01:00 y las 04:00 horas, el cual es un periodo que corresponde a la inactividad del hogar. Este patrón coincide con las rutinas domésticas asociadas al aseo personal, a la preparación de alimentos y a las tareas de limpieza (Figura 5).

Figura 5

Patrón horario del consumo promedio de agua durante el periodo de estudio. Fuente: Elaboración propia.



3.3 Detección de anomalías asociadas a posibles fugas

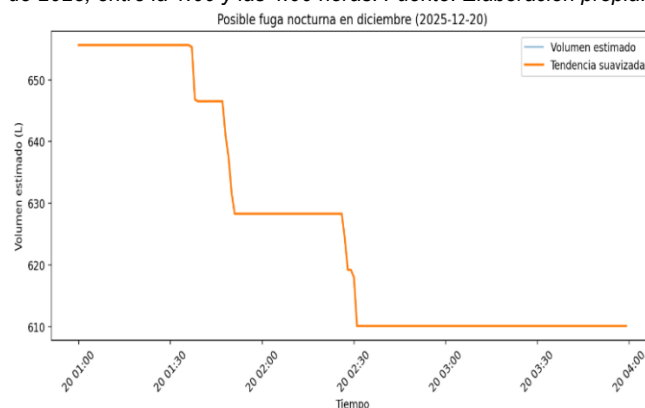
Con base en la caracterización del consumo mencionada en la sección 3.2, se definió un criterio operativo para detectar irregularidades en el almacenamiento. El análisis de los hábitos horarios mostró que entre la 01:00 y las 04:00 horas el consumo es prácticamente inexistente debido al descanso nocturno. De esta manera, se establece que cualquier caída sostenida del volumen durante este periodo debe considerarse una anomalía. En términos formales, un evento anómalo se caracteriza cuando la variación del volumen respecto al tiempo es negativa y se mantiene durante intervalos prolongados en horarios de baja actividad ($dV / dt < 0$).

Al aplicar este criterio, se detectaron varios episodios de pérdida gradual y sostenida de volumen durante la madrugada. Al no presentar una recuperación inmediata, estos descensos indican directamente posibles fugas en la red interna. Con el fin de evitar falsos positivos, se contrastaron estos registros con entrevistas a los usuarios sobre sus rutinas y el uso de electrodomésticos durante la noche. Esta verificación permitió confirmar que los eventos detectados no se debían a una demanda planificada por los habitantes. A partir de dicha entrevista se identificó que durante los meses de septiembre y marzo se emplea un sistema de aire lavado, que consume agua de forma continua, incluso durante la madrugada, mientras que en el resto de los meses medidos dicho sistema permanece fuera de operación.

Por este motivo, los meses de septiembre y marzo se excluyeron del análisis cuantitativo de posibles fugas, con el fin de evitar la sobreestimación de pérdidas derivadas de un consumo nocturno legítimo, y no atribuibles a anomalías en el sistema hidráulico. A modo de ejemplo, la Figura 6 muestra un evento anómalo representativo ocurrido el 20 de diciembre de 2025 entre la 01:00 y las 04:00 horas, en el que el volumen almacenado descendió de manera continua y sostenida en un intervalo en el que no se esperaba consumo. La línea suavizada permite identificar con claridad la tendencia descendente, eliminando las variaciones menores asociadas al ruido del sensor.

Figura 6

Posible fuga nocturna detectada en la cisterna durante el 20 de diciembre de 2025, entre la 1:00 y las 4:00 horas. Fuente: Elaboración propia.



Este comportamiento difiere del consumo doméstico habitual, que tiende a concentrarse en horarios específicos y a presentar patrones escalonados, lo cual respalda su interpretación como un indicador de fuga en el sistema hidráulico. La Tabla 4 presenta la estimación mensual de pérdidas por posibles fugas y su proporción respecto del consumo total, considerando únicamente los meses en los que el aire lavado no estuvo en uso.

Tabla 4

Posible fuga estimada por mes y proporción respecto al consumo total.

