

INFLUENCE OF A SYSTEM FOR EFFICIENT WATER CONTROL IN HOMES

Iparraguirre Castillo Carlos Anderson¹; Paisig Jauregui Gianmarco²; Rosa M. Lopez Martos³
^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Perú, N00257868@upn.pe, N00249575@upn.pe, rosa.lopez@upn.edu.pe

Abstract - Access to and control of water represents a global challenge, aggravated by the scarcity of accessible tools for its management. Therefore, the objective of this research was to determine how a system influences the efficient control of water in homes. The study was based on a pre-experimental design, to include a population of 140 households in the city of Cajamarca and a non-probabilistic convenience sample of 10 households, which shows problems in the management of water resources and the insufficient tools available for this purpose. The results showed that the precision in measuring water resources through the system improved significantly, going from a value of 3.3 to 4.6, in addition to eliminating the error rate in said measurements and optimizing detection and response times at critical water levels. In conclusion, it is determined that the System composed of a mobile application and hardware positively influenced the efficient control of water in homes.

Keywords -- management, system, application, hardware.

INFLUENCIA DE UN SISTEMA PARA EL CONTROL EFICIENTE DEL AGUA EN HOGARES

Iparraquirre Castillo Carlos Anderson¹; Paisig Jauregui Gianmarco²; Rosa M. Lopez Martos³
^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Perú, N00257868@upn.pe, N00249575@upn.pe, rosa.lopez@upn.edu.pe

Resumen — *El acceso y el control del agua representan un desafío global, agravado por la escasez de herramientas accesibles para su gestión. Por ello, la presente investigación tuvo como objetivo determinar cómo influye un sistema en el control eficiente del agua en hogares. El estudio se basó en un diseño pre-experimental, abarcando una población de 140 hogares en la ciudad de Cajamarca y una muestra no probabilística por conveniencia de 10 hogares, lo que permitió evidenciar problemas en la gestión del recurso hídrico y la insuficiencia de herramientas disponibles para tal fin. Los resultados demostraron que la precisión en la medición del recurso hídrico mediante el sistema mejoró notablemente, pasando de un valor de 3.3 a 4.6, además de eliminar la tasa de errores en dichas mediciones y optimizar los tiempos de detección y respuesta ante niveles críticos de agua. En conclusión, se determinó que el sistema, compuesto por una aplicación móvil y hardware, influyó de manera positiva en el control eficiente del agua en los hogares.*

Palabras clave -- gestión, sistema, aplicación, hardware.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el acceso al agua potable representa un desafío crítico a nivel mundial, cerca de 2000 millones de personas aun no cuentan con servicios gestionados de manera segura de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) [1]. En el Caribe y América Latina, cerca del 66% de la población no cuenta con servicios de saneamiento [2]. En Perú, en el año 2023, el 91% de hogares cuentan con el servicio de agua por red pública [3]. Sin embargo, las épocas de poca lluvia ocasionan el desabastecimiento de agua en los hogares [4].

La creciente demanda de agua, una gestión poco eficiente y la falta de herramientas de monitoreo en el ámbito doméstico, ha intensificado la problemática, generando un uso inadecuado y un considerable desperdicio del recurso. Además, las estrategias de gestión del agua suelen centrarse predominantemente en garantizar la disponibilidad del recurso en zonas urbanas, dejando en segundo plano a las comunidades rurales, donde el acceso al agua potable es aún más limitado y las carencias en infraestructura agravan la crisis hídrica [5] [6].

La tecnología emerge como un eje fundamental para abordar los desafíos asociados a la escasez y gestión del agua, destacando el monitoreo en tiempo real como una de las soluciones de mayor impacto. Este enfoque permite optimizar la disponibilidad del recurso al supervisar continuamente los niveles en tanques de almacenamiento, facilitando una distribución eficiente y evitando pérdidas [7]. La integración

de dispositivos móviles en la vida cotidiana con sistemas de hardware especializado, como sensores Internet of Things (IoT), componentes Arduino, entre otros, ofrecen una combinación óptima y accesible [8].

Los dispositivos móviles han adquirido un papel fundamental en diversos ámbitos de la rutina diaria, favoreciendo la comunicación, el acceso a la información y la mejora de múltiples procesos. Su rápida evolución ha permitido que no solo sean herramientas de interacción social, sino también plataformas versátiles capaces de cumplir una vasta gama de tareas en distintos sectores [9] [10].

Por otro lado, se observa cómo este tipo de tecnologías tienen como objetivo generar un impacto positivo en el aprovechamiento de los recursos hídricos. Un ejemplo de ello fue la implementación de sistemas alimentados por energía solar que integraban componentes como Arduino Uno y módulos Global System for Mobile communications (GSM), lo cual dio como resultado un software capaz de monitorear el flujo de agua en tuberías. Dicho sistema permitía identificar tres rangos de caudal (0–5, 6–50 y 51–200 litros/min) y enviaba notificaciones automáticas por SMS ante la detección de anomalías [11].

Otra iniciativa consistió en la utilización del sensor ultrasónico HC-SR04 en conjunto con Arduino Uno, con el objetivo de desarrollar un sistema de monitoreo del nivel de agua en tanques domésticos. Este sistema permitió la transmisión inalámbrica de datos hacia dispositivos inteligentes, así como la generación de alertas ante variaciones en el nivel del líquido [12]. De igual manera, mediante el aprovechamiento de la energía solar, se implementó un sistema basado en Arduino Uno y módulos Xbee PRO S2C para el control del abastecimiento y reserva de agua en la finca Rincón Santo (Chiquinquirá). Esta solución permitió reducir las pérdidas hídricas en entornos rurales y mejorar el abastecimiento en zonas con limitaciones técnicas [13].

Por otro lado, estas tecnologías también fueron empleadas para evaluar la contaminación hídrica en tres campus de la Universidad Simón Bolívar (Barranquilla), permitiendo la medición del potencial de hidrógeno (pH) y el análisis de la calidad del agua [14].

