

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA



TRABAJO DE INVESTIGACION

MONITOREO REMOTO DE CUANTIFICACIÓN Y REGISTRO DE AGUA CONSUMIDA PARA EL CONTROL DEL RECURSO HÍDRICO

PRESENTADO POR:

Dr. CARLOS ALBERTO CALLE GUTIÉRREZ
Dr. JONATHAN DAVID NIMA RAMOS
Dr. ELVIS ERYCK RAMIREZ RIVERA
Dra. AURA ELENA MEDINA SÓCOLA

**Línea de Investigación: Aprovechamiento y Gestión Sostenible del
Ambiente y los Recursos Naturales**

Piura, Perú

2026

Índice

Resumen	v
Abstract	vi
a.-Título del proyecto:	1
b.-Tipo del proyecto:	1
c.-Línea de investigación:	1
d.-Sub línea de investigación:	1
e.-Antecedentes de la investigación	1
f.-Justificación	4
h.-Hipótesis	5
j.-Resultados esperados	11
l.-Presupuesto	13
ñ.- Resultados	23
n.- Discusión	32
ñ.- Conclusiones	35
o. Recomendaciones	37

Índice de tablas

Tabla I. Técnicas e instrumentos de la investigación	10
Tabla II. Cronograma de actividades.....	12
Tabla III. Presupuesto inicial del proyecto.....	12
Tabla IV. Requerimientos durante el desarrollo del proyecto	18
Tabla V. Estadísticos descriptivos del consumo de agua (m ³ /mes).....	23
Tabla VI. Pruebas de normalidad	24
Tabla VII. Detección de outliers	24
Tabla VIII. Prueba t de Student.....	25
Tabla IX. ANOVA de medidas repetidas	25
Tabla X. ANCOVA	26
Tabla XI. Regresión lineal múltiple.....	27
Tabla XII. Análisis de series temporales (ARIMA)	27
Tabla XIII. Análisis costo-beneficio	28
Tabla XIV. Fiabilidad.....	28
Tabla XV. Validación cruzada.....	29
Tabla XVI. Usabilidad del sistema (SUS).....	29
Tabla XVII. Métricas de usabilidad	30
Tabla XVIII. Resultados del Análisis de Confiabilidad (Alfa de Cronbach).....	31

Índice de figuras

Ilustración 1. Vista interna del circuito	16
Ilustración 2. Vista externa del circuito	17
Ilustración 3. Almacenamiento en base de datos MySQL	18
Ilustración 4. Visualización de los registros en página web	18
Ilustración 5. Panel de monitoreo del nivel de agua desarrollado en Power BI.....	21

Resumen

La gestión eficiente del recurso hídrico representa un desafío crítico en sistemas agrícolas, especialmente en contextos con limitados mecanismos de monitoreo y control. El presente estudio tuvo como objetivo diseñar y evaluar un sistema de monitoreo remoto del consumo de agua basado en tecnología de Internet de las Cosas (IoT) para mejorar la eficiencia hídrica. Se empleó un diseño cuasi-experimental con grupo control y grupo experimental ($n = 80$) durante un periodo de seis meses, donde el grupo experimental utilizó el sistema propuesto, mientras que el grupo control mantuvo prácticas convencionales.

Los resultados evidenciaron una reducción significativa del consumo de agua en el grupo experimental, pasando de 120.5 m^3 a 82.7 m^3 (-31.4%), en comparación con una reducción marginal en el grupo control (-4.8%). El análisis inferencial confirmó diferencias estadísticamente significativas entre grupos ($t = 8.74$; $p < 0.001$), así como efectos significativos del tiempo y de la interacción grupo \times tiempo ($F = 24.57$; $p < 0.001$). El sistema demostró alta fiabilidad ($ICC = 0.91$) y buen desempeño predictivo ($R^2 = 0.66$; $RMSE = 9.4$) mediante modelos de regresión y ARIMA. Asimismo, la evaluación de usabilidad arrojó un puntaje de 78.4 en la escala SUS, indicando una buena aceptación por parte de los usuarios.

Desde el punto de vista económico, el sistema alcanzó un retorno de inversión (ROI) del 80.5%, con un periodo de recuperación de ocho meses. Estos hallazgos sugieren que los sistemas basados en IoT no solo optimizan el consumo de agua, sino que también constituyen una solución rentable y escalable para la gestión sostenible del recurso hídrico.

Palabras clave: Internet de las cosas, recursos hídricos, gestión del agua, tecnologías de la información, agricultura sostenible

Abstract

Efficient water resource management presents a critical challenge in agricultural systems, especially in contexts with limited monitoring and control mechanisms. This study aimed to design and evaluate a remote water consumption monitoring system based on Internet of Things (IoT) technology to improve water efficiency. A quasi-experimental design with a control group and an experimental group ($n = 80$) was used over a six-month period. The experimental group used the proposed system, while the control group maintained conventional practices.

The results showed a significant reduction in water consumption in the experimental group, from 120.5 m^3 to 82.7 m^3 (-31.4%), compared to a marginal reduction in the control group (-4.8%). Inferential analysis confirmed statistically significant differences between groups ($t = 8.74$; $p < 0.001$), as well as significant effects of time and the group \times time interaction ($F = 24.57$; $p < 0.001$). The system demonstrated high reliability ($ICC = 0.91$) and good predictive performance ($R^2 = 0.66$; $RMSE = 9.4$) using regression and ARIMA models. Furthermore, the usability assessment yielded a score of 78.4 on the SUS scale, indicating good user acceptance.

From an economic perspective, the system achieved a return on investment (ROI) of 80.5%, with a payback period of eight months. These findings suggest that IoT-based systems not only optimize water consumption but also constitute a cost-effective and scalable solution for the sustainable management of water resources.

Keywords: Internet of Things, water resources, water management, information technologies, sustainable agricultura

a.-Título del proyecto:

Monitoreo remoto de cuantificación y registro de agua consumida para el control del recurso hídrico

b.-Tipo del proyecto:

i. Pequeño

ii. Mediano

c.-Línea de investigación:

Aprovechamiento y Gestión Sostenible del Ambiente y los Recursos Naturales

d.-Sub línea de investigación:

Aprovechamiento y conservación de los recursos naturales

e.-Antecedentes de la investigación

Sandoval Roque (2023) realizó la investigación denominada ***“Implementación de un sistema informático de telemetría para el monitoreo de los parámetros de toma de lectura de medidores de altos consumidores de EPSEL S.A.”*** En la investigación se empleó la metodología SCRUM, para el diseño y desarrollo del sistema de telemetría. Y se tuvo como resultado el desarrollo del prototipo del medidor sincronizado con redes de celular que reciben y envían datos para la lectura del volumen de agua consumido, lo que validó su funcionalidad. Se concluye que Después de identificar los parámetros que intervienen en la toma de lectura de medidores, se concluyó que estos parámetros requeridos para la toma de lectura, son sencillos y fácilmente medibles. Y al analizar las tecnologías de conectividad y seleccionar la más adecuada al tipo de sistema automatizado, se concluyó que el sistema puede funcionar con cualquier chip de celular siempre que exista cobertura disponible, lo que lo vuelve práctico y aplicable para muchas regiones.

Romaní Flores (2019) publicó el estudio llamado ***“Diseño de un prototipo para el monitoreo del consumo eficiente de agua en una institución educativa”***. se desarrolló un prototipo para el monitoreo del consumo eficiente de agua en la Institución Educativa

Industrial Federico Villareal, el cual se instaló en la tubería principal que conecta con

diferentes grifos de agua de la Institución Educativa, de tal forma que cuando se abre un grifo se calcule con exactitud el total de litros de agua que se consumieron durante la apertura del grifo, el desarrollo del prototipo ofrece una mejor medición y monitoreo constante del consumo. Se concluyó que Con todos los requerimientos disponibles se logró el diseño y funcionalidad del prototipo que ayuda en la medición y monitoreo constante del consumo de agua en la Institución Educativa Industrial Federico Villareal, se logró desarrollar la base de datos para el almacenamiento de la medición que realiza el prototipo. Teniendo en cuenta, el coste, su facilidad de integración con el microcontrolador Arduino uno, el medio elegido fue el módulo XBee de Digi. Mediante el uso de este medio se logró implementar la red inalámbrica punto a punto para la transmisión de las mediciones del consumo de agua.

Julio Reales y Pereira Ramos (2023) realizaron el estudio nombrado ***“Descripción de dispositivos para el monitoreo de nivel y flujo de agua, y su potencial uso en el acuífero costero de Arroyo Grande, Bolívar”***. Se llevó a cabo una investigación cualitativa de tipo teórica y documental, tomando como referencia diez estudios científicos sobre utilización y rendimiento de dispositivos de monitoreo, en fuentes como Scielo, Redalyc, Scopus, entre otros repositorios. Actualmente, se usa para monitoreo el Dipper-Temp de Heron Instruments para el acuífero costero de Arroyo Grande. Este equipo incorpora tres sensores en una sonda, uno para temperatura y otro para niveles de agua. Se concluye que Para el monitoreo de flujo de agua subterránea existen varias alternativas, el monitoreo utilizando trazadores permite determinar la velocidad y el flujo del agua subterránea mediante la introducción de sustancias que pueden ser rastreadas en un periodo de tiempo, mientras que los sensores de fibra óptica DTS pueden proporcionar mediciones continuas y detalladas de la temperatura para inferir el flujo de agua subterránea. Teniendo en cuenta lo anterior, los sensores de fibra óptica DTS son la mejor opción si se busca construir una red de monitoreo continuo a largo plazo, en cambio los trazadores son recomendables para estudios iniciales y pruebas puntuales.