Mes	Consumo total (L)	Posible fuga (L)	Pérdida (%)
Octubre 2025	20,286	2,145	10.6
Noviembre 2025	17,018	1,796	10.6
Diciembre 2025	19,237	1,772	9.2
Enero 2026	18,795	2,352	12.5
Febrero 2026	32,056	2,852	8.9

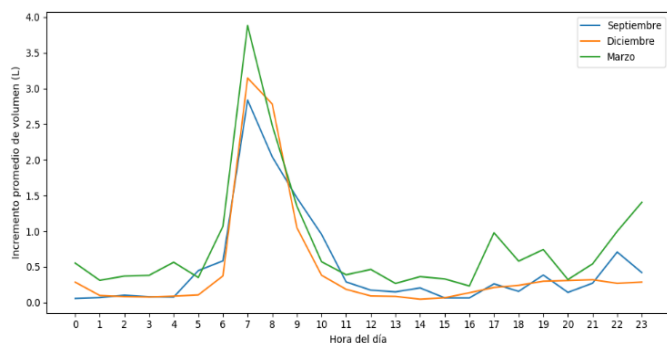
Las pérdidas estimadas representaron entre 8,9 % y 12,5 % del consumo total mensual, con valores absolutos que oscilaron entre 1.772 y 2.852 L. Estos valores son significativos y ponen de manifiesto la utilidad del sistema como herramienta de diagnóstico hídrico en el entorno doméstico, al permitir la identificación oportuna de pérdidas que, de otro modo, pasarían desapercibidas para el usuario.

3.4 Identificación de horarios de abastecimiento

El análisis de los incrementos positivos del volumen almacenado permitió inferir indirectamente las ventanas horarias de suministro de agua al domicilio. A diferencia del análisis de consumo, en el que las disminuciones del volumen se interpretan como uso del recurso, en este caso se consideraron los aumentos sostenidos del volumen como evidencia de eventos de abastecimiento provenientes de la red pública. La Figura 7 presenta la comparación del incremento promedio de volumen por hora del día en los meses de septiembre, diciembre y marzo, seleccionados como representativos de distintas condiciones estacionales del periodo de estudio.

Figura 7

Comparación del incremento promedio de volumen por hora del día para los meses de septiembre, diciembre y marzo. Fuente: Elaboración propia.



Los resultados muestran tres hallazgos principales. En primer lugar, el abastecimiento ocurre predominantemente entre las 06:00 y las 09:00 horas, con un pico claramente definido a las 07:00 horas en los tres meses analizados. Esta concentración revela la existencia de una ventana horaria recurrente de suministro asociada a la operación intermitente de la red pública. En segundo lugar, la intensidad del llenado varía estacionalmente, siendo mayor en marzo y más moderada en diciembre y septiembre, lo que sugiere una mayor disponibilidad del recurso o una mayor presión en el sistema al inicio de la

primavera. En tercer lugar, se identifican eventos secundarios de abastecimiento en horarios nocturnos (22:00-23:00 h) exclusivamente en marzo, lo que indica una flexibilidad adicional del suministro en periodos de mayor demanda.

Asimismo, entre las 00:00 y las 05:00 horas, el incremento promedio de volumen es prácticamente nulo durante los tres meses, lo que confirma que durante la madrugada no ocurren eventos de abastecimiento del sistema. Este hallazgo respalda metodológicamente el criterio empleado en la sección anterior para la detección de posibles fugas: en ausencia de llenado en dicha ventana, cualquier descenso sostenido del volumen constituye evidencia consistente de pérdida en el sistema hidráulico del domicilio.

En conjunto, estos resultados demuestran que el monitoreo basado en nivel permite caracterizar el patrón horario del suministro intermitente desde la perspectiva del usuario final, sin requerir acceso directo a la información del operador hídrico del sistema. Esta capacidad de inferencia abre la posibilidad de desplegar redes distribuidas de sensores residenciales para analizar, a escala comunitaria o municipal, el desempeño de las redes de distribución en regiones con suministro intermitente.

3.5 Discusión y comparación con el estado del arte

Los resultados obtenidos presentan coincidencias y aportaciones relevantes con respecto a los trabajos previamente reportados. Mientras que propuestas como las de Yang *et al.* (2015), Rajurkar *et al.* (2017) y Martínez Moreno *et al.* (2023) emplean sensores de flujo como principal medio para cuantificar el consumo, el presente trabajo demuestra que es posible obtener una estimación coherente del uso doméstico utilizando exclusivamente mediciones de nivel, lo que simplifica la instrumentación y reduce el costo de implementación. Este enfoque se alinea con trabajos que priorizan el monitoreo del almacenamiento (Jisha *et al.*, 2019; Raghava Rao *et al.*, 2018), pero incorpora capacidades de análisis adicionales que no están integradas en dichas propuestas.