Asimismo, se empleó Arduino Mega —una tecnología de funcionalidades similares— junto con caudalímetros y una aplicación móvil, con el objetivo de medir la presión y el consumo de agua en viviendas. Esta solución facilitó la detección de fugas y el control del uso del recurso, además de contar con una alta aceptación por parte de los usuarios, alcanzando un 85 % de satisfacción [15].

Finalmente, mediante el uso de Arduino Nano, sensores de efecto Hall (YF-S201) y el módulo ESP-01, se logró monitorear y reducir el consumo de agua en tres viviendas ubicadas en Puebla, evidenciando la viabilidad de estas tecnologías en contextos domésticos. [16].

El acceso y la gestión eficiente del recurso hídrico representan un desafío crítico en diversas regiones del mundo, especialmente en aquellas afectadas por la escasez de agua. La ciudad de Cajamarca no es ajena a esta problemática, enfrentando un déficit hídrico que impacta significativamente en el nivel de vida de sus habitantes y en el desarrollo sostenible de la región. Según una nota de la Red de Comunicación Regional (RCR), una extensa área de la región atraviesa una época de estiaje, caracterizado por una reducción significativa en los caudales de los ríos. En el caso del río Mashcón, el caudal registrado es de 0.26 metros cúbicos por segundo, mientras que en otros cuerpos hídricos de la zona se observan valores considerablemente inferiores a sus promedios históricos [17]. Esta disminución es consecuencia de la escasez de precipitaciones, lo que agrava la disponibilidad del recurso hídrico en la región, incluso llegando a tal punto de declararse en estado de emergencia hídrica durante el mes de septiembre del 2024 [18].

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se formuló la siguiente interrogante: *¿Cómo influye la implementación de un sistema en el control eficiente del agua en hogares de la ciudad de Cajamarca?* En ese sentido, el objetivo general fue determinar cómo influye un sistema en el control eficiente del agua en hogares de la ciudad de Cajamarca. Para alcanzar dicho objetivo, se definieron los siguientes objetivos específicos, a) evaluar el estado actual del control eficiente del agua en hogares de Cajamarca antes del uso del sistema, b) diseñar e implementar el Sistema (aplicativo móvil y prototipo) para el control del agua en hogares de la ciudad de Cajamarca y c) evaluar el estado del control eficiente del agua en hogares de Cajamarca después del uso del sistema.

Asimismo, se formularon la hipótesis alternativa: La implementación de un sistema influirá de manera positiva en el control eficiente del agua en hogares de Cajamarca. Y la hipótesis nula: La implementación de un sistema no influirá de manera positiva en el control eficiente del agua en hogares de Cajamarca.

II. METODOLOGÍA

De acuerdo con su propósito, la investigación fue de tipo aplicada y adoptó un diseño de tipo pre-experimental. Este enfoque metodológico se orienta a la solución de problemas prácticos y concretos, mediante la aplicación de conocimientos en contextos reales [19].

La población objetivo del estudio estuvo conformada exclusivamente por 140 hogares que disponen de un tanque de agua instalado en sus viviendas [20]. A partir de un proceso de muestreo no probabilístico por conveniencia se consideró 10 hogares considerando diversos factores que permitieron ajustar el estudio a las condiciones reales del proyecto. Entre los principales criterios se encuentran: la proximidad geográfica al área de investigación, que facilitó el acceso y seguimiento de los hogares; las limitaciones económicas, ya

que el desarrollo del sistema implicó la adquisición de componentes electrónicos y materiales con recursos propios.

A partir del proyecto piloto desarrollado con una muestra reducida de 10 familias, se plantea un plan de escalamiento que contemple la participación de la municipalidad de Cajamarca como aliado estratégico. Este apoyo institucional permitiría extender la implementación hacia una muestra representativa de 103 hogares, calculada mediante la fórmula para poblaciones finitas con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. La ampliación de la escala facilitaría la validación del sistema en zonas urbanas que, durante periodos de escasez, dependen de reservorios o tanques de gran capacidad, donde la solución podría contribuir al control de volúmenes, la dosificación del recurso y el registro sistemático del consumo mensual.

De esta manera, se busca generar evidencia robusta para proyectar el impacto del sistema en un mayor número de hogares, optimizar los recursos disponibles y fortalecer la sostenibilidad del proyecto en contextos urbanos. Asimismo, se considera necesario realizar un análisis de costos en escenarios de implementación masiva, incluyendo la negociación con distribuidores de componentes al por mayor, con el fin de reducir gastos y garantizar la viabilidad económica del despliegue a gran escala.

Además, se tomaron en cuenta aspectos técnicos y prácticos como la existencia de un tanque domiciliario funcional y en uso activo, la factibilidad de instalar el sistema de monitoreo, la disposición y consentimiento de los habitantes para participar en el estudio, y la presencia de patrones de consumo de agua representativos.

La fase de recolección de información se realizó a través de la técnica de la encuesta, implementándose como instrumento el cuestionario, evaluando indicadores clave antes y después de la implementación del sistema, dicho instrumento fue sometido a un riguroso proceso de validación, el cual incluyó la evaluación y aprobación por parte de expertos, garantizando así la confiabilidad y la validez del contenido, además se evaluó la confiabilidad por el estadístico Alfa de Cronbach obteniendo un valor de 0.88.

El procedimiento de recolección de datos se estructuró en dos fases: a) en la primera fase, correspondiente al Pretest se aplicó el cuestionario para establecer una línea base de las variables de interés; b) posteriormente, tras la implementación del sistema, se procedió a la aplicación de la misma herramienta en la fase de Posttest, para luego realizar una comparación, se puede observar en la fig. 1.