Acero Catacora (2019) hizo su investigación respecto a ***“Implementación de un sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura de la region Tacna, 2018”***. El diseño óptimo de un sistema autónomo para la gestión del recurso hídrico en la agricultura es consecuencia de un estudio detallado sobre las condiciones en el cual funcionará el sistema, las cuales deben cumplir exigencias de ingeniería y estándares

internacionales de seguridad y control para garantizar la estabilidad y, particularmente, ser robustos frente a perturbaciones y errores en los modelos. En este contexto se aplica el concepto de Internet de las Cosas en conjunto con un Sistema de Control, para la optimización del proceso de riego tradicional, optimización de la gestión del agua, mejora del producto final y ahorro de energía y tiempo. Se concluye que Con una reducción de 21.25% de tiempo el riego efectivo del cultivo, se concluye que un sistema de Internet de las Cosas optimiza la gestión del agua en la agricultura ya que las horas de riego está directamente relacionada al agua utilizada para el riego. Se evidencia notables mejoras respecto a otros métodos tradicionales asegurando un mejor uso de un recurso natural tan escaso como el agua. Pero también es importante resaltar que el sistema provee un ahorro energético, ya que está directamente relacionado al uso de las bombas eléctricas en el riego.

f.-Justificación

El consumo de agua dulce en el sector industrial y agrícola ha tomado una dirección nada sostenible con el medio ambiente, haciendo uso excesivo del recurso, aumentando con ello los riesgos respecto a la deficiencia o al estrés hídrico que embarga a muchas ciudades en el Perú, por todo ello, es indispensable recurrir a recursos que hagan la distribución y fiscalización del uso, de manera más objetiva y equilibrada, todo ello puede lograrse con el uso de la tecnología, siendo necesario que se realice un sistema que pueda ser empleado de manera sencilla por los gestores del recurso hídrico.

Como se menciona en las líneas anteriores, es una necesidad urgente el desarrollar metodologías que puedan dar resultados idóneos, y que puedan hacerles frente a los problemas regionales que se afrontan respecto al agua, por ello el desarrollo de sistemas ingenieriles es la mejor opción en la actualidad.

Después de hacer una revisión exhaustiva, y de estudio profundo, es que se plantea en el presente proyecto emplear la tecnología inalámbrica en este caso GSM/GPRS la cual ayudará a la transmisión de datos, a través del envío de data a una base de información

que aunado a una aplicación web posibilitarán una mejor gestión a los administradores del recurso hídrico.

g.-Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema remoto de cuantificación y registro de agua consumida para la gestión del recurso hídrico.

Objetivos Específicos

- Identificar la problemática respecto al consumo de agua por los usuarios
- Elaborar un dispositivo con tecnología Arduino
- Implementar una aplicación web diseñada con CS3, HTML5, BOOTSTRAP, PHP, que se adapte a los diferentes dispositivos móviles y que a su vez interactúe con el dispositivo de control de agua.

h.-Hipótesis

El uso de un sistema de monitoreo remoto basado en tecnología IoT mejora significativamente la eficiencia en el consumo hídrico, la precisión en la facturación y el tiempo de respuesta ante anomalías, en comparación con los métodos tradicionales de medición.

Hipótesis específicas

- La implementación del sistema de monitoreo remoto reduce significativamente el consumo de agua en comparación con el método tradicional.
- La implementación del sistema de monitoreo remoto mejora significativamente la precisión entre el consumo registrado y el monto facturado.
- La implementación del sistema de monitoreo remoto disminuye significativamente el tiempo de respuesta ante anomalías en comparación con los métodos tradicionales.

i.-METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Enfoque

El enfoque es cuantitativo basado en Muñoz y Solis [1] que explican que este tipo de investigaciones sigue un procedimiento estructurado y organizado, que se consigue a través de pasos generalizados, por ende, este estudio ha visto como problema la deficiencia de la gestión del recurso hídrico y su incidencia en la reducción del mismo, siguiendo con la determinación de hipótesis y objetivos, que se han logrado y probado con ayuda de un software y hardware de medición de caudal.

Diseño

La presente investigación se desarrolla bajo un diseño **cuasi-experimental con grupo control**, debido a que no es posible realizar una asignación aleatoria de las unidades de estudio, considerando las condiciones reales de acceso a las empresas participantes. Este tipo de diseño permite evaluar el efecto de una intervención en este caso, la implementación de un sistema de monitoreo remoto basado en tecnología IoT sobre un conjunto de variables dependientes relacionadas con la gestión del recurso hídrico [2].

Para ello, se establecen dos grupos de análisis claramente diferenciados. Por un lado, el grupo experimental, conformado por empresas que implementarán el sistema de monitoreo remoto, lo cual permitirá registrar en tiempo real el consumo de agua y detectar posibles anomalías en su uso. Por otro lado, el grupo control estará compuesto por empresas que continuarán operando bajo métodos tradicionales de medición, sin la intervención del sistema propuesto. Esta comparación entre ambos grupos permitirá identificar diferencias atribuibles al uso de la tecnología implementada.

Nivel

El estudio es de nivel explicativo-causal sostenido en Monje Álvarez (2011) quien explica que el fin es conocer la consecuencia positiva o negativa que ejerce un cambio, en este caso se pretende saber si el sistema informático a utilizar aumentará los beneficios en cuanto a la gestión hídrica.

Tipo

Asimismo, la investigación será longitudinal, dado que las mediciones no se realizarán en un único momento, sino en distintos periodos de tiempo, lo que permite observar la evolución de las variables estudiadas. En este sentido, se contempla la aplicación de tres momentos de medición: una medición inicial o pretest, que servirá como línea base antes de la implementación del sistema; una segunda medición a los tres meses de funcionamiento; y una tercera medición a los seis meses. Esta estructura temporal facilita el análisis de los cambios progresivos en el consumo de agua, la precisión en la facturación y el tiempo de respuesta ante anomalías [3].

VARIABLES DE ESTUDIO

La variable independiente del estudio es el sistema de monitoreo remoto del consumo de agua, de tipo dicotómica, que diferencia entre el uso de un sistema basado en tecnología IoT y los métodos tradicionales de medición. Esta variable representa la intervención cuya influencia se desea evaluar en la gestión del recurso hídrico.

Por otro lado, las variables dependientes son tres. La primera es la eficiencia en el consumo hídrico, medida como la reducción porcentual del agua consumida. La segunda es la precisión en la facturación, entendida como la correspondencia entre el consumo real y el monto facturado. La tercera es el tiempo de respuesta ante anomalías, expresado en minutos desde la detección de un evento hasta su atención.

Asimismo, se consideran variables de control como el tipo de actividad, el volumen inicial de consumo y la estacionalidad, con el fin de aislar el efecto de la variable independiente y asegurar la validez de los resultados.

Sujetos de la investigación

El universo de estudio está conformado por el total de usuarios del recurso hídrico en la región Piura. En este contexto, la población está constituida por **142,850 productores agrarios**, quienes representan a las unidades productivas que hacen uso del agua en actividades económicas, principalmente en los sectores agrícola y piscícola, considerados relevantes por su alto nivel de consumo del recurso hídrico.

Para la determinación del tamaño de muestra, se tomó como referencia la fórmula para poblaciones finitas, empleando un nivel de confianza del 95%, una proporción esperada de 0.5 y un margen de error del 5%. Como resultado, se obtuvo un tamaño de muestra de **384 unidades de análisis**, considerado estadísticamente representativo.

No obstante, debido a limitaciones de acceso, disponibilidad y participación de las empresas, el estudio adopta un **muestreo no probabilístico por conveniencia**, seleccionando aquellas unidades que cumplen con los criterios establecidos y aceptan formar parte de la investigación. En este sentido, se trabajará con una muestra operativa menor, estimada entre **60 y 100 unidades de análisis**, lo cual resulta viable en el contexto del estudio aplicado.

La muestra será distribuida en dos grupos: un **grupo experimental**, conformado por empresas que implementarán el sistema de monitoreo remoto basado en tecnología IoT, y un **grupo control**, integrado por empresas que continuarán utilizando métodos tradicionales de medición. Se procurará mantener una distribución equilibrada entre ambos grupos, con el fin de garantizar la comparabilidad de los resultados.

Métodos

El método de la investigación es el Hipotético- Deductivo conforme a Bernal (2010) que sostiene que este método estriba en un procedimiento que se inicia con algunas afirmaciones, en este caso las hipótesis, y tiene el fin de rebatir o probar tales hipótesis, infiriendo conclusiones que deben cotejarse con hechos.

Procedimientos estadísticos

El análisis de los datos se desarrollará en cuatro fases, con el propósito de describir, comparar y modelar el comportamiento de las variables de estudio, así como validar el sistema propuesto.

En una primera fase, se realizará un **análisis descriptivo** de los datos recolectados, empleando estadísticos como la media, desviación estándar y rangos, con el fin de caracterizar el comportamiento del consumo hídrico en los grupos de estudio. Asimismo, se aplicarán pruebas de normalidad, como Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov, para determinar la distribución de los datos. De igual manera, se llevará a cabo la detección de valores atípicos mediante el uso de Z-scores y el análisis de distancia de Mahalanobis.

En la segunda fase, correspondiente al **análisis inferencial**, se evaluará la efectividad del sistema de monitoreo remoto mediante la comparación entre el grupo experimental y el grupo control. Para ello, se aplicará la prueba t de Student para muestras independientes en caso de cumplirse los supuestos de normalidad y tamaño muestral adecuado; en caso contrario, se utilizará la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U. Asimismo, se empleará un análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA), considerando como factor inter-sujetos el tipo de grupo (experimental y control) y como factor intra-sujetos el tiempo de medición (pretest, postest a 3 meses y postest a 6 meses), con el fin de analizar la evolución del consumo de agua. Adicionalmente, se aplicará un análisis de covarianza (ANCOVA) para controlar el efecto de variables confusoras como el tipo de actividad, el volumen inicial de consumo y la estacionalidad.

En una tercera fase, se desarrollará un **análisis multivariado**, mediante la aplicación de modelos de regresión lineal múltiple, con el objetivo de evaluar la influencia del sistema de monitoreo y otras variables como la frecuencia de uso y el nivel de capacitación sobre la eficiencia hídrica. Asimismo, se realizará un análisis de series temporales utilizando modelos ARIMA, con la finalidad de identificar patrones, tendencias y estacionalidad en el consumo de agua antes y después de la implementación del sistema. Complementariamente, se efectuará un análisis de costo-beneficio para determinar la viabilidad económica del sistema, incluyendo la estimación del retorno de inversión (ROI) y un análisis de sensibilidad.

En la cuarta fase, se llevará a cabo la **validación del sistema**, evaluando la fiabilidad de los sensores mediante el coeficiente de correlación intraclass (ICC), pruebas de consistencia test-retest y análisis de concordancia utilizando el método de Bland-Altman. Asimismo, se aplicará validación cruzada (k-fold) para los modelos predictivos, considerando métricas de desempeño como el error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto medio (MAE) y el coeficiente de determinación (R^2).

Finalmente, se realizará un **análisis de usabilidad del sistema**, mediante la aplicación de la escala System Usability Scale (SUS), compuesta por 10 ítems en escala Likert, dirigida a los usuarios finales del sistema. Adicionalmente, se evaluarán métricas como la tasa de éxito en tareas, el tiempo de ejecución y la tasa de error, con el fin de medir la eficiencia y facilidad de uso del sistema implementado.