En comparación con investigaciones validadas en entornos experimentales o bajo periodos cortos de prueba, la presente implementación se sostuvo durante siete meses en condiciones reales de uso, lo que permitió capturar variabilidad estacional, comportamientos anómalos y patrones de abastecimiento que difícilmente emergen en evaluaciones de corto plazo. Además, la integración de tres capacidades en un mismo sistema, como la estimación del consumo, la detección de posibles fugas y la inferencia de los horarios de abastecimiento, representa una aportación diferenciadora frente a las soluciones revisadas, que atienden estas funciones de manera aislada.

La detección de pérdidas en el rango del 8.9% al 12.5% del consumo mensual es consistente con la literatura sobre ineficiencia hídrica en redes domésticas y resalta la relevancia de las herramientas de monitoreo como instrumentos de apoyo a la gestión del recurso. Finalmente, la posibilidad de inferir los horarios de suministro a partir de datos domésticos sugiere una línea de aplicación poco explorada; el uso de redes de sensores en domicilios particulares puede funcionar como un sistema de retroalimentación para los organismos de agua. En contextos de escasez y tandeo, este enfoque ofrece una métrica de desempeño mucho más precisa que la de los modelos teóricos actuales.

En el contexto de los desarrollos recientes en sistemas IoT para el monitoreo doméstico del agua, el presente trabajo se alinea

con la tendencia identificada por Alshami *et al.* (2024) hacia soluciones de bajo costo con capacidad de procesamiento en la nube y de visualización remota, particularmente en escenarios de suministro intermitente. Un trabajo especialmente cercano en objetivos y contexto es el reportado por Torres-Gutiérrez *et al.* (2026) quienes también desarrollaron e implementaron un sistema inteligente de medición y monitoreo del agua para hogares con suministro intermitente en México, empleando un microcontrolador ESP-WROOM-32 y sensores ultrasónicos con computación en la nube y aplicación móvil. Ambas propuestas coinciden en el uso de mediciones indirectas de nivel para inferir el volumen almacenado y el consumo, así como en la necesidad de instrumentar dispositivos accesibles para los hogares afectados por la intermitencia del suministro. Sin embargo, existen diferencias metodológicas relevantes: mientras que el sistema de Torres-Gutiérrez *et al.* se basa en un esquema de eventos discretos activados por interruptores de flujo, con validación durante 115 días, la propuesta del presente estudio se apoya en un muestreo continuo cada minuto durante siete meses, lo que permite un análisis fino de patrones horarios y estacionales. Adicionalmente, la revisión sistemática de Rajan & Li (2025) sobre la detección automatizada de fugas destaca la relevancia de las técnicas basadas en series temporales para el análisis en tiempo real, un enfoque que coincide con el criterio empleado en este trabajo para la identificación de anomalías nocturnas y refuerza su pertinencia en la línea de investigación actual.

Es importante reconocer las limitaciones inherentes al estudio para contextualizar adecuadamente los hallazgos y orientar futuras investigaciones. La implementación se realizó en un único domicilio de la Comarca Lagunera, lo que limita la posibilidad de generalizar los patrones observados a otras viviendas con distintas características demográficas, arquitectónicas o hábitos de consumo. Los valores específicos de consumo diario, así como la magnitud de las pérdidas identificadas, deben interpretarse como propios del caso de estudio y no como parámetros representativos a nivel regional. Otra limitación se refiere a las anomalías clasificadas como posibles fugas, que no fueron contrastadas mediante una inspección física de la red hidráulica del domicilio, por lo que la interpretación se sustenta exclusivamente en el análisis de las series temporales del nivel almacenado. Un descenso nocturno sostenido constituye un indicador consistente con la presencia de una fuga, pero también podría corresponder a filtraciones controladas cuya identificación requeriría verificación en campo.

Asimismo, existen factores que pudieron influir en los resultados obtenidos y que deben considerarse al interpretar los datos. El sistema no registró variables externas como la ocupación efectiva del hogar, la presencia de visitantes o el uso puntual de actividades intensivas en agua (lavado de vehículos, riego, mantenimiento), factores que introducen variabilidad no controlada en las series analizadas. Estas limitaciones no invalidan los hallazgos, pero delimitan su alcance y perfilan las direcciones prioritarias para su extensión.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que un sistema IoT basado únicamente en mediciones de nivel permite caracterizar el comportamiento del almacenamiento doméstico de agua en condiciones de suministro intermitente. La integración de un

sensor ultrasónico JSN-SR04T, un microcontrolador NodeMCU V3 con conectividad Wi-Fi y la plataforma Blynk permitió implementar una solución funcional, replicable y económicamente accesible para entornos residenciales.

La operación continua del sistema durante siete meses en un domicilio de la Comarca Lagunera permitió obtener un conjunto de datos representativo bajo condiciones reales de suministro intermitente. A partir del análisis de series temporales, fue posible estimar el consumo doméstico entre 567 y 1,145 L/día según el mes, identificar patrones horarios de uso con picos en la mañana y en la noche, y detectar eventos anómalos asociados a posibles fugas, cuya magnitud osciló entre el 8.9% y el 12.5% del consumo mensual. Asimismo, el análisis de los incrementos del volumen permitió inferir indirectamente las ventanas de abastecimiento del sistema operador hídrico, concentradas principalmente entre las 07:00 y 09:00 horas.

La principal aportación del trabajo radica en demostrar que la combinación de un sensor de nivel y un análisis adecuado de series temporales permite generar información útil sobre el uso del agua en el hogar, sin necesidad de instrumentación adicional. Considerando las limitaciones metodológicas señaladas en la sección de discusión, las líneas futuras contemplan la incorporación de técnicas de aprendizaje automático para la detección automatizada de anomalías y la predicción del consumo, así como el despliegue distribuido del sistema en múltiples viviendas, con el fin de analizar, a nivel comunitario, el comportamiento de la intermitencia del suministro.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Coahuila, a la Escuela de Sistemas Unidad Laguna y al Centro de Estudios e Investigaciones Interdisciplinarios por las facilidades otorgadas para el desarrollo de esta investigación. Se agradece también al domicilio participante por brindar el acceso y la colaboración necesarios para la instalación y operación del sistema durante el periodo de estudio.

VI. REFERENCIAS

- Alcalá-Rodríguez, J., Barbosa-García, J. C., Contreras-Guzmán, M. J., Gudiño-Lau, J., Charre-Ibarra, S. M., & Vélez-Díaz, D. (2022). Sistema de monitoreo doméstico para consumo de agua. *XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan*, 10(19), 17–23. <https://doi.org/10.29057/esti.v10i19.7863>
- Alshami, A., Ali, E., Elsayed, M., Eltoukhy, A. E. E., & Zayed, T. (2024). IoT Innovations in Sustainable Water and Wastewater Management and Water Quality Monitoring: A Comprehensive Review of Advancements, Implications, and Future Directions. *IEEE Access*, 12, 58427–58453. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3392573>
- Anaya, Y. T. M. C. M., Galván Rodríguez, D. G., & Orrante Sakanassi, J. A. (2022). El impacto del internet de todas las cosas (IoT) en la vida cotidiana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 1369–1378. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.1959
- Blynk Inc. (2025). Blynk documentation. <https://docs.blynk.io/en/blynk.apps/widgets-app>