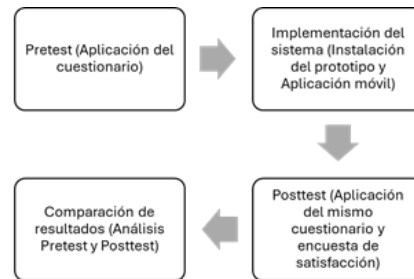


Fig. 1: Procedimiento de recolección de datos a nivel gráfico

III. RESULTADOS

A. Evaluar el estado actual del control eficiente del agua en hogares de Cajamarca antes del uso del sistema.

Con el fin de evaluar la influencia de este sistema, se procedió inicialmente a la recolección de datos sobre la situación actual de los hogares, focalizándose en el funcionamiento de los procesos de medición de volumen de agua y en la exactitud que presentan dichos procesos, para lo cual se aplicó el cuestionario previamente mencionado.

La variable “control del nivel de agua” se analiza a partir de tres dimensiones fundamentales: precisión, gestión y eficiencia. Además, esta variable se operacionaliza mediante indicadores específicos, tales como: a) exactitud en el control, b) tasa de error, c) consumo hídrico, d) detección de niveles críticos, e) frecuencia de llenado y f) tiempo de respuesta. Los resultados derivados de este análisis se presentarán en la tabla I.

TABLA I
RESULTADOS DEL CONTROL EFICIENTE DEL AGUA EN HOGARES ANTES DEL USO DEL SISTEMA

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	RESULTADOS
Control del nivel del agua	Precisión	Exactitud del control	3.3
		Tasa de error	60 %
	Gestión	Consumo hídrico	4000 litros - 5000 litros
		Detección de niveles críticos	3 - 4 minutos
	Eficiencia	Frecuencia de llenado	2
		Tiempo de respuesta	3 - 4 minutos

El valor de 3.3 corresponde al promedio aritmético obtenido a partir de las respuestas de 10 participantes, utilizando una escala de valoración del 1 al 5. La tasa de error del 60 % refleja que 6 de los 10 encuestados reportaron dificultades al medir el volumen de agua. El rango de 4000 a 5000 litros representa la moda de los volúmenes registrados. Del mismo modo, los valores relacionados con niveles críticos de detección, frecuencia de llenado y tiempo de respuesta se basan en la moda de las respuestas obtenidas.

B. Diseñar e implementar el Sistema (aplicativo móvil y prototipo) para el control del agua en hogares de la ciudad de Cajamarca

En el desarrollo del aplicativo móvil y su dispositivo de hardware asociado (prototipo), se adoptó la metodología ágil Scrum, estructurando el proyecto en un ciclo de siete sprints. Esta metodología fue seleccionada debido a su capacidad para facilitar la adaptación a cambios y la mejora continua del producto, permitiendo entregas incrementales y ajustadas a los requisitos del usuario [21]. Dichos requisitos fueron identificados a partir de las necesidades de los usuarios involucrados, mediante reuniones periódicas que permitieron obtener retroalimentación constante. Como resultado de este proceso iterativo se alcanzó la versión final del diseño, presentada en la Fig. 2.

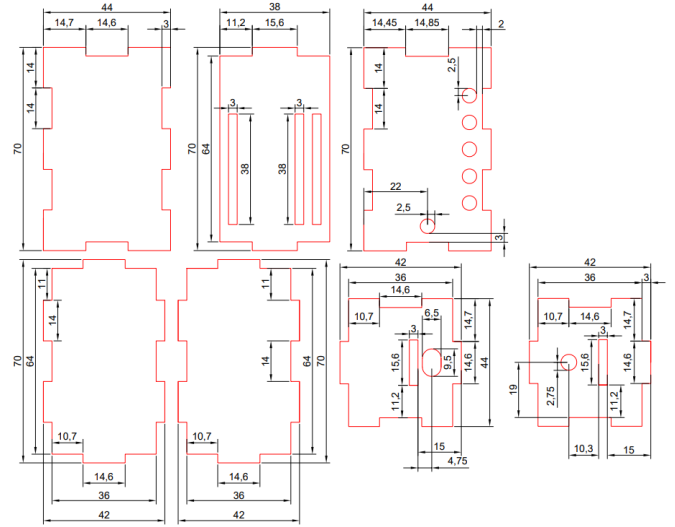


Fig. 2: Diseño final con aporte de usuarios

A lo largo de los sprints, se realizaron actividades clave, entre las que se incluyen la especificación de requisitos, la elaboración de casos de uso detallados, el diseño de prototipos de la interfaz de usuario, el diseño de la carcasa del dispositivo, y las pruebas tanto de la aplicación móvil como del prototipo de hardware. Estas actividades fueron fundamentales para garantizar la calidad y la funcionalidad del sistema desarrollado. En la Fig. 3 y Fig. 4 se muestran el diagrama de arquitectura del aplicativo móvil y el diagrama de despliegue respectivamente, lo que proporciona una visión clara de los módulos y su interacción. Además, en la Fig. 5 se muestra el diagrama general de casos de uso, que representa las principales interacciones entre los usuarios y el sistema.

Para el desarrollo de la aplicación móvil se optó por el lenguaje de programación Kotlin, implementada en el entorno de desarrollo integrado Android Studio, lo que permitió optimizar el proceso de desarrollo y asegurar una experiencia de usuario fluida. El diseño de interfaces se realizó en Figma, facilitando la creación de prototipos interactivos y la validación temprana de la experiencia del usuario.

En cuanto al backend, se recurrió a Firebase para gestionar funcionalidades clave como la autenticación de usuarios y el almacenamiento en la nube, asegurando una integración eficaz y escalable. Este enfoque permitió una comunicación eficiente entre la aplicación móvil y el prototipo de hardware, ofreciendo un sistema robusto y de fácil mantenimiento.

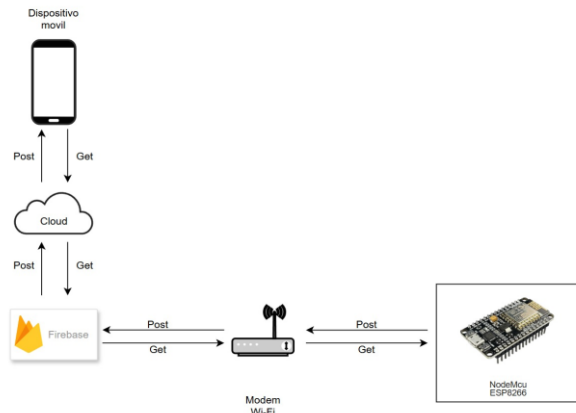


Fig. 3: Diagrama de arquitectura del Aplicativo móvil

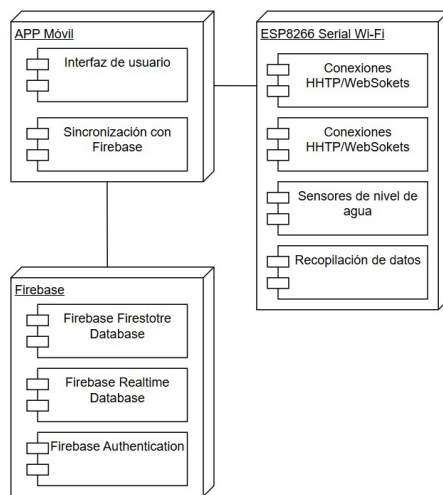


Fig. 4: Diagrama de despliegue

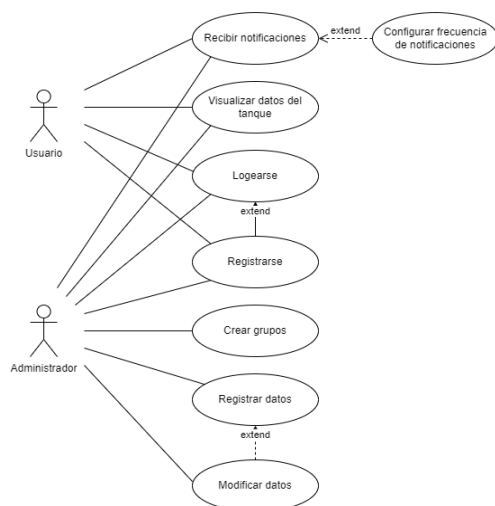


Fig. 5: Diagrama general de casos de uso

Para el desarrollo del dispositivo de hardware asociado, se utilizó el entorno de desarrollo Arduino IDE, una plataforma de código abierto ampliamente utilizada para la programación de microcontroladores. Este entorno facilitó la creación y carga del programa necesario para controlar los componentes del hardware, garantizando una integración fluida con la aplicación móvil. Arduino IDE permitió la programación eficiente de funciones como la lectura de sensores, el procesamiento de datos y la comunicación con la aplicación móvil a través de protocolos Wi-Fi.

El dispositivo de hardware fue diseñado para interactuar de manera directa con la aplicación móvil, enviando datos de manera constante para asegurar que la medición y monitoreo del sistema fueran precisos y en tiempo real. Esta interacción se gestionó mediante Firebase y sus funciones para almacenar datos a través de Wi-Fi que facilita la comunicación entre el microcontrolador y la aplicación, permitiendo una sincronización efectiva entre ambos componentes del sistema.

Para la implementación del hardware, se emplearon componentes clave como un microcontrolador ESP8266, que integra conectividad Wi-Fi y un sensor ultrasónico HC-SR04 para la medición del nivel del agua en el tanque. En la Fig. 6 se presenta el diagrama electrónico del hardware y los componentes utilizados junto a sus conexiones.

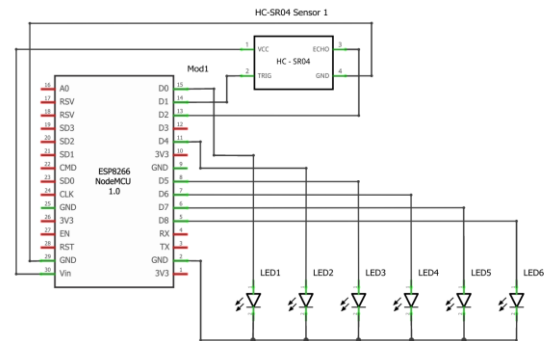


Fig. 6: Diagrama electrónico del Hardware

Adicionalmente, el diseño prioriza bajo costo y tolerancia a baja conectividad, lo cual se logra mediante uso de módulos comerciales masivos y ampliamente documentados (ESP8266 y HC-SR04) una arquitectura de componentes reducida y la adopción de herramientas open-source (Arduino IDE) que minimizan los costes de desarrollo y despliegue. En el mercado local estos componentes se encuentran típicamente en un rango de precios que permite montar una unidad funcional por aprox. 14 USD (United State Dollar) a 20 USD lo cual refuerza la condición de bajo costo del diseño. La estrategia de transmisión de datos (payloads compactos) complementa esta decisión al mantener el consumo de datos muy reducido, compatible con despliegues en entornos de baja conectividad y con planes de datos limitados.

En la Fig. 7 se muestra además el consumo de datos vía Wi-Fi registrado por la aplicación en las últimas 24 horas, evidenciando que el tráfico se mantiene dentro del rango estimado y confirmando la eficiencia en el uso de la red.

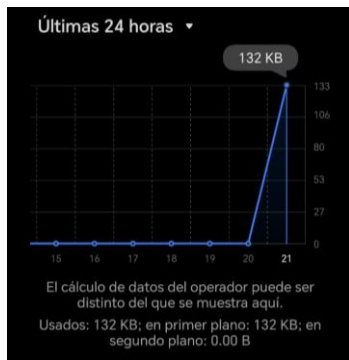


Fig. 7: Consumo de datos Wi-Fi en 24 horas (Android)

Finalmente, en las figuras 8 a 14 se muestran las interfaces clave de la aplicación móvil y el hardware implementado.

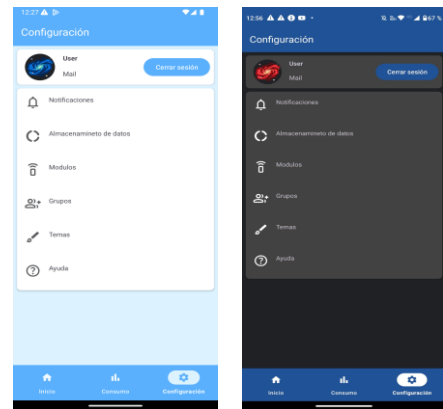


Fig. 10: Vista de configuración (Claro - Oscuro)

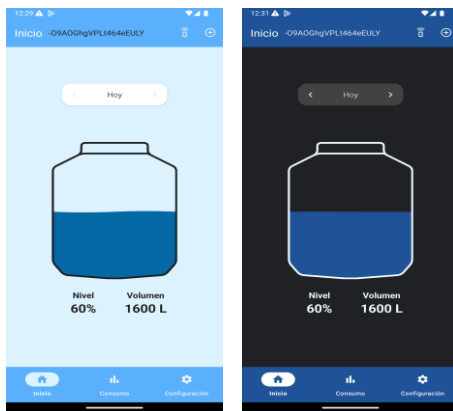


Fig. 8: Vista principal (Claro - Oscuro)

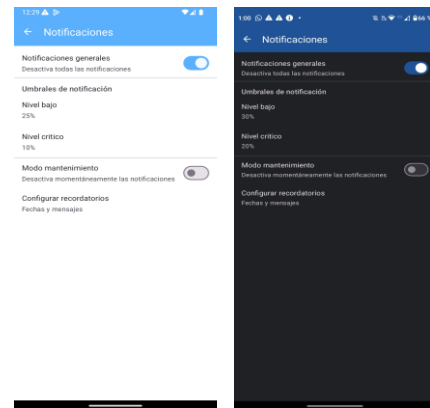


Fig. 11: Vista de notificaciones (Claro - Oscuro)

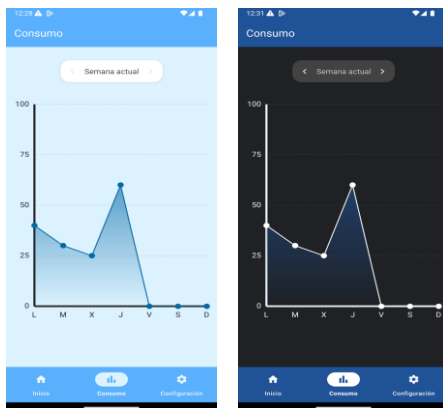


Fig. 9: Gráficos de consumo (Claro - Oscuro)

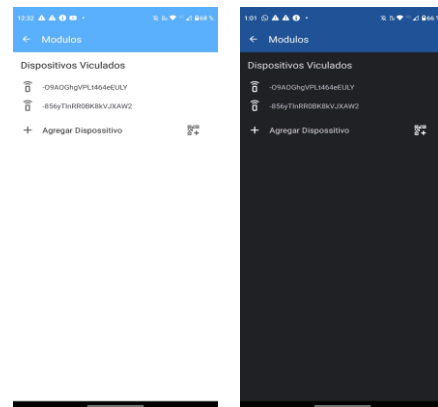


Fig. 12: Vista de módulos (Claro - Oscuro)

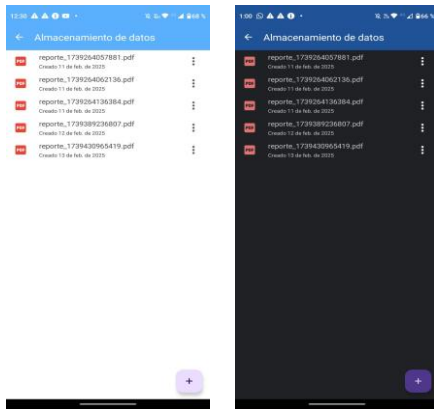


Fig. 13: Vista de reportes (Claro - Oscuro)

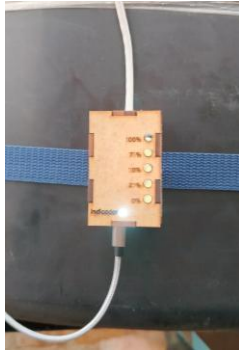


Fig. 14: Hardware implementado

Por otro lado, se llevó a cabo un análisis del consumo de recursos durante la ejecución de la aplicación móvil, evidenciándose un uso máximo de memoria Random Access Memory (RAM) de aproximadamente 160 Megabytes (MB), lo cual se considera un nivel moderado y no representa un inconveniente en dispositivos modernos. Cabe destacar que, en condiciones normales de funcionamiento, el consumo de memoria se mantiene dentro de un rango de 64 a 96 MB, como se observa en la Figura 15.

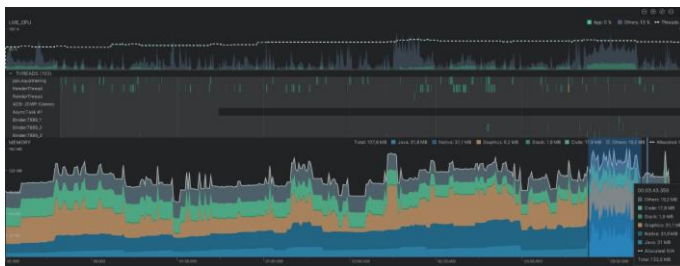


Fig. 15: Consumo de memoria y Central Process Unit (CPU) en teléfono moto G60S

Adicional a esto, se evaluó la variable independiente (El sistema) utilizando como instrumento un cuestionario. Esta evaluación contempló aspectos relacionados con la funcionalidad, la satisfacción, la seguridad y la usabilidad del sistema, los cuales se presentan en la Fig. 16.