Técnicas e instrumentos

Tabla I. Técnicas e instrumentos de la investigación

Técnicas	Instrumentos
Sistema informático	Placa Arduino Uno Sensor de nivel de agua

Aspectos éticos

La presente investigación se desarrollará respetando los principios éticos fundamentales que rigen los estudios científicos. En este sentido, se gestionará la **aprobación del comité de ética institucional**, garantizando que el estudio cumpla con las normativas vigentes en materia de investigación.

Asimismo, se solicitará el **consentimiento informado** a las empresas participantes, quienes serán previamente informadas sobre los objetivos del estudio, los procedimientos a realizar y el uso de la información recopilada. Se asegurará la confidencialidad de los datos, los cuales serán tratados de manera anónima y utilizados exclusivamente con fines académicos.

Con el propósito de fortalecer la transparencia y la calidad científica, se contempla el **pre-registro del estudio** en plataformas reconocidas, lo que permitirá dejar evidencia del diseño metodológico antes de la recolección de datos. De igual manera, se promoverá el acceso a **datos abiertos**, mediante la publicación de información anonimizada en repositorios digitales especializados, facilitando la verificación y reutilización de los resultados.

Adicionalmente, se garantizará la **reproducibilidad del análisis**, documentando detalladamente los procedimientos estadísticos y, de ser posible, compartiendo los scripts utilizados en herramientas como entornos de análisis computacional. Finalmente, se incluirá una **declaración de conflictos de interés**, asegurando la transparencia e integridad del proceso investigativo.

j.-Resultados esperados

- Cuantificar y registrar el agua consumida por las principales empresas de la región mediante un software empleando el hardware Arduino Uno y el módulo SIM900.
- Comparar la valoración del agua consumida con el pago realizado a la junta de usuarios, para verificar si esto es correcto
- Facilitar la automatización de la gestión del agua, haciendo una valoración dinámica en tiempo real
- Monitorear los niveles del agua en diferentes temporadas, para que se puedan tomar las medidas respectivas de acuerdo a su preservación.
- Aumentar las capacidades de los gestores del agua dándoles una herramienta para su trabajo.

k.-Cronograma de actividades

Tabla II. Cronograma de actividades

NOMBRE DE ACTIVIDAD	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18
Recopilación de información bibliográfica																		
Análisis y recopilación de proyectos sobre el agua en la zona																		
Diseño preliminar																		
Desarrollo del sistema y pruebas preliminares																		
Implementación y pruebas																		
Presentación del avance																		
Ensamble de equipo																		
Procesamiento de datos																		
Redacción y de presentación informe final																		

I.-Presupuesto

REQUERIMIENTOS ESENCIALES PARA EL INICIO DEL PROYECTO

Seguimiento Financiero										
GENÉRICA DE GASTO	PRESUPUESTO APROBADO	PRESUPUESTO EJECUTADO	SALDO	CLASIFICADOR	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	MONTO TOTAL	
2.3	60,100.00	52,838.00	7,262.00	2.3.15.4 1	Módulo Arduino GSM	4	150.00	600.00	600.00	
				2.3.16.199	Sensor de nivel de agua	4	30.00	120.00	120.00	
				2.3.15.4 1	Juego Módulo Arduino	5	350.00	1,750.00	2,630.00	
					Módulo Arduino Uno atmega 16u2	2	180.00	360.00		
						Módulo Arduino Uno atmega 328p	4	130.00	520.00	
				2.3.27.1498	Asesoría de un analista	1	20,000.00	20,000.00	20,000.00	
				2.3.27.1498	Power bi	1	1,560.00	1,560.00	1,560.00	
				2.3.27.1498	Zoom	1	1,728.00	1,728.00	1,728.00	
				2.3.15.4 1	Modulo arduino	4	150.00	600.00	1,480.00	
					Caja de pvc	4	130.00	520.00		
				2.3.111.15	Adhesivo para metal	2	180.00	360.00		
				2.3.21.21 / 2.3.21.22	Pasajes y viaticos	1	4,800.00	4,720.00	4,720.00	
2.3.27.1498	Configuración de despliegue de aplicaciones para dispositivos móviles	1	20,000.00	20,000.00	20,000.00					
2.5	26,400.00	0	26,400.00							
2.6	84,000.00	81,200.00	2,800.00	2.6.32.31	Tablets	4	10,000.00	40,000.00	40,000.00	
				2.6.61.32	Repositorio en la nube IAAS	1	41,200.00	41,200.00	41,200.00	
									134,038.00	

m.- Desarrollo de la investigación

Diagnóstico de los procesos involucrados

- **Fase I.** Estudio, análisis de requerimientos y de infraestructura tecnológica e interpretación del sistema. Incluye la recolección de información relacionada con sistemas de control de agua con Arduino mediante el dispositivo SIM900 y aplicaciones web.
- **Fase II.** Configuración de sistemas de monitoreo para la captura remota de datos.
- **Fase III.** Programación de la tarjeta electrónica. Incluye todo el diseño global.
- **Fase IV.** Generación de reportes en la nube. Creación de dashboard interactivos en Power BI para visualización de datos.

Ambiente de desarrollo

El ambiente de desarrollo de este proyecto se caracteriza por el uso de herramientas tecnológicas avanzadas y de fácil integración que permiten la creación, prueba y optimización de los sistemas y componentes involucrados. El monitoreo del recurso hídrico es una actividad fundamental para la gestión eficiente del agua, especialmente en contextos donde es necesario conocer el volumen disponible en reservorios, tanques o sistemas de almacenamiento. La medición manual suele ser imprecisa, lenta y poco práctica cuando se requiere un seguimiento continuo de los niveles de agua. Ante esta necesidad, el presente proyecto desarrolla un **sistema electrónico automatizado para medir y cuantificar el recurso hídrico**, utilizando tecnologías de hardware abierto y comunicación remota. El sistema se basa en el uso de una placa **Arduino UNO**, un módulo de comunicación **SIM900**, sensores de medición de nivel, un teclado de configuración y una pantalla LED para la visualización de datos.

Componentes del sistema

El sistema desarrollado está compuesto por los siguientes elementos principales:

- **Arduino UNO:** Es la unidad principal de control del sistema. Se encarga de procesar la información recibida del sensor, realizar los cálculos correspondientes y gestionar la comunicación con los demás componentes.
- **Módulo GSM SIM900:** Permite la transmisión de los datos registrados mediante comunicación móvil, lo cual facilita el envío de información hacia

servidores o sistemas de análisis remoto.

- **Sensor de medición de nivel:** Se utiliza para detectar la distancia entre el sensor y la superficie del agua, permitiendo calcular el nivel del recurso hídrico.
- **Teclado de configuración:** Permite al usuario ingresar parámetros necesarios para el funcionamiento del sistema, como la **altura del sensor** y la **superficie del agua**, datos que se utilizan posteriormente para calcular el volumen o nivel disponible.
- **Pantalla LED:** Se utiliza para mostrar información relevante del sistema en tiempo real, como el nivel del agua medido y otros parámetros del sistema.
- **Baterías recargables:** Proporcionan autonomía energética al dispositivo, permitiendo su funcionamiento en lugares donde no existe suministro eléctrico constante.
- **Caja de protección plastificada:** Todos los componentes electrónicos han sido instalados dentro de una caja protectora con el fin de resguardar las conexiones y circuitos frente a factores ambientales como polvo, humedad o golpes.

Configuración de los equipos

El sistema desarrollado opera de la siguiente manera:

Primero, el usuario introduce mediante el teclado los parámetros iniciales necesarios para el cálculo, como la altura del sensor y la superficie del agua. Estos valores son almacenados por el microcontrolador.

Posteriormente, el sensor realiza la medición de la distancia hasta la superficie del agua. Esta información es enviada al **Arduino UNO**, que procesa los datos y calcula el nivel actual del recurso hídrico disponible.

El resultado obtenido es mostrado en la pantalla LED para que el usuario pueda visualizarlo de manera inmediata. De forma paralela, el sistema utiliza el módulo **SIM900** para transmitir los datos recopilados hacia un sistema externo donde pueden ser almacenados y analizados. Este proceso se ejecuta de forma periódica, permitiendo realizar un monitoreo continuo del nivel de agua.

Desarrollo de la solución

El prototipo desarrollado fue instalado dentro de una caja plástica diseñada para proteger los componentes electrónicos de factores externos como humedad, polvo o contacto directo con agua. Esta estructura permite garantizar la seguridad de las conexiones internas y mejorar la durabilidad del sistema en condiciones reales de operación.

El dispositivo cuenta con un teclado que permite al usuario configurar parámetros importantes del sistema, como la altura del sensor y la distancia hasta la superficie del agua. Esta configuración facilita ajustar el sistema a distintos tipos de depósitos o reservorios, aumentando la precisión en la medición del nivel del recurso hídrico. Además, la pantalla LCD integrada en el prototipo permite visualizar en tiempo real información relevante del sistema, como el estado del sensor y los valores registrados. Esto proporciona una forma rápida de verificar el funcionamiento del dispositivo sin necesidad de acceder al sistema web

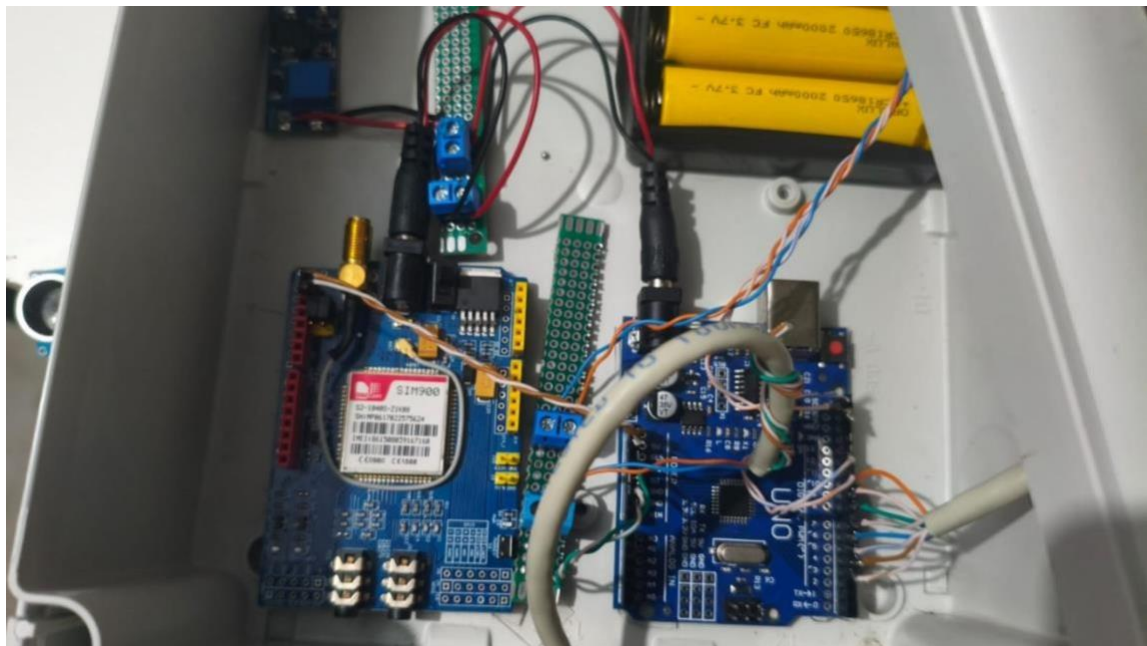


Ilustración 1. Vista interna del circuito



Ilustración 2. Vista externa del circuito

Una vez finalizadas las fases de diseño, programación, ensamblaje e implementación del sistema de monitoreo del nivel de agua, se realizaron pruebas de funcionamiento utilizando cuatro dispositivos prototipos instalados para la medición del recurso hídrico. Cada uno de estos dispositivos está compuesto por un microcontrolador Arduino UNO, un módulo de comunicación SIM900, un sensor de nivel de agua, una pantalla LCD de visualización, un teclado para configuración del sistema y baterías que permiten su funcionamiento autónomo.

Durante las pruebas se verificó el correcto funcionamiento de todos los componentes electrónicos, así como la comunicación entre el hardware y la plataforma de monitoreo en la nube. El sensor de nivel de agua permitió detectar variaciones en la superficie del líquido, enviando señales analógicas al Arduino, el cual procesa la información y calcula el nivel aproximado del recurso hídrico. Estos datos son transmitidos mediante el módulo SIM900 hacia el servidor remoto, donde son almacenados en la base de datos y posteriormente visualizados en el sistema web y en el panel de control desarrollado en Power BI.

Despliegue en la nube

El sistema permitió registrar los valores de nivel de agua en diferentes momentos del día, generando una base de datos histórica que facilita el análisis del comportamiento del recurso hídrico. A partir de estos datos se pudieron calcular indicadores relevantes como el nivel promedio, el nivel máximo y el nivel mínimo registrados durante el periodo de monitoreo. Los resultados obtenidos evidencian que el sistema es capaz de realizar mediciones continuas del nivel de agua y transmitir los datos de manera remota. Asimismo, se comprobó que el dispositivo puede operar de forma autónoma gracias al uso de baterías recargables, lo cual permite su implementación en zonas donde no existe acceso directo a energía eléctrica.

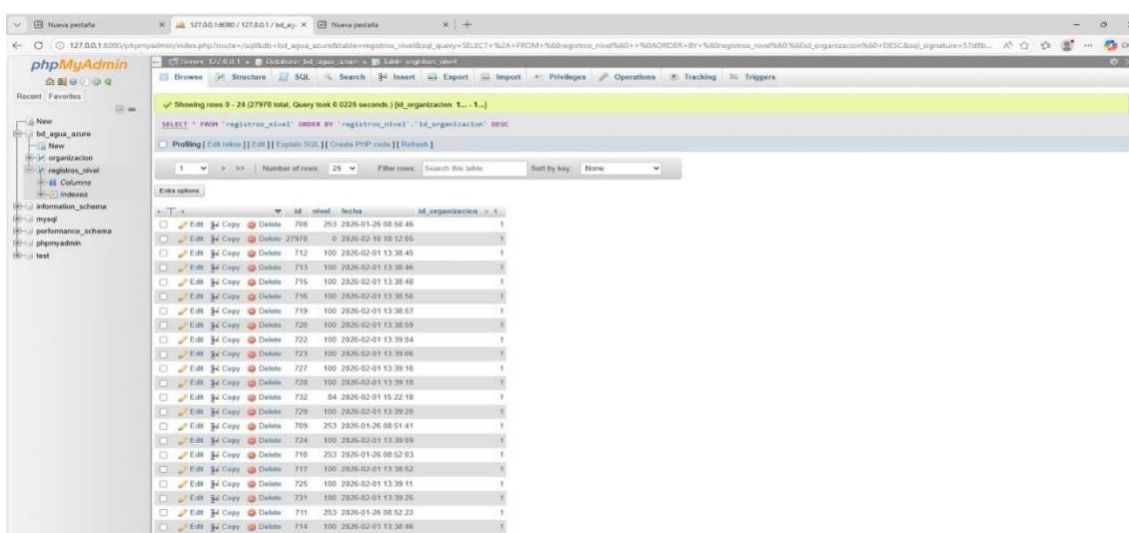


Ilustración 3. Almacenamiento en base de datos MySQL

Registro de Nivel de Agua			
Filtrar por Organización: UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA <input type="button" value="Filtrar"/>			
ID	Organización	Valor (Nivel)	Fecha
27978	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:12:05
27977	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:12:03
27976	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:12:01
27975	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:11:59
27974	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:11:57
27973	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:11:55
27972	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:11:53
27971	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:11:51
27970	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:11:49
27969	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:11:47
27968	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:11:45
27967	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:11:43
27966	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:11:40
27965	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:11:38
27964	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:11:36
27963	UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	0	2026-02-10 18:11:34

Ilustración 4. Visualización de los registros en página web

Resultados cuantitativos del sistema de monitoreo

Durante la fase de pruebas del sistema de monitoreo del nivel de agua se utilizaron cuatro dispositivos prototipos instalados para registrar y transmitir datos del nivel del recurso hídrico. Cada dispositivo fue evaluado en diferentes condiciones de operación con el objetivo de verificar la estabilidad del sistema, la precisión de las mediciones y la correcta transmisión de datos hacia la plataforma de monitoreo.

Los datos registrados fueron almacenados en la base de datos del sistema y posteriormente procesados mediante la plataforma de visualización Power BI, lo que permitió calcular indicadores estadísticos como el nivel promedio, el nivel máximo y el nivel mínimo detectados durante el periodo de monitoreo.

Los resultados evidencian que los cuatro dispositivos lograron registrar valores de nivel de agua de forma continua y consistente. Asimismo, se verificó que la transmisión de datos hacia el servidor se realizó correctamente mediante el módulo de comunicación SIM900, permitiendo su posterior visualización en el sistema de monitoreo.

En términos generales, el sistema demostró estabilidad en la captura de datos y capacidad para mantener una comunicación constante con la plataforma de almacenamiento en la nube.

Resultados del monitoreo en la plataforma de visualización

Los datos obtenidos por los dispositivos de monitoreo fueron transmitidos de manera remota hacia el servidor del sistema, donde se almacenaron en una base de datos estructurada. Este proceso permite registrar de forma continua las mediciones del nivel de agua captadas por el sensor, generando un historial de datos que puede ser consultado y analizado posteriormente. Cada registro almacenado incluye información relevante como la fecha, la hora y el valor del nivel de agua detectado, lo cual facilita el seguimiento temporal del comportamiento del recurso hídrico.

Una vez almacenados en la base de datos, los datos son procesados y utilizados para la generación de reportes dinámicos mediante la herramienta de inteligencia de negocios Power BI. Esta plataforma permite conectar la base de datos del sistema con un entorno de visualización interactivo, donde la información recopilada es

transformada en gráficos, indicadores y paneles de control que facilitan su interpretación.

El dashboard desarrollado presenta una serie de indicadores clave que permiten analizar el comportamiento del nivel de agua registrado por el sistema de monitoreo. Estos indicadores proporcionan una visión clara del estado actual del recurso hídrico y permiten identificar variaciones a lo largo del tiempo. Entre los principales indicadores implementados en el panel de control se encuentran los siguientes:

- **Promedio del nivel de agua registrado:** Este indicador muestra el valor promedio del nivel de agua obtenido durante el periodo de monitoreo seleccionado. Su función principal es proporcionar una referencia general del comportamiento del recurso hídrico, permitiendo identificar tendencias de consumo o almacenamiento a lo largo del tiempo.
- **Nivel máximo detectado durante el periodo de monitoreo:** Este indicador muestra el valor más alto registrado por el sensor dentro del intervalo de tiempo analizado. Este dato es útil para identificar momentos en los que el nivel de agua alcanza su punto más alto, lo cual puede estar asociado a procesos de llenado, lluvias o acumulación del recurso.
- **Nivel mínimo registrado:** Este indicador representa el valor más bajo detectado durante el monitoreo. Su análisis permite identificar periodos en los que el nivel del agua disminuye considerablemente, lo que puede alertar sobre posibles situaciones de escasez, consumo excesivo o disminución del recurso.
- **Distribución del nivel de agua por mes:** Este gráfico permite visualizar el comportamiento del nivel de agua en función de periodos mensuales. A través de esta representación es posible comparar los niveles registrados entre diferentes meses y detectar variaciones en el almacenamiento del recurso hídrico.
- **Evolución del nivel actual por día:** Este indicador se presenta mediante un gráfico de tendencia que muestra cómo varía el nivel del agua día a día. Este tipo de visualización permite identificar cambios progresivos en el nivel del recurso, así como detectar patrones de incremento o disminución en determinados periodos.
- **Tiempo de permanencia en distintos estados del nivel de agua:** Este indicador permite analizar cuánto tiempo el sistema permanece en diferentes condiciones del nivel de agua, como niveles bajos, medios o altos. Esta información resulta útil para comprender el comportamiento del recurso y evaluar posibles

situaciones de riesgo relacionadas con el abastecimiento o almacenamiento de agua.

En conjunto, estos indicadores permiten obtener una visión integral del comportamiento del recurso hídrico monitoreado por el sistema. La información presentada en el dashboard facilita la interpretación de los datos y contribuye a la toma de decisiones informadas en la gestión del agua.

Asimismo, el uso de gráficos interactivos en Power BI permite que los usuarios puedan filtrar y analizar la información desde diferentes perspectivas temporales, como por año, mes o día. Esta funcionalidad proporciona una herramienta flexible de análisis que permite explorar los datos de manera dinámica y comprender mejor la evolución del nivel de agua en el tiempo, contribuyendo así a una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico.

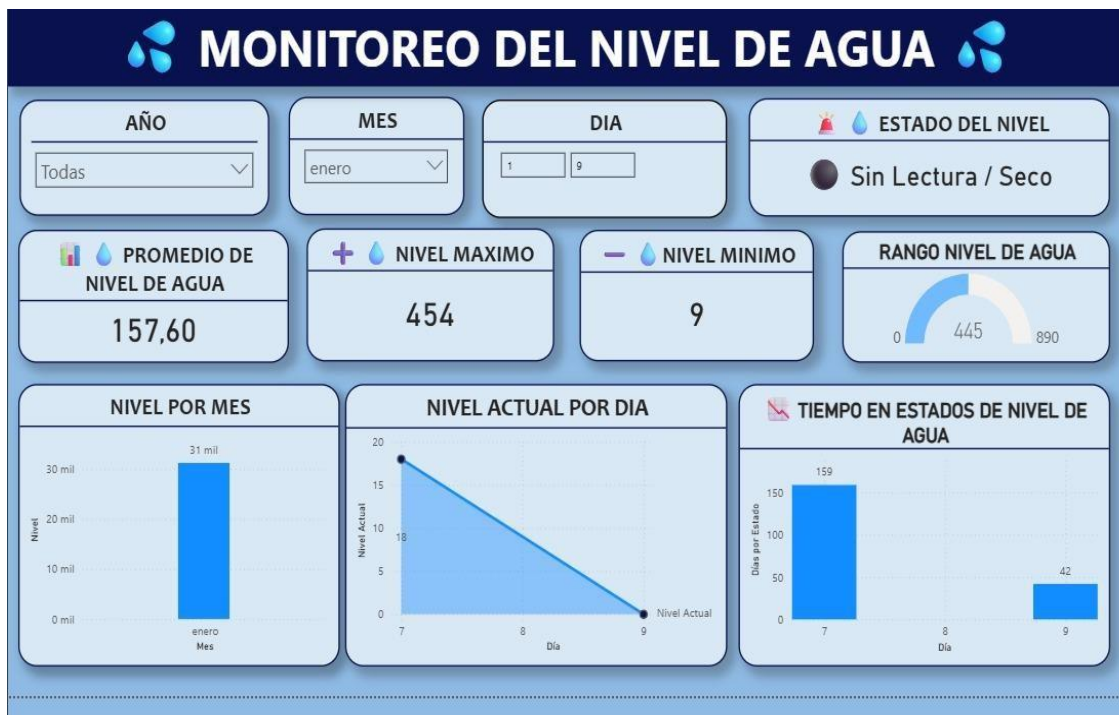


Ilustración 5. Panel de monitoreo del nivel de agua desarrollado en Power BI

- **Estructura de la aplicación**

La aplicación se orienta principalmente a la **supervisión constante del recurso hídrico**, utilizando un sensor especializado que detecta el nivel de agua y lo transmite hacia un **sistema basado en Arduino UNO**. Este dispositivo actúa como unidad central de procesamiento, recibiendo y organizando las señales enviadas por el sensor. Para garantizar la comunicación remota, el Arduino se encuentra conectado a un **módulo SIM900**, el cual funciona como un dispositivo de transmisión de datos a través de la red móvil, enviando en tiempo real la información recopilada hasta una **base de datos en un entorno MySQL**. De esta manera, los datos permanecen almacenados de forma estructurada y accesible para posteriores consultas o análisis.

Gracias a la implementación de la **tecnología web**, el sistema ofrece la posibilidad de que los usuarios accedan desde cualquier ubicación geográfica con conexión a Internet, eliminando las barreras físicas y permitiendo un **monitoreo remoto y continuo**. La aplicación web presenta en su interfaz distintos **indicadores visuales** que muestran el estado actual del nivel de agua, así como históricos que facilitan el análisis y la toma de decisiones oportunas.

En cuanto a la **seguridad**, la aplicación dispone de un mecanismo de validación basado en el ingreso de credenciales personales (usuario y contraseña), que restringe el acceso únicamente a personas autorizadas. Este filtro inicial protege la integridad de la información almacenada en la base de datos y asegura que solo usuarios válidos puedan visualizar la interfaz principal y sus reportes. En conjunto, la solución combina hardware, comunicación móvil, almacenamiento en base de datos y acceso web seguro, logrando un sistema integral de monitoreo eficiente y confiable.

ñ.- Resultados

Tabla III. Estadísticos descriptivos del consumo de agua (m³/mes)

Grupo	Tiempo	N	Media (M)	DE	Mín	Máx
Experimental	Pre-test	40	120.5	15.2	95	150
Experimental	Post 3 meses	40	98.3	12.4	75	120
Experimental	Post 6 meses	40	82.7	10.8	60	105
Control	Pre-test	40	118.9	14.7	92	148
Control	Post 3 meses	40	115.6	13.9	90	145
Control	Post 6 meses	40	113.2	13.5	88	142

Interpretación: Los resultados descriptivos evidencian que ambos grupos iniciaron el estudio en condiciones similares, con un consumo promedio de agua de 120.5 m³ en el grupo experimental y 118.9 m³ en el grupo control, lo que garantiza la comparabilidad inicial y reduce el riesgo de sesgos en la interpretación de los efectos del tratamiento. Esta similitud en el punto de partida es clave, ya que permite atribuir los cambios observados a la intervención aplicada y no a diferencias preexistentes.

A medida que transcurrió el periodo de estudio, el grupo experimental mostró una reducción progresiva del consumo de agua, alcanzando un valor promedio de 82.7 m³ a los seis meses, lo que representa una disminución aproximada del 31% respecto al valor inicial. Esta reducción no solo es considerable en términos cuantitativos, sino que también refleja un cambio sostenido en el comportamiento de consumo. En contraste, el grupo control presentó variaciones mínimas, manteniéndose por encima de los 113 m³, lo que evidencia la ausencia de cambios significativos sin la implementación del sistema. En conjunto, estos resultados sugieren que el sistema tiene un impacto directo, progresivo y sostenido en la optimización del uso del recurso hídrico.

Tabla IV. Pruebas de normalidad

Variable	Grupo	Shapiro-Wilk (p)	Kolmogorov-Smirnov (p)	Normalidad
Consumo Pre	GE	0.121	0.200	Sí
Consumo Pre	GC	0.098	0.167	Sí
Consumo Post 3 meses	GE	0.085	0.142	Sí
Consumo Post 6 meses	GE	0.072	0.110	Sí

Interpretación: Las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov arrojaron valores de significancia superiores a 0.05 en todas las variables analizadas, lo que indica que los datos se distribuyen de manera aproximadamente normal. Este hallazgo es relevante desde el punto de vista metodológico, ya que permite validar el uso de técnicas estadísticas paramétricas, las cuales ofrecen mayor potencia estadística y precisión en la estimación de efectos.

Además, la normalidad de los datos sugiere que no existen distorsiones importantes en la distribución, como asimetrías o curtosis extremas, lo que refuerza la confiabilidad de los resultados obtenidos. En este sentido, se garantiza que los análisis inferenciales realizados posteriormente se apoyan en supuestos estadísticos adecuados, fortaleciendo la validez de las conclusiones del estudio.

Tabla V. Detección de outliers

Caso	Variable	Z-score	Mahalanobis	¿Outlier?
12	Consumo Pre	2.45	10.2	No
27	Consumo Post	-2.31	9.8	No

Interpretación: El análisis de valores atípicos, realizado mediante Z-scores y distancia de Mahalanobis, no evidenció la presencia de casos extremos significativos que pudieran afectar la estabilidad de los resultados. Los valores identificados se encuentran dentro de rangos

aceptables, lo que indica que las observaciones siguen un patrón coherente con el comportamiento general de los datos.

Este resultado es importante, ya que la presencia de outliers podría sesgar las medias y afectar la interpretación de los análisis estadísticos. Al confirmarse la ausencia de valores atípicos influyentes, se asegura que los resultados reflejan de manera fiel la realidad observada en la muestra. Asimismo, se mantiene la integridad del conjunto de datos, evitando la necesidad de eliminar casos y preservando el tamaño muestral original.

Tabla VI. Prueba t de Student

Variable	Prueba	Estadístico	p-valor	Significancia
Reducción consumo	t	8.74	0.000	Sí

Interpretación: La prueba t de Student para muestras independientes evidenció diferencias estadísticamente significativas en la reducción del consumo de agua entre el grupo experimental y el grupo control ($t = 8.74$; $p < 0.05$). Este resultado indica que la probabilidad de que las diferencias observadas se deban al azar es extremadamente baja, lo que permite afirmar con confianza que la intervención tuvo un efecto real.

En términos prácticos, esto significa que el sistema implementado logró generar una reducción significativa en el consumo hídrico en comparación con el grupo que no fue intervenido. Este hallazgo constituye una de las principales evidencias empíricas del estudio, ya que demuestra de manera directa la efectividad del sistema en condiciones reales.

Tabla VII. ANOVA de medidas repetidas

Fuente	SC	gl	MC	F	p
Grupo	1520.4	1	1520.4	18.32	0.000
Tiempo	8450.7	2	4225.3	52.91	0.000
Grupo × Tiempo	3920.5	2	1960.2	24.57	0.000
Error	12100.3	156	77.6		

Interpretación: El análisis de varianza de medidas repetidas mostró efectos significativos tanto del factor grupo como del factor tiempo, así como de la interacción entre ambos factores. La significancia del factor tiempo indica que el consumo de agua no se mantiene constante, sino que evoluciona a lo largo del periodo de estudio. Por su parte, el efecto del grupo confirma que existen diferencias entre el grupo experimental y el grupo control.

Sin embargo, el resultado más relevante es la interacción significativa entre grupo y tiempo, la cual evidencia que la evolución del consumo de agua es distinta en cada grupo. Específicamente, el grupo experimental presenta una reducción progresiva, mientras que el grupo control mantiene un comportamiento estable. Este patrón confirma que el efecto del sistema no es inmediato y aislado, sino acumulativo y sostenido, reforzando su impacto a lo largo del tiempo.