- Ceja, J., Rentería, R., Ruelas, R., & Ochoa, G. (2017). Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas. *Revista de Ingeniería Eléctrica*, 1(2), 24–36.
- Comisión Nacional del Agua. (2021). Estadísticas del agua en México 2021. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2021.pdf
- Confederación Patronal de la República Mexicana. (2024, 15 de marzo). México en crisis por falta de agua. <https://coparmex.org.mx/mexico-en-crisis-por-falta-de-agua/>
- Dwiansyah, R., & Prasetya, D. (2022). Smart home system with radio frequency using Blynk application. Emitter: *Jurnal Teknik Elektro*, 22(2), 177–184. <https://doi.org/10.23917/emitor.v22i2.17359>
- 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 Pública de México*, 65, s181–s188. <https://doi.org/10.21149/14783>
- Jisha, R. C., Vignesh, G., & Deekshit, D. (2019). IoT based water level monitoring and implementation on both agriculture and domestic areas. En 2019 2nd International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT) (pp. 799–803). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICICT46008.2019.8993272>
- López, S. (2023, 22 de marzo). Escasez de agua y sequía en México: Crisis actual. Instituto Mexicano para la Competitividad. <https://imco.org.mx/escasez-de-agua-y-sequia-en-mexico-crisis-actual/>
- Makerguides. (2024). JSN-SR04T-2.0 waterproof ultrasonic sensor with Arduino tutorial. <https://www.makerguides.com/jsn-sr04t-arduino-tutorial/>
- 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
- Mo, X., Qiu, X. J., & Shen, S. (2015). An IoT-based system for water resources monitoring and management. En 2015 7th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (Vol. 2, pp. 365–368). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IHMSC.2015.150>
- Monet, M. O. (2019). *Implementación y evaluación de plataformas en la nube para servicios de IoT* [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de València]. RiuNet. <https://riunet.upv.es/handle/10251/127825>
- 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*, 7(2.7), 379–383. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.7.10747>
- Rajan, G., & Li, S. (2025). A Systematic Literature Review on Flow Data-Based Techniques for Automated Leak Management in Water Distribution Systems. *Smart Cities* 2025, Vol. 8, Page 78, 8(3), 78. <https://doi.org/10.3390/SMARTCITIES8030078>
- Rajurkar, C., Prabakaran, S. R. S., & Muthulakshmi, S. (2017). IoT based water management. En 2017 International Conference on Nextgen Electronic Technologies: Silicon to Software (ICNETS2) (pp. 255–259). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICNETS2.2017.8067943>
- 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. <http://revistasoj.s.utm.edu.ec/index.php/ideas/article/view/554>
- Salam, A. (2024). Internet of things for water sustainability. *En Internet of Things for Sustainable Community Development* (pp. 113–145). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62162-8_4
- Torres-Gutierrez, J. L., Castañeda-Miranda, C. L., Martínez-Blanco, M. del R., Guerrero-Osuna, H. A., Jiménez-Díaz, G., Espinoza-García, G., Moreno-Lucio, M., Ibarra-Pérez, T., & Solís-Sánchez, L. O. (2026). Development and Implementation of a Smart Water Metering and Monitoring System for Homes with Intermittent Water Supply. *Technologies* 2026, Vol. 14, Page 135, 14(2), 135. <https://doi.org/10.3390/TECHNOLOGIES14020135>
- Villanueva, H. G. (2021). *Sistema de medición inteligente de consumo de agua en hogares usando IoT y cloud computing* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Cybertesis UNMSM. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/17891>
- Viñals, M. P. (2009). *Series temporales*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- 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. En 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT) (pp. 681–686). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WF-IOT.2015.7389136>

No.	Rol	Descripción
1	Conceptualización Conceptualization	Jurado-Bichir, L. E.; González-González, D. S.
2	Curación de datos Data curation	López-Flores, R.; Jurado-Bichir, L. E.
3	Análisis formal Formal analysis	Jurado-Bichir, L. E.; Valera-Castro, W. H.
4	Investigación Investigation	López-Flores, R.; Jurado-Bichir, L. E.
5	Metodología Methodology	Jurado-Bichir, L. E.; González-González, D. S.
6	Recursos Resources	Jurado-Bichir, L. E.; Castillo-Ruelas, A. J.
7	Software Software	Jurado-Bichir, L. E.; López-Flores, R.
8	Supervisión Supervision	Jurado-Bichir, L. E.; González-González, D. S.
9	Validación Validation	Jurado-Bichir, L. E.; Valera-Castro, W. H.; Castillo-Ruelas, A. J.
10	Visualización Visualization	López-Flores, R.; Jurado-Bichir, L. E.
11	Redacción - borrador original Writing – original draft	López-Flores, R.; Jurado-Bichir, L. E.
12	Redacción - revisión y edición Writing – review & editing	Jurado-Bichir, L. E.; González-González, D. S.; Valera-Castro, W. H.; Castillo-Ruelas, A. J.