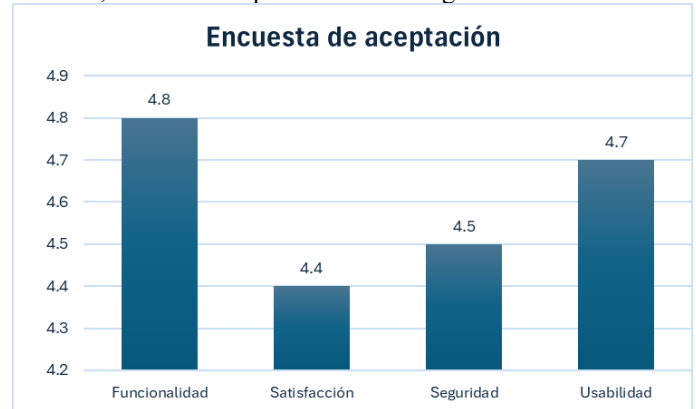


Fig. 16: Evaluación de la aplicación según usuarios

Los resultados revelan una recepción positiva de la aplicación por parte de los usuarios. Los altos puntajes obtenidos en funcionalidad (4.8), satisfacción (4.4), seguridad (4.5) y usabilidad (4.7) indican que el sistema es considerado efectivo, confiable y fácil de usar, aunque existen oportunidades para su mejora.

C. Evaluar el estado del control eficiente del agua en hogares de Cajamarca después del uso del sistema.

Tras la implementación de la aplicación móvil y el dispositivo hardware correspondiente, se aplicó el cuestionario por segunda vez con el propósito de evaluar el impacto generado por el software, obteniéndose resultados positivos en términos de mejoras, los cuales se detallan en la Tabla II.

TABLA II
RESULTADOS DEL CONTROL EFICIENTE DEL AGUA EN HOGARES DESPUÉS DEL USO DEL SISTEMA

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	RESULTADOS
Control del nivel del agua	Precisión	Exactitud del control	4.6
		Tasa de error	0 %
	Gestión	Consumo hídrico	4000 litros - 5000 litros
		Detección de niveles críticos	1 - 2 minutos
	Eficiencia	Frecuencia de llenado	2
		Tiempo de respuesta	2 - 3 minutos

La media de 4.6 en la exactitud del control se calculó a partir de las respuestas de 10 participantes utilizando una escala de 1 a 5. La tasa de error fue del 0 %, ya que no se reportaron fallos al medir la cantidad de agua mediante la aplicación. Los valores de consumo hídrico (4000–5000 litros), detección de niveles críticos, frecuencia de llenado y tiempo de respuesta corresponden a la moda de las respuestas recopiladas.

D. Determinar cómo influye un sistema en el control eficiente del agua en hogares de la ciudad de Cajamarca.

Luego de recopilar los datos obtenidos en el Pretest y Posttest, se procedió a realizar un análisis comparativo de los principales indicadores.

En primer lugar, la exactitud del control mostró una mejora significativa de 1.3 puntos, lo que incrementó la fiabilidad y precisión en la supervisión de los procesos. La tasa de error se redujo de forma drástica, con una disminución del 60 %, eliminando las imprecisiones en el cálculo del volumen total de agua del tanque. El consumo hídrico se mantuvo constante en el rango de 4000 a 5000 litros, ya que el software fue diseñado para optimizar el control sin alterar la cantidad de agua utilizada. Asimismo, la capacidad del sistema para detectar niveles críticos mejoró notablemente, reduciendo el tiempo de detección en 2 minutos, lo que permitió intervenciones más rápidas y eficaces. La frecuencia de llenado del tanque se mantuvo sin cambios, al depender de factores externos. Por último, el tiempo de respuesta global presentó una mejora moderada, acortándose en 1 minuto, lo que facilitó una gestión más ágil de los recursos hídricos como se muestra en la Tabla III y Figuras 17 a 20.

TABLA III
COMPARACIÓN DE RESULTADOS PRETEST Y POSTTEST

INDICADORES	ANTES	DESPUÉS
Exactitud del control	3.3	4.6
Tasa de error	60 %	0 %
Consumo hídrico	4000 litros - 5000 litros	4000 litros - 5000 litros
Detección de niveles críticos	3 - 4 minutos	1 - 2 minutos
Frecuencia de llenado	2	2
Tiempo de respuesta	3 - 4 minutos	2 - 3 minutos

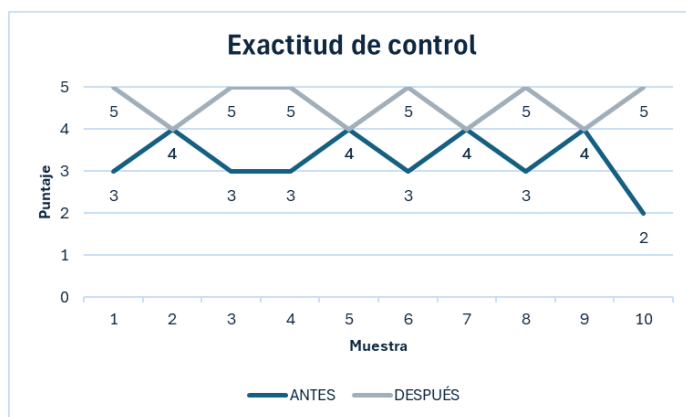


Fig. 17: Percepción individual de la confiabilidad de la medición (Antes vs. Después)



Fig. 18: Comparación de inconvenientes por mediciones incorrectas (Antes vs. Después)

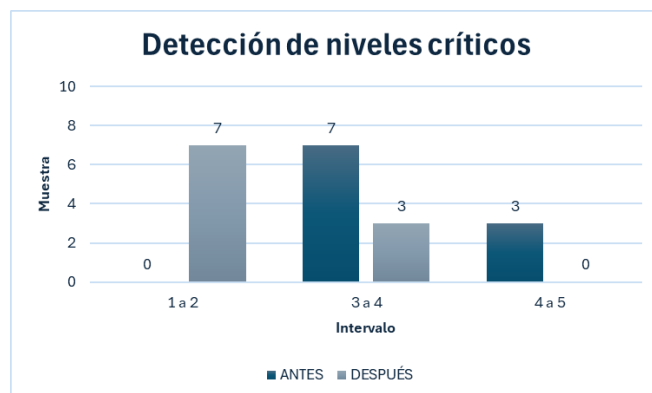


Fig. 19: Tiempo estimado para detectar nivel crítico de agua (Antes vs. Después)

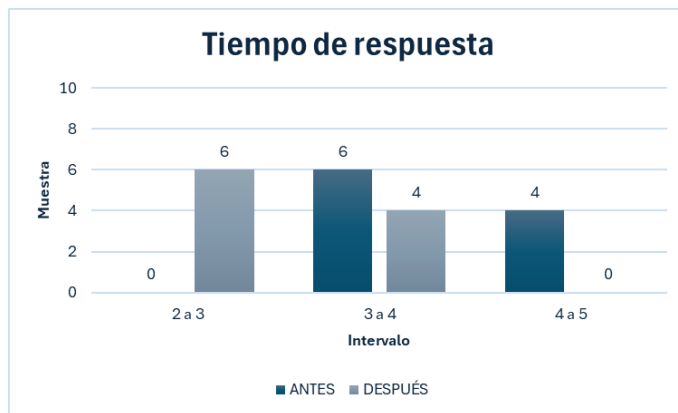


Fig. 20: Tiempo estimado para resolver un problema crítico de nivel de agua (Antes vs. Después)

Finalmente, para evaluar la hipótesis se empleó la prueba T-Student con un nivel de significancia del 0.05, obteniéndose un valor p de 0.0031. Al encontrarse este valor por debajo del umbral establecido, se valida la hipótesis alternativa: la implementación de un sistema influyó de manera positiva en el control eficiente del agua en hogares de Cajamarca. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula.

IV. DISCUSIÓN

En cuanto a los resultados obtenidos, se evidencia un impacto positivo en los hogares respecto al control del uso del agua, tras un periodo de implementación de la solución desarrollada. Este comportamiento es coherente con los resultados alcanzados mediante el sistema basado en tecnología GSM [11], que permitió la implementación efectiva del monitoreo y control del flujo de agua en tuberías dentro de escenarios reales de abastecimiento, con importantes diferencias como el precio reducido de nuestra solución, el tamaño compacto, la practicidad al momento de instalar y configurar el dispositivo.

Asimismo, el sistema propuesto en esta investigación cumplió de manera eficaz sus funciones en ambos componentes —software y hardware—, los cuales se encuentran integrados e interconectados. Esta característica coincide con la implementación del sistema inalámbrico eficiente para la medición de volúmenes de agua, utilizando módulos de comunicación y sensores precisos [12], generando también un impacto positivo a nivel comunitario.

De igual forma, el software desarrollado demostró no solo una mejora en el control continuo del recurso hídrico, sino también accesibilidad y adaptabilidad para su aplicación tanto en zonas urbanas como rurales. Esta versatilidad es comparable con la solución construida sobre módulos Xbee PRO S2C [13], la cual contribuyó significativamente a la reducción de pérdidas hídricas, al ser adaptable a contextos con limitaciones técnicas y geográficas.

Si bien esta investigación no aborda aspectos relacionados con la calidad del agua, sino que se enfoca en el monitoreo y control de cantidades, el enfoque técnico guarda similitud con soluciones como la presentada para el control del pH del agua [14]. En ambos casos se emplean tecnologías de bajo costo para mejorar la gestión del recurso hídrico, ya sea desde una perspectiva cuantitativa o cualitativa.

En ese sentido, los resultados también son coherentes con el sistema “Water Network” [15], que integró hardware de bajo costo y software libre para el control y medición del agua. Además, reportó una alta aceptación por parte de los usuarios, con un 85% de satisfacción, comparable con el 88% registrado en esta investigación (4.4 de puntuación promedio).

Finalmente, los hallazgos se alinean con los resultados obtenidos mediante una solución basada en Arduino Nano, sensores de efecto Hall modelo YF-S201, y el módulo ESP-01 [16], cuyo software permitió monitorear y reducir el consumo de agua. Este proyecto con un costo aproximado de 215 dólares se destacó por su diseño intuitivo y su alta capacidad de adaptación a diferentes entornos,

No obstante, es clave aclarar que la solución propuesta aporta beneficios sustantivos frente a las iniciativas mencionadas: presenta un costo de apenas 20 USD (una reducción aproximada del 90.7% respecto a la alternativa referenciada), ofrece lecturas precisas mediante un sensor de proximidad sin requerir hardware adicional y dispone de una aplicación móvil con interfaz minimalista e intuitiva que facilita el monitoreo y el control del consumo hídrico. Estas características favorecen la accesibilidad de la tecnología en

hogares tanto urbanos como rurales y mejoran su potencial de adopción y escalabilidad.

V. CONCLUSIONES

Tras una evaluación inicial del control de los niveles hídricos en los hogares de Cajamarca, se identificaron deficiencias notables en los sistemas tradicionales. Los resultados arrojaron una tasa de error del 60 % y un nivel de exactitud equivalente a 3.3 puntos, clasificando estos métodos como poco confiables para una gestión efectiva del recurso hídrico. Asimismo, los tiempos requeridos para la detección de niveles críticos y la correspondiente respuesta oscilaron entre 3 y 4 minutos, lo que, si bien puede considerarse una respuesta moderada, revela márgenes claros para la optimización.

Como respuesta a esta problemática, se diseñó e implementó una solución tecnológica basada en una plataforma de hardware y software integrados, utilizando Arduino para la medición de los niveles de agua y Android Studio para el desarrollo de la interfaz móvil de monitoreo. La propuesta permite realizar un seguimiento en tiempo real de los niveles hídricos, optimiza la identificación de umbrales críticos mediante alertas automáticas y minimiza los errores humanos, incrementando así de manera sustancial la confiabilidad en comparación con los enfoques convencionales.

Tras la implementación del sistema, se llevó a cabo una reevaluación de su desempeño. Los resultados evidenciaron mejoras significativas: la tasa de error se redujo a 0 %, mientras que la exactitud alcanzó los 4.6 puntos, validando la alta precisión del nuevo sistema. Además, los tiempos de detección de niveles críticos y de respuesta se acortaron a 1 y 2 minutos, respectivamente, lo que demuestra un avance considerable en términos de eficiencia operativa.

Finalmente, el análisis comparativo entre el escenario previo y posterior a la implementación, complementado con encuestas de satisfacción aplicadas a los usuarios (las cuales arrojaron un 88 % de aprobación), confirmó el impacto positivo de la solución no solo en términos de precisión técnica, sino también en la gestión y eficiencia general del control de los niveles hídricos en los hogares evaluados.

REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de Salud, «Una oportunidad única para que el agua, el saneamiento y la higiene sean una realidad para todo el mundo». Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news/item/22-03-2023-our-lifetime-opportunity-to-enable-water-sanitation-and-hygiene-for-all>
- [2] «Agenda de acción regional por el agua: Hacia el acceso universal al agua limpia y al saneamiento | Comisión Económica para América Latina y el Caribe», CEPAL. Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/notas/agenda-accion-regional-agua-acceso-universal-al-agua-limpia-al-saneamiento>
- [3] «Acceso a los Servicios Básicos en el Perú 2023». Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/5857246-acceso-a-los-servicios-basicos-en-el-peru-2023>
- [4] «Los impactos de las sequías en el Perú», Clima de cambios. Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/los-impactos-de-las-sequias-en-el-peru/>
- [5] M. Gil, A. Jouravlev, y S. Saravia Matus, «Reflexiones sobre la gestión del agua en América Latina y el Caribe. Textos seleccionados 2002-2020 | Comisión Económica para América Latina y el Caribe», CEPAL. Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46792-reflexiones-la-gestion-agua-america-latina-caribe-textos-seleccionados-2002-2020>
- [6] «INCORE 2023», INCORE. Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://incoreperu.pe/portal/images/financepress/ediciones/INCORE_2023.pdf
- [7] «Así ayuda la tecnología a evitar la escasez de agua», Fundación Innovación Bankinter. Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fundacionbankinter.org/noticias/la-tecnologia-una-gran-aliada-contrala-escasez-de-agua/>
- [8] C. Botero, «Smart Water: Aprovechamiento IoT para el monitoreo y la gestión del agua», Ubidots Blog. Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.ubidots.com/blog/smart-water-leveraging-iot-for-water-monitoring-and-management/>
- [9] M. A. C. Pérez, M. A. P. Vinuesa, H. R. A. Yupangui, y A. D. A. Parra, «Las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) como forma investigativa interdisciplinaria con un enfoque intercultural para el proceso de formación estudiantil», *E-Ciencias de la Información*, vol. 9, n.º 1, pp. 44-59, ene. 2019.
- [10] Jaciel, «Las TICs: Qué son, importancia y su impacto en la sociedad actual», IAXUS. Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://niexus.com/2024/10/19/que-son-las-tics-importancia-y-su-impacto-sociedad/>
- [11] J. Córdoba, L. Predyd, C. Bernal, y R. Mitre, «“Prototipo de sistema, utilizando arduino y gsm, para el monitoreo del flujo de agua potable en las tuberías, del IDAAN en la provincia de Coclé”», *Revista Científica Guacamaya*, vol. 4, n.º 2, Art. n.º 2, abr. 2020.
- [12] A. Carrasquero, D. Gonzáles, y D. Zerpa, «Sistema automatizado para el monitoreo de agua en tanques domésticos a través de la plataforma arduino». Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0103100/>
- [13] M. A. Ortiz Sandoval, «Sistema de monitoreo del suministro y almacenamiento de agua a través de una aplicación móvil en la vereda Córdoba bajo, finca Rincón Santo, Chiquinquirá», 2018, Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/ae0e0c3d-40e3-4214-b774-8834c23e05e7>
- [14] M. A. Gómez Sierra *et al.*, «Sistema de monitoreo del PH del agua basado en arduino para medir los niveles de contaminación del agua en la Universidad Simón Bolívar sede Barranquilla», 2023, Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12442/12684>
- [15] M. M. Moreno, D. A. H. Castrejón, J. C. Honorato, M. L. G. Santamarina, y B. G. Moreno, «Water network: Aplicación móvil con tecnología Arduino para la medición de presión y consumo del agua», *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, n.º 2, Art. n.º 2, may 2023, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i2.5920.
- [16] G. A. Ramírez Vicente, «Sistema inteligente de monitoreo de consumo de agua», ago. 2020, Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/2680>
- [17] Redacción, «Ausencia de lluvias continúa afectando suministro de agua para la población de Cajamarca», RCR Peru. Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.rcrperu.com/ausencia-de-lluvias-continua-afectando-suministro-de-agua-para-la-poblacion-de-cajamarca/>
- [18] Redacción, «Cajamarca se queda sin agua: declaran emergencia hídrica en la provincia», La Rotativa. Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://larotativa.pe/cajamarca-se-queda-sin-agua-declaran-emergencia-hidrica-en-la-provincia/>
- [19] J. Lozada, «Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria», *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, vol. 3, n.º 1, pp. 47-50, 2014.
- [20] «Memoria Institucional 2023». Accedido: 19 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/sedacaj/informes-publicaciones/6251952-memoria-institucional-2023>
- [21] J. Martins, «Scrum: conceptos clave y cómo se aplica en la gestión de proyectos [2025] • Asana», Asana. Accedido: 2 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://asana.com/es/resources/what-is-scrum>