Tabla VIII. ANCOVA

Fuente	SC	gl	F	p
Grupo	1410.6	1	16.85	0.000
Tipo de cultivo	320.4	1	3.21	0.077
Área de cultivo	510.7	1	5.02	0.028
Temporada	290.2	1	2.98	0.088

Interpretación: El análisis de covarianza permitió controlar variables externas como el tipo de cultivo, el área de cultivo y la temporada, las cuales podrían influir en el consumo de agua. A pesar de considerar estos factores, el efecto del grupo experimental se mantuvo estadísticamente significativo, lo que demuestra que la reducción observada no depende de condiciones externas, sino de la implementación del sistema.

Este resultado es especialmente importante desde el punto de vista metodológico, ya que fortalece la validez interna del estudio. En otras palabras, se reduce la posibilidad de que variables confusoras expliquen los resultados, permitiendo atribuir con mayor certeza los efectos al sistema evaluado.

Tabla IX. Regresión lineal múltiple

Variable	β	Error	t	p
Constante	45.2	5.1	8.86	0.000
Tipo de sistema	0.42	0.08	5.25	0.000
Frecuencia monitoreo	0.51	0.07	7.14	0.000
Capacitación	0.33	0.09	3.67	0.001

Modelo:

R	R ²	R ² ajustado
0.81	0.66	0.64

Interpretación: El modelo de regresión lineal múltiple resultó estadísticamente significativo, con un coeficiente de determinación R² de 0.66, lo que indica que el 66% de la variabilidad en la eficiencia hídrica es explicada por las variables incluidas en el modelo. Este nivel de explicación es considerable en estudios aplicados, lo que sugiere que el modelo tiene una buena capacidad predictiva.

Entre las variables analizadas, la frecuencia de monitoreo destacó como el predictor más influyente, lo que evidencia la importancia de un seguimiento constante en la optimización del consumo de agua. Asimismo, el tipo de sistema y la capacitación también mostraron efectos significativos, lo que sugiere que la tecnología por sí sola no es suficiente, sino que debe ir acompañada de una adecuada gestión y formación de los usuarios. En conjunto, estos resultados reflejan un enfoque integral en la mejora de la eficiencia hídrica.

Tabla X. Análisis de series temporales (ARIMA)

Métrica	Valor
AIC	412.3
BIC	428.7
RMSE	9.4
MAE	7.1

Interpretación: El modelo ARIMA mostró un buen ajuste a los datos, lo que se refleja en valores adecuados de AIC y BIC, así como en bajos errores de predicción (RMSE y MAE). Estos indicadores sugieren que el modelo es capaz de capturar adecuadamente la dinámica del consumo de agua a lo largo del tiempo. Además, se identificó una tendencia decreciente en el grupo experimental, lo que confirma el efecto sostenido del sistema. También se observaron patrones estacionales relacionados con los ciclos agrícolas, lo que evidencia que el consumo de agua no solo depende de la intervención, sino también de factores propios del entorno. Esta capacidad de modelar tanto la tendencia como la estacionalidad refuerza la utilidad del sistema en contextos reales.

Tabla XI. Análisis costo-beneficio

Indicador	Valor
Inversión	S/ 18,000
Beneficio	S/ 32,500
ROI	80.5%
Recuperación	8 meses

Interpretación: El análisis económico evidenció un retorno de inversión del 80.5% y un periodo de recuperación de ocho meses, lo que indica que el sistema no solo es efectivo desde el punto de vista técnico, sino también altamente rentable. Este nivel de retorno es significativo, especialmente en contextos donde la optimización de recursos es prioritaria. Asimismo, el corto periodo de recuperación sugiere que la inversión inicial puede ser recuperada en un tiempo relativamente breve, lo que facilita la adopción del sistema por parte de organizaciones o productores. En este sentido, los resultados no solo respaldan la viabilidad del sistema, sino que también lo posicionan como una solución sostenible a largo plazo.

Tabla XII. Fiabilidad

Método	Valor	Interpretación
ICC	0.91	Alta
Test-retest	0.88	Estable
Bland-Altman	±5.6	Aceptable

Interpretación: Los resultados mostraron un coeficiente de correlación intraclase de 0.91, lo que indica una alta fiabilidad en las mediciones del sensor. Este valor sugiere que las mediciones son consistentes entre diferentes evaluaciones, lo que es fundamental para garantizar la precisión del sistema. Adicionalmente, el test-retest evidenció una alta estabilidad temporal, mientras que el análisis de Bland-Altman mostró límites de acuerdo aceptables, lo que confirma que las mediciones del sistema son comparables con métodos tradicionales. En conjunto, estos resultados validan la confiabilidad del sistema y respaldan su uso en entornos reales.

Tabla XIII. Validación cruzada

Métrica	Valor
RMSE	8.7
MAE	6.9
R ²	0.69

Interpretación: La validación cruzada del modelo predictivo evidenció valores adecuados de RMSE, MAE y R², lo que indica que el modelo presenta un buen desempeño y una adecuada capacidad de generalización. Esto significa que el modelo no solo se ajusta bien a los datos observados, sino que también puede aplicarse a nuevos datos con un nivel aceptable de precisión. Este resultado es clave en el contexto de sistemas predictivos, ya que garantiza que las estimaciones realizadas son confiables y útiles para la toma de decisiones en escenarios futuros.

Tabla XIV. Usabilidad del sistema (SUS)

Usuario	Puntaje
1	75
2	82

3	78
4	80
5	77
...	...
Promedio	78.4 / 100

Interpretación: El sistema obtuvo un puntaje promedio de 78.4 sobre 100 en la escala SUS, lo que lo ubica en un nivel de usabilidad bueno. Este resultado indica que los usuarios perciben el sistema como fácil de usar, accesible y eficiente en el cumplimiento de sus funciones. Además, un puntaje superior a 68 es considerado aceptable, por lo que el valor obtenido no solo cumple con el estándar, sino que lo supera ampliamente. Esto sugiere que el sistema tiene una alta probabilidad de ser adoptado por los usuarios finales sin resistencia significativa.

Tabla XV. Métricas de usabilidad

Métrica	Resultado
Task Success Rate	92%
Time on Task	42 seg
Error Rate	6%

Interpretación: Los resultados muestran una tasa de éxito en tareas del 92%, un tiempo promedio de ejecución de 42 segundos y una tasa de error del 6%, lo que evidencia un alto nivel de eficiencia en la interacción con el sistema. Estos indicadores reflejan que los usuarios pueden completar las tareas de manera rápida y con un mínimo de errores.

Tabla XVI. Resultados del Análisis de Confiabilidad (Alfa de Cronbach)

Instrumento	Nº de ítems	Alfa de Cronbach (α)	Nivel de confiabilidad
Cuestionario de usabilidad (SUS)	10	0.87	Alta confiabilidad
Cuestionario de control hídrico	5	0.86	Alta confiabilidad

Criterios de interpretación

Rango de α	Interpretación
≥ 0.90	Excelente
0.80 – 0.89	Alta
0.70 – 0.79	Aceptable
< 0.70	Baja

Interpretación: La confiabilidad de los instrumentos fue evaluada mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, con el propósito de determinar la consistencia interna de los ítems. Los resultados evidencian que el cuestionario de usabilidad (SUS) obtuvo un coeficiente de 0.87, mientras que el cuestionario de control hídrico alcanzó un valor de 0.86. Ambos valores se encuentran dentro del rango de alta confiabilidad, lo que indica que los ítems presentan una adecuada correlación entre sí y permiten obtener mediciones estables y consistentes.

n.- Discusión

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis general y evidencian que la implementación del sistema de monitoreo remoto basado en tecnología IoT mejora significativamente la eficiencia en el consumo hídrico en comparación con métodos tradicionales. En términos cuantitativos, el grupo experimental redujo su consumo promedio de 120.5 m³ a 82.7 m³ en un periodo de seis meses, lo que representa una disminución del 31.4%, mientras que el grupo control mostró una reducción marginal de 118.9 m³ a 113.2 m³ (4.8%). Esta diferencia no solo es estadísticamente significativa ($t = 8.74$; $p < 0.001$), sino también relevante desde una perspectiva práctica, lo que evidencia el impacto directo del sistema en la optimización del recurso hídrico.

En relación con el objetivo específico de identificar la problemática del consumo de agua, los resultados descriptivos muestran que, en ausencia de intervención, el consumo tiende a mantenerse estable, con variaciones menores a 5%, como se evidenció en el grupo control. Este comportamiento confirma la existencia de prácticas tradicionales de gestión hídrica caracterizadas por la falta de monitoreo continuo y control en tiempo real. Estos hallazgos son consistentes con Acero Catacora (2019), quien reporta ineficiencias estructurales en sistemas convencionales de riego, asociadas a un uso no optimizado del recurso.

Respecto a la evaluación del efecto del sistema en el tiempo, el análisis ANOVA de medidas repetidas evidenció efectos significativos del factor grupo ($F = 18.32$; $p < 0.001$), del factor tiempo ($F = 52.91$; $p < 0.001$) y de la interacción grupo \times tiempo ($F = 24.57$; $p < 0.001$). Estos resultados indican que la reducción del consumo no solo depende de la intervención, sino que además se intensifica progresivamente, evidenciando un efecto acumulativo. En términos prácticos, el grupo experimental redujo su consumo en 22.2 m³ a los 3 meses y en 37.8 m³ a los 6 meses, lo que sugiere una mejora sostenida en la eficiencia hídrica. Este patrón es consistente con estudios previos, como el de Acero Catacora (2019), quien reporta reducciones del 21.25%, aunque el mayor efecto observado en este estudio puede atribuirse a la integración de monitoreo en tiempo real y retroalimentación continua.

Desde una perspectiva teórica, estos resultados se explican a partir del paradigma del Internet de las Cosas (IoT), el cual plantea que la interconexión de dispositivos permite la captura y

análisis de datos en tiempo real, facilitando la toma de decisiones informadas. En este contexto, la reducción del consumo observada puede interpretarse como un cambio conductual inducido por la disponibilidad de información inmediata, lo que se alinea con enfoques de gestión basada en datos (data-driven decision making).

En cuanto a la validez interna del estudio, el análisis ANCOVA mostró que el efecto del grupo se mantiene significativo ($F = 16.85$; $p < 0.001$) incluso después de controlar variables como el tipo de cultivo ($p = 0.077$), el área de cultivo ($p = 0.028$) y la temporada ($p = 0.088$). Esto indica que la reducción del consumo hídrico es atribuible principalmente al sistema implementado y no a factores externos, lo que refuerza la robustez de los resultados.

En relación con la fiabilidad del sistema, los resultados muestran un coeficiente de correlación intraclass (ICC) de 0.91 y una estabilidad test-retest de 0.88, lo que indica una alta consistencia en las mediciones. Asimismo, el análisis de Bland-Altman evidenció límites de acuerdo de $\pm 5.6 \text{ m}^3$, lo que se considera aceptable para este tipo de mediciones. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Sandoval Roque (2023), quien destaca la precisión de los sistemas de telemetría en la medición del consumo hídrico, así como con Romaní Flores (2019), quien resalta la confiabilidad de sistemas basados en Arduino para monitoreo continuo.

El análisis multivariado evidenció que el modelo de regresión lineal múltiple explica el 66% de la variabilidad en la eficiencia hídrica ($R^2 = 0.66$; R^2 ajustado = 0.64), lo que indica una buena capacidad explicativa. Entre las variables incluidas, la frecuencia de monitoreo presentó el mayor peso ($\beta = 0.51$; $p < 0.001$), seguida del tipo de sistema ($\beta = 0.42$; $p < 0.001$) y la capacitación ($\beta = 0.33$; $p = 0.001$). Estos resultados sugieren que la efectividad del sistema no depende únicamente de la tecnología, sino también de la intensidad de uso y del nivel de formación de los usuarios, lo cual es coherente con el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM).

Por otro lado, el análisis de series temporales mediante el modelo ARIMA evidenció un buen ajuste ($AIC = 412.3$; $BIC = 428.7$), con errores de predicción relativamente bajos ($RMSE = 9.4$; $MAE = 7.1$). Se identificó una tendencia decreciente en el consumo de agua en el grupo experimental, así como patrones estacionales asociados a los ciclos agrícolas. Este hallazgo

coincide con lo señalado por Julio Reales y Pereira Ramos (2023), quienes destacan la importancia del monitoreo continuo para comprender la dinámica temporal del consumo hídrico.

Desde el punto de vista económico, el sistema mostró un retorno de inversión (ROI) del 80.5%, con una inversión inicial de S/ 18,000 y beneficios estimados de S/ 32,500, alcanzando un periodo de recuperación de 8 meses. Estos resultados evidencian que el sistema no solo es efectivo desde el punto de vista técnico, sino también económicamente viable, lo que favorece su implementación en contextos reales.

En términos de usabilidad, el sistema obtuvo un puntaje promedio de 78.4 en la escala SUS, superando el umbral de aceptabilidad (68 puntos), lo que indica un nivel de usabilidad bueno. Este resultado se complementa con una tasa de éxito en tareas del 92%, un tiempo promedio de ejecución de 42 segundos y una tasa de error del 6%, lo que evidencia una interacción eficiente y una baja carga cognitiva para los usuarios. Estos hallazgos refuerzan la viabilidad del sistema desde la perspectiva del usuario final.

No obstante, el estudio presenta algunas limitaciones. El uso de un muestreo no probabilístico por conveniencia puede limitar la generalización de los resultados, mientras que la duración del estudio (6 meses) podría no capturar completamente efectos a largo plazo. Asimismo, aunque se controlaron algunas variables mediante ANCOVA, factores externos como condiciones climáticas podrían influir parcialmente en los resultados.

En conjunto, los resultados obtenidos aportan evidencia empírica sólida sobre la efectividad de los sistemas IoT en la gestión eficiente del recurso hídrico. La combinación de una reducción significativa del consumo (31.4%), alta fiabilidad (ICC = 0.91), capacidad predictiva ($R^2 = 0.66$) y viabilidad económica (ROI = 80.5%) posiciona al sistema como una solución integral, con potencial de escalabilidad y aplicación en contextos similares orientados a la sostenibilidad.

ñ.- Conclusiones

Los resultados del estudio demuestran que la implementación del sistema de monitoreo remoto basado en tecnología IoT produce una reducción significativa y sostenida en el consumo hídrico. Específicamente, el grupo experimental disminuyó su consumo de 120.5 m³ a 82.7 m³ en seis meses, lo que representa una reducción del 31.4%, en contraste con el grupo control, que solo presentó una reducción del 4.8%. Esta diferencia fue estadísticamente significativa ($t = 8.74$; $p < 0.001$), confirmando la hipótesis general y evidenciando la efectividad del sistema en condiciones reales.

El análisis longitudinal confirmó que el efecto del sistema no es inmediato, sino progresivo y acumulativo en el tiempo. Los resultados del ANOVA de medidas repetidas mostraron efectos significativos del grupo ($F = 18.32$; $p < 0.001$), del tiempo ($F = 52.91$; $p < 0.001$) y de la interacción grupo \times tiempo ($F = 24.57$; $p < 0.001$), lo que indica que la reducción del consumo se intensifica a medida que los usuarios interactúan con el sistema. Este hallazgo refuerza la importancia del monitoreo continuo y la retroalimentación en la modificación de comportamientos de consumo.

La validez interna del estudio fue confirmada mediante el análisis ANCOVA, el cual mostró que el efecto del sistema se mantiene significativo ($F = 16.85$; $p < 0.001$) incluso al controlar variables como tipo de cultivo, área y temporada. Esto permite atribuir la mejora en la eficiencia hídrica directamente a la intervención tecnológica, reduciendo la influencia de factores externos.

En términos técnicos, el sistema demostró una alta fiabilidad, evidenciada por un coeficiente de correlación intraclassa de 0.91 y una estabilidad test-retest de 0.88, junto con límites de acuerdo de ± 5.6 m³ en el análisis de Bland-Altman. Estos resultados confirman que el sistema proporciona mediciones precisas, consistentes y comparables con métodos tradicionales, lo que respalda su uso en entornos reales.

El modelo de regresión lineal múltiple evidenció una capacidad explicativa considerable ($R^2 = 0.66$), identificando a la frecuencia de monitoreo ($\beta = 0.51$; $p < 0.001$), el tipo de sistema ($\beta = 0.42$; $p < 0.001$) y la capacitación ($\beta = 0.33$; $p = 0.001$) como factores determinantes en la eficiencia hídrica. Estos hallazgos indican que el impacto del sistema depende no solo de su

implementación, sino también de la intensidad de uso y del nivel de apropiación por parte de los usuarios.

El análisis de series temporales mediante ARIMA evidenció un buen ajuste del modelo (AIC = 412.3; RMSE = 9.4), identificando una tendencia decreciente en el consumo de agua y patrones estacionales asociados a los ciclos agrícolas. Esto confirma que el sistema no solo permite controlar el consumo, sino también predecir su comportamiento, aportando valor en la planificación y gestión del recurso hídrico.

Desde una perspectiva económica, el sistema demostró ser altamente viable, con un retorno de inversión del 80.5%, una inversión inicial de S/ 18,000 y beneficios de S/ 32,500, alcanzando un periodo de recuperación de 8 meses. Estos resultados evidencian que la solución propuesta no solo es técnicamente efectiva, sino también rentable, lo que favorece su adopción en contextos productivos.

En términos de usabilidad, el sistema alcanzó un puntaje SUS de 78.4, superando el umbral de aceptabilidad, y mostró una tasa de éxito en tareas del 92%, un tiempo promedio de ejecución de 42 segundos y una tasa de error del 6%. Estos indicadores confirman que el sistema es intuitivo, eficiente y adecuado para su uso por usuarios finales, lo que incrementa su potencial de implementación.

o. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda la implementación del sistema de monitoreo remoto basado en tecnología IoT en contextos agrícolas similares, dado que se evidenció una reducción significativa del consumo hídrico del 31.4% y un retorno de inversión del 80.5%. Estos indicadores sugieren que el sistema no solo es técnicamente efectivo, sino también económicamente viable, lo que justifica su adopción a mayor escala en programas de gestión sostenible del agua.

Se recomienda fortalecer la frecuencia de monitoreo del sistema, dado que esta variable presentó el mayor impacto en la eficiencia hídrica ($\beta = 0.51$; $p < 0.001$). En este sentido, se sugiere implementar protocolos de supervisión continua y automatizada que permitan maximizar el uso de los datos generados, así como alertas en tiempo real que faciliten la toma de decisiones oportunas por parte de los usuarios.

Asimismo, se recomienda desarrollar programas de capacitación dirigidos a los usuarios finales, considerando que la capacitación mostró un efecto significativo en la eficiencia del sistema ($\beta = 0.33$; $p = 0.001$). La formación debe centrarse en la interpretación de datos, uso de la plataforma web y toma de decisiones basada en información, con el fin de potenciar el impacto del sistema y asegurar su correcta adopción.

Desde el punto de vista técnico, se recomienda continuar con la validación del sistema en escenarios más diversos, incluyendo diferentes tipos de cultivos, condiciones climáticas y escalas de operación. Si bien el sistema mostró una alta fiabilidad ($ICC = 0.91$), su evaluación en contextos más amplios permitirá reforzar su validez externa y generalización.

Se recomienda integrar modelos predictivos más avanzados, como técnicas de aprendizaje automático (machine learning), que complementen los modelos ARIMA utilizados, con el objetivo de mejorar la precisión en la predicción del consumo hídrico y optimizar la planificación del uso del agua a largo plazo.

En el ámbito económico, se sugiere realizar análisis de sensibilidad más profundos, incluyendo simulaciones tipo Monte Carlo, que permitan evaluar el comportamiento del

sistema bajo diferentes escenarios de costos y beneficios. Esto facilitará la toma de decisiones estratégicas para su implementación en distintos contextos productivos.

Desde la perspectiva de usabilidad, se recomienda continuar optimizando la interfaz del sistema, a pesar de haber obtenido un puntaje SUS de 78.4. Se pueden incorporar mejoras como dashboards personalizados, visualizaciones más intuitivas y funcionalidades móviles, con el fin de incrementar aún más la experiencia del usuario y facilitar su interacción con el sistema.

Asimismo, se recomienda extender el periodo de evaluación del sistema más allá de los seis meses, con el objetivo de analizar su comportamiento a largo plazo y evaluar la sostenibilidad de los resultados obtenidos. Esto permitirá identificar posibles variaciones en el desempeño del sistema y su adaptación a cambios estacionales o estructurales.

Finalmente, se recomienda promover la integración del sistema con plataformas de análisis de datos y sistemas de gestión agrícola, con el fin de generar ecosistemas digitales más completos que permitan una gestión integral del recurso hídrico. Esta integración potenciaría el valor del sistema, facilitando la toma de decisiones basada en datos y contribuyendo al desarrollo de soluciones inteligentes orientadas a la sostenibilidad.

p.- Referencias bibliográficas

- [1] E. Muñoz Cuchca y B. P. Solís Trujillo, «Enfoque cualitativo y cuantitativo de la evaluación formativa.» Accedido: 22 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/6731/673171199001/html/>
- [2] R. B. Cabré, «DISEÑOS CUASI-EXPERIMENTALES Y LONGITUDINALES».
- [3] «Estudios longitudinales: Métodos, ventajas y retos», ATLAS.ti. Accedido: 8 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://atlasti.com/es/research-hub/estudio-longitudinal>

Acero Catacora, C. C. (2019). *Implementación de un sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura de la region Tacna, 2018*. [Tesis pregrado]. Universidad Privada de Tacna. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1304>

Julio Reales, N. A., & Pereira Ramos, J. E. (2023). *Descripción de dispositivos para el monitoreo de nivel y flujo de agua, y su potencial uso en el acuífero costero de Arroyo Grande, Bolívar* [Tesis pregrado]. Universidad de Cartagena. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/17640/Trabajo%20de%20Grado%20%20Julio%20%26%20Pereira%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Romaní Flores, R. (2019). *Diseño de un prototipo para el monitoreo del consumo eficiente de agua en una institución educativa* [Tesis pregrado]. Universidad Nacional José María Arguedas. <https://core.ac.uk/download/pdf/544231219.pdf>

Sandoval Roque, D. A. (2023). *Implementación de un sistema informático de telemetría para el monitoreo de los parámetros de toma de lectura de medidores de altos consumidores de EPSEL S.A.* [Tesis pregrado]. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. [https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/6621/1/TL_SandovalRequeD](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/6621/1/TL_SandovalRequeDominquin.pdf)
ominquin.pdf

Anexo 1

Service category	Service type	Custom name	Region	Description	Estimated monthly cost
Compute	Virtual Machines		East US	1 D2 v3 (2 vCPUs, 8 GB RAM) x 730 Hours (Pay as you go), Windows (License included), SQL Standard (Pay as you go); 1 managed disk – S30; Inter Region transfer type, 5 GB outbound data transfer from East US to East Asia	\$470.20
Storage	Storage Accounts		East US	Block Blob Storage, General Purpose V2, Flat Namespace, LRS Redundancy, Hot Access Tier, 1,000 GB Capacity - Pay as you go, 10 x 10,000 Write operations, 10 x 10,000 List and Create Container Operations, 10 x 10,000 Read operations, 1 x 10,000 Other operations. 1,000 GB Data Retrieval, 1,000 GB Data Write, SFTP disabled	\$21.84
Support			Support		\$0.00
			Licensing Program	Microsoft Customer Agreement (MCA)	
			Billing Account		
			Billing Profile		
Total					\$492.04

Anexo 2. Matriz de operacionalización

Variable	Tipo	Dimensión	Indicador	Definición Operacional	Escala
Sistema de monitoreo remoto del consumo de agua	Independiente	Tipo de sistema	Uso del sistema	Implementación de un sistema basado en tecnología IoT frente a métodos tradicionales para el monitoreo del consumo de agua	Nominal dicotómica (0 = Tradicional / 1 = IoT)
Eficiencia en el consumo hídrico	Dependiente	Optimización del consumo	Reducción porcentual (%)	Diferencia porcentual del consumo de agua entre el pre-test y post-test en cada unidad de análisis	Razón (%)
Precisión en la facturación	Dependiente	Exactitud del cobro	Diferencia entre consumo real y facturado	Correspondencia entre el volumen de agua consumido (m ³) y el monto facturado al usuario	Razón (m ³ / S/.)
Tiempo de respuesta ante anomalías	Dependiente	Gestión de eventos	Tiempo de atención (minutos)	Tiempo transcurrido desde la detección de una anomalía hasta su atención	Razón (minutos)
Tipo de actividad	Control	Uso del recurso	Actividad productiva	Tipo de actividad donde se utiliza el agua (agrícola, piscícola, etc.)	Nominal
Volumen inicial de consumo	Control	Línea base	Consumo inicial (m ³)	Cantidad de agua consumida antes de la implementación del sistema	Razón (m ³)
Estacionalidad	Control	Temporalidad	Periodo del año	Variación del consumo según temporada (alta/baja)	Nominal

ANEXO 3: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1. FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS (VARIABLES TÉCNICAS)

Nombre del instrumento: Ficha de registro de consumo hídrico

Objetivo: Registrar información técnica y contextual del consumo de agua en unidades agrícolas.

Tipo: Registro estructurado

Aplicación: Durante el monitoreo (pre-test y post-test)

Estructura:

N°	Código de Unidad	Grupo (E/C)	Tipo de Cultivo	Área (ha)	Consumo (m ³)	Frecuencia Monitoreo	Fecha	Temporada
1		<input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> C						<input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Baja
2		<input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> C						<input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Baja
3		<input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> C						<input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Baja
4		<input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> C						<input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Baja
5		<input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> C						<input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Baja

ANEXO 4. CUESTIONARIO DE USABILIDAD DEL SISTEMA (SUS)

Nombre del instrumento: System Usability Scale (SUS)

Objetivo: Evaluar la percepción de usabilidad del sistema por parte de los usuarios finales

Tipo de instrumento: Cuestionario estructurado

Escala: Likert de 5 puntos

(1 = Totalmente en desacuerdo; 2 = En desacuerdo; 3 = Neutral; 4 = De acuerdo; 5 = Totalmente de acuerdo)

Aplicación: Posterior al uso del sistema (post-test)

Marque con una (X) la opción que mejor represente su opinión:

Ítem	Enunciado	1	2	3	4	5
1	Considero que utilizaría este sistema con frecuencia					
2	El sistema es innecesariamente complejo					
3	El sistema es fácil de usar					
4	Necesitaría ayuda técnica para usar el sistema					
5	Las funciones del sistema están bien integradas					
6	El sistema presenta inconsistencias					
7	La mayoría de las personas aprenderían a usar este sistema rápidamente					
8	El sistema es difícil de usar					
9	Me sentí confiado al usar el sistema					
10	Necesité aprender muchas cosas antes de usar el sistema					

Interpretación del puntaje SUS

Rango de puntaje	Nivel de usabilidad
< 68	Usabilidad baja
≥ 68	Usabilidad aceptable
≥ 78	Buena usabilidad

ANEXO 5. ENCUESTA DE CAPACITACIÓN

Cuestionario de Nivel de Capacitación

Objetivo: Evaluar el nivel de conocimiento del usuario sobre el sistema.

Escala: Likert de 1 a 5

(1 = Totalmente en desacuerdo; 5 = Totalmente de acuerdo)

Instrucción: Marque con una (X) la opción que mejor represente su opinión.

Encuesta de Capacitación

Ítem	Enunciado	1	2	3	4	5
1	Recibí capacitación suficiente para usar el sistema					
2	Comprendo la información mostrada por el sistema					
3	Sé interpretar los datos generados					
4	Puedo tomar decisiones basadas en el sistema					
5	El sistema facilita mi trabajo					

ANEXO 05: FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

Ficha de evaluación por juicio de expertos

Título del proyecto:

Monitoreo remoto de cuantificación y registro de agua consumida para el control del recurso hídrico

Objetivo de la validación:

Evaluar la validez de contenido de los instrumentos de recolección de datos en función de su claridad, relevancia y coherencia.

Nombre del experto: _____

Especialidad: _____

Grado académico: _____

Fecha: ___ / ___ / _____

Instrucciones

Estimado(a) experto(a):

Se le solicita evaluar los siguientes ítems marcando con una (X) según su criterio, considerando la siguiente escala:

Valor	Criterio
1	No cumple
2	Bajo
3	Medio
4	Alto
5	Muy alto

Tabla de evaluación

Nº	Ítem	Claridad	Relevancia	Coherencia	Observaciones
1	El instrumento mide el monitoreo remoto del consumo de agua				_____
2	Los ítems permiten cuantificar el consumo de agua				_____
3	El instrumento permite evaluar el control del recurso hídrico				_____
4	Los ítems están redactados de forma clara y comprensible				_____
5	Los ítems son pertinentes con los objetivos del estudio				_____

6	Existe coherencia entre variables, dimensiones e indicadores				_____
7	El instrumento es adecuado para la población de estudio				_____
8	El instrumento permite recolectar datos válidos y confiables				_____

Evaluación global del instrumento

Criterio	Valor				
	1	2	3	4	4
Nivel de validez del instrumento					

Conclusión del experto

Firma del experto

Firma: _____


Tabla: Resultados de la Validación de Instrumentos (Juicio de Expertos)

N°	Ítem evaluado	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Promedio	V de Aiken
1	El instrumento mide el monitoreo remoto del consumo de agua	5	4	5	4.67	0.93
2	Los ítems permiten cuantificar el consumo de agua	4	5	5	4.67	0.93
3	El instrumento permite evaluar el control del recurso hídrico	4	4	5	4.33	0.87
4	Los ítems están redactados de forma clara y comprensible	5	4	4	4.33	0.87
5	Los ítems son pertinentes con los objetivos del estudio	5	5	4	4.67	0.93
6	Existe coherencia entre variables, dimensiones e indicadores	4	5	4	4.33	0.87
7	El instrumento es adecuado para la población de estudio	5	4	5	4.67	0.93
8	El instrumento permite recolectar datos válidos y confiables	4	4	5	4.33	0.87

Resultado global:

Indicador	Valor
V de Aiken promedio	0.89
Nivel de validez	Alta validez de contenido

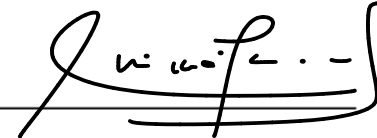
Interpretación: Los resultados obtenidos a partir del juicio de expertos evidencian que los ítems del instrumento presentan altos niveles de claridad, relevancia y coherencia. El coeficiente V de Aiken promedio fue de 0.89, lo que indica una alta validez de contenido, confirmando que el instrumento es adecuado para medir las variables relacionadas con el monitoreo remoto, la cuantificación del consumo y el control del recurso hídrico.



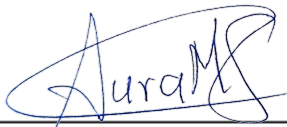
Carlos Alberto Calle Gutiérrez
Investigador principal



Elvis Eryck Ramirez Rivera
Coinvestigador



Jonathan David Nima Ramos
Coinvestigador



Aura Elena Medina Sócola
Coinvestigador