

Aguasmart: Sistema IoT para la gestión inteligente del recurso hídrico en el corregimiento de Olaya

Cristian Camilo Hernandez Mora Y Fernando José Yampuesán Narváez

Programa de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad CESMAG

Nota del autor

El presente Trabajo de Grado tiene como propósito cumplir el requisito exigido para optar al título de pregrado como Ingenieros de Sistemas en la Universidad CESMAG. La correspondencia referente a este trabajo debe dirigirse al programa de ingeniería de sistemas de la universidad CESMAG. Correo electrónico:

ingenieriadesistemas@unicesmag.edu.co

Aguasmart: Sistema IoT para la gestión inteligente del recurso hídrico en el corregimiento de Olaya

Cristian Camilo Hernandez Mora Y Fernando José Yampuesán Narváez

Programa de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad CESMAG

Asesor: Mg. Joan Ayala Benavides

10 de agosto de 2026

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del jurado N°1

Firma del jurado N°1

San Juan de Pasto, mayo de 2026

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto, en primer lugar, a Dios, por darnos la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para superar cada reto y permitírnos alcanzar esta meta.

A nuestros padres, por su amor, sacrificio y apoyo incondicional, quienes han sido la base fundamental de nuestro crecimiento personal y profesional.

A la Universidad CESMAG, por brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales íntegros, y a todo su cuerpo docente, quienes con su conocimiento, compromiso y dedicación aportaron significativamente a nuestro proceso académico.

De manera especial, a nuestro asesor Johan Carlos Ayala, por su guía constante, sus enseñanzas y su acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto, siendo un apoyo clave para su culminación.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarnos la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar este proyecto, guiando cada etapa de nuestro proceso académico y personal.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional, sus consejos y su constante motivación, siendo un pilar fundamental en nuestra formación y en el logro de este objetivo.

Al docente Johan Carlos Ayala, por su acompañamiento, orientación y compromiso durante todo el desarrollo de este proyecto. Su conocimiento y dedicación fueron esenciales para la consolidación de esta investigación.

Al Magíster Olger Rosero Pantoja, por su constante apoyo durante el desarrollo del prototipo del sistema IoT, así como por su disposición para compartir sus conocimientos, los cuales contribuyeron significativamente al logro de una solución eficiente.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo de este trabajo, brindándonos su apoyo y confianza a lo largo de este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
A. Objeto o tema de estudio	18
B. Línea de investigación.....	18
C. Sublínea de investigación.....	18
D. Planteamiento del problema	18
E. Formulación del problema	19
F. Objetivos	19
1) Objetivo general	19
2) Objetivos específicos.....	19
G. Justificación.....	20
H. Delimitación	21
II. MARCO TEÓRICO	22
A. Antecedentes	22
1) Internacionales	22
2) Nacionales	23
3) Regionales	24
B. Supuestos teóricos	25
C. Variables del estudio	28
1) Variable independiente.....	28
2) Variables dependientes.....	28
D. Definición nominal de variables	28
E. Definición operativa de variables.....	29
F. Formulación de hipótesis	30

1) Hipótesis de investigación.....	30
2) Hipótesis nula.....	30
3) Hipótesis alterna.....	30
III. METODOLOGÍA	31
A. Paradigma.....	31
B. Enfoque	31
C. Método	31
D. Tipo de investigación	31
E. Diseño de la investigación.....	32
F. Población.....	32
G. Muestra.....	32
H. Técnicas de recolección de información	32
I. Validez de la técnica	33
J. Confiabilidad de la técnica.....	33
K. Instrumento de recolección de datos	33
IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	34
A. Caracterizar la problemática sobre desperdicio de agua	34
1) Contexto geográfico y demográfico.....	34
2) Impacto de las prácticas agrícolas en la red de distribución hídrica.	36
3) Diagnóstico estadístico del desabastecimiento y percepción ciudadana.....	37
B. Diseñar un sistema IoT, para la optimización del recurso hídrico.	39
1) Arquitectura general del sistema	39
2) Descripción de las capas tecnológicas	40
3) Selección paramétrica y especificación de componentes.....	41
TABLA III COMPONENTES DE HARDWARE.....	43

4)	Estructuración del modelo de datos e información	44
5)	Interfaz de monitoreo y supervisión	49
C.	Evaluar el sistema IoT mediante la norma ISO/IEC 25010 y la métrica (MTTD)	52
1)	Resultados de Adecuación Funcional (ISO/IEC 25010)	52
2)	Resultados de evidencia de desempeño (ISO/IEC 25010)	54
3)	Resultados de compatibilidad (ISO/IEC 25010)	55
4)	Resultados de capacidad de interacción (ISO/IEC 25010)	56
5)	Resultados de fiabilidad (ISO/IEC 25010)	57
6)	Resultados de seguridad (ISO/IEC 25010)	58
7)	Resultados de evidencia de mantenibilidad (ISO/IEC 25010)	59
8)	Tabla de flexibilidad (ISO/IEC 25010)	59
9)	Tabla de protección (ISO/IEC 25010)	60
10)	Resultados utilizando la métrica MTTD (ISO/IEC 25010)	61
V.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	62
A.	Caracterizar la problemática sobre desperdicio de agua	62
B.	Diseñar un sistema IoT para la optimización del recurso hídrico.	63
1)	Interpretación de la arquitectura y efectividad de la solución	64
2)	Discusión comparativa frente al Estado del Arte	64
3)	Impacto tecnológico, organizacional y social de la solución	65
4)	Aportes y limitaciones del proyecto	66
C.	Evaluar el sistema IoT mediante la norma ISO/IEC 25010 y la métrica (MTTD)	67
1)	Análisis de la Adecuación Funcional	67
2)	Análisis del Desempeño	67
3)	Análisis de la Compatibilidad	68
4)	Análisis de la capacidad de interacción (Usabilidad)	68

5) Análisis de la Fiabilidad.....	69
6) Análisis de la Seguridad.....	70
7) Análisis de la Mantenibilidad.....	70
8) Análisis de la métrica MTTD.....	70
9) Interpretación de los resultados y efectividad de la solución.....	71
10) Relación con el Problema de Investigación	71
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS.....	81
INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DEL SISTEMA IoT AGUASMART	93
III. VALIDACIÓN FUNCIONAL EN CONTEXTO REAL	95

LISTA DE FIGURAS

FIG. 1 INTERNET DE LAS COSAS[24].....	25
FIG. 2 MICROCONTROLADORES[27]	26
FIG. 3 SENSORES[29].....	27
FIG. 4 MONITOREO[31]	27
FIG. 5 MAPA GEOGRÁFICO DE OLAYA [53].....	34
FIG. 6 TANQUE DE ALMACENAMIENTO	35
FIG. 7 FASES DE RIEGOS.....	37
FIG. 8 GRÁFICA DISPONIBILIDAD DEL AGUA	38
FIG. 9 ARQUITECTURA DEL SISTEMA IoT	39
FIG. 10 DIAGRAMA DE FLUJO	40
FIG. 11 INTEGRACIÓN DE COMPONENTES.....	41
FIG. 12 COMPONENTES DEL SISTEMA IoT	44
FIG. 13 BASE DE DATOS DE AGUASmart	45
FIG. 14 LOGIN DE AGUASmart	49
FIG. 15 GESTIÓN DE ESTACIONES	50
FIG. 16 GRÁFICAS DE CONSUMO AGUASmart	51
FIG. 17 VISUALIZACIÓN DE DATOS EN AGUASmart	51
FIG. 18 VISUALIZACIÓN DEL HISTORIAL DE NOTIFICACIONES	52
FIG. 19 GRÁFICA DE PRUEBAS MÉTRICA MTTD	61

LISTA DE TABLAS

TABLA I SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR	42
TABLA II SELECCION DE VÁLVULA	42
TABLA III COMPONENTES DE HARDWARE.....	43
TABLA IV COMPONENTES DE SOFTWARE.....	43
TABLA V TABLA ESTACIÓN DE BASE DE DATOS AGUASMART	46
TABLA VI TABLA USUARIO DE BASE DE DATOS AGUASMART	46
TABLA VII TABLA CONSUMO DE BASE DE DATOS AGUASMART	47
TABLA VIII TABLA PROPIETARIO DE BASE DE DATOS AGUASMART.....	47
TABLA IX TABLA REGISTRO_NOTIFICACIONES DE BASE DE DATOS AGUASMART	48
TABLA X TABLA ROL DE BASE DE DATOS AGUASMART.....	48
TABLA XI TABLA ESTADO_ESTACION DE BASE DE DATOS AGUASMART.....	48
TABLA XII TABLA DE ADECUACION FUNCIONAL	52
TABLA XIII TABLA DE DESEMPEÑO	54
TABLA XIV TABLA DE COMPATIBILIDAD	55
TABLA XV TABLA DE CAPACIDAD DE INTERACCIÓN.....	56
TABLA XVI TABLA DE FIABILIDAD	57
TABLA XVII TABLA DE SEGURIDAD	58
TABLA XVIII TABLA DE MANTENIBILIDAD	59
TABLA XIX TABLA DE FLEXIBILIDAD	59
TABLA XX TABLA DE PROTECCIÓN	60
TABLA XXI TABLA DE RESULTADOS CON LA METRICA MTTD.....	61

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. ENTREVISTA A MIEMBRO DE LA JUNTA DE AGUA	81
ANEXO B. ENTREVISTA A MIEMBRO FONTANERO DE CORREGIMIENTO	83
ANEXO C. ENCUESTAS REALIZADAS MIEMBROS DE LA COMUNIDAD	86
ANEXO D. AVAL FONTANERO CORREGIMIENTO OLAYA	92
ANEXO E. FORMATO DE VALIDACIÓN AGUASmart	93
ANEXO F. PARTICIPACIÓN CONGRESO SAFARI TECH CRISTIAN HERNANDEZ	97
ANEXO G. PARTICIPACIÓN CONGRESO SAFARI TECH FERNANDO YAMPUESÁN	98

GLOSARIO

AguaSmart: Sistema IoT basado en Internet de las cosas el cual fue diseñado para el monitoreo y control del consumo de agua potable de manera inteligente, permitiendo tomar decisiones tempranas en tiempo real con el fin de evitar tareas manuales.

Automatización: Proceso mediante el cual un sistema realiza tareas automáticamente sin intervención humana, basándose en condiciones previamente configuradas.

Consumo hídrico: Cantidad de agua utilizada en un periodo determinado, generalmente medida en litros.

Dashboard: Interfaz visual donde se muestran los datos del sistema mediante gráficos, indicadores y tablas, facilitando su comprensión.

Eeprom: Tipo de memoria que permite almacenar datos de manera permanente en un dispositivo electrónico, incluso cuando este se apaga.

Esp32: Microcontrolador de bajo costo con conectividad a internet, utilizado para recolectar y enviar datos en sistemas IoT.

Fontanero: persona encargada de supervisar el consumo de una comunidad sin un control del agua potable

Junta de agua: Grupo de personas encargadas del mantenimiento del sistema de acueducto de una comunidad.

internet de las cosas (IOT): Tecnología que permite conectar dispositivos físicos a internet para recopilar y compartir información en tiempo real.

MQTT: Protocolo de comunicación ligero utilizado en sistemas IoT para enviar datos de manera eficiente entre dispositivos conectados.

Monitoreo en tiempo real: Proceso de observar y registrar datos de manera continua, permitiendo visualizar información actualizada al instante.

Protocolo de comunicación: Conjunto de reglas que permiten el intercambio de información entre dispositivos en una red.

Recurso hídrico: Conjunto de fuentes de agua disponibles para el uso humano, agrícola o industrial.

Sensor de flujo: Dispositivo que mide la cantidad de agua que pasa por una tubería, generando datos que pueden ser analizados por el sistema.

Sostenibilidad: Uso responsable de los recursos naturales para garantizar su disponibilidad en el futuro.

Umbral de consumo: Límite establecido en el sistema que, al ser superado, activa una alerta o acción automática.

Válvula solenoide: Dispositivo que controla el paso del agua abriendo o cerrando el flujo mediante una señal eléctrica.

RESUMEN

El corregimiento de Olaya, ubicado en la zona rural del municipio de Túquerres en el departamento de Nariño (Colombia), enfrenta un déficit crítico en la gestión del recurso hídrico, una problemática que se agudiza durante las temporadas de verano. En este periodo, el uso intensivo de sistemas de riego agrícola reduce la disponibilidad de agua potable para el consumo doméstico, generando conflictos continuos entre los habitantes de la comunidad. Actualmente, la Junta de Agua y el fontanero operador carecen de herramientas tecnológicas para monitorear y regular el consumo por hogar; su gestión depende de extensos recorridos de inspección física in situ que resultan ineficientes y limitados frente a la creciente demanda del recurso.

En este contexto, se propone AguaSmart, un sistema basado en Internet de las Cosas (IoT) orientado al monitoreo y control del suministro de agua en tiempo real. La arquitectura tecnológica integra sensores de caudal y válvulas solenoide de control automatizado, instaladas en las derivaciones de las viviendas que alimentan los sistemas de riego. La telemetría recolectada es transmitida mediante conectividad Wi-Fi o GSM hacia una plataforma digital centralizada. Esta solución dota a la administración comunitaria de un panel para auditar el comportamiento hídrico, identificar patrones de sobreconsumo y automatizar el cierre del flujo al superar los umbrales permitidos, respaldado por un esquema de alertas tempranas vía web y mensajería instantánea.

La investigación en torno a esta implementación permite evaluar el impacto de la automatización en variables críticas como la reducción del desperdicio por escorrentía, la optimización de la carga operativa del fontanero y la restitución de la equidad en la distribución del recurso. De este modo, AguaSmart contribuye significativamente a la toma de decisiones basada en datos empíricos, posicionándose como una alternativa tecnológica de bajo costo, escalable y metodológicamente replicable para otras zonas rurales con limitaciones de infraestructura similares.

Palabras Clave: Corregimiento de Olaya, Sistema IoT, Desperdicio del agua potable, Sistemas de riego en cultivos, Gestión inteligente del agua, Sensores de flujo, Monitoreo hídrico, Internet de las Cosas (IoT).

ABSTRACT

The rural settlement of Olaya, located in the municipality of Túquerres within the department of Nariño (Colombia), faces a critical deficit in water resource management, a problem that is exacerbated during the summer seasons. During this period, the intensive use of agricultural irrigation systems reduces the availability of potable water for domestic consumption, generating ongoing conflicts among community residents. Currently, the Water Board and the operating plumber lack the technological tools to monitor and regulate household consumption; their management relies on extensive in situ physical inspections, which prove inefficient and inadequate given the growing demand for the resource.

In this context, AguaSmart is proposed: an Internet of Things (IoT)-based system designed for the real-time monitoring and control of the water supply. The technological architecture integrates flow sensors and automated control solenoid valves, installed at the residential branch lines that feed the irrigation systems. The collected telemetry is transmitted via Wi-Fi or GSM connectivity to a centralized digital platform. This solution equips the community administration with a dashboard to audit water usage behavior, identify overconsumption patterns, and automate flow shut-offs upon exceeding permitted thresholds, all supported by an early warning scheme via web and instant messaging.

The research surrounding this implementation evaluates the impact of automation on critical variables such as the reduction of surface runoff waste, the optimization of the plumber's operational workload, and the restoration of equitable resource distribution. Consequently, AguaSmart significantly contributes to empirical data-driven decision-making, establishing itself as a low-cost, scalable, and methodologically replicable technological alternative for other rural areas with similar infrastructure constraints.

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua es un elemento fundamental para la existencia humana[1] y a su vez un desafío permanente en las comunidades rurales. Según un estudio de la Universidad Nacional de Colombia se identificó que, en las zonas urbanas de Colombia, el 98% de la población tiene acceso al agua potable, mientras que en las zonas rurales la cifra desciende a un 73%[2]. La optimización y la equidad en el uso del recurso hídrico son un pilar esencial para su sostenibilidad, por esta razón la tecnología ha empezado a desempeñar un papel relevante en cuanto al acceso a dicho recurso[3]. En este contexto la ingeniería de sistemas puede ofrecer soluciones innovadoras para enfrentar estos grandes desafíos.

El presente trabajo se centró en el diseño de un sistema de monitoreo inteligente basado en Internet de las Cosas (IoT) denominado AguaSmart, el cual se orientó a optimizar la gestión del recurso hídrico en el corregimiento de Olaya. En este sector, la dependencia de inspecciones físicas generaba un retraso que impedía controlar a tiempo el uso prolongado de agua en parcelas agrícolas, situación que se agudizaba durante la temporada de verano y afectaba críticamente el abastecimiento doméstico de las familias.

Para la ejecución de este proyecto, la investigación partió de una fase diagnóstica fundamentada en entrevistas a los encargados del acueducto y encuestas a la comunidad, lo cual permitió documentar con precisión la causa estructural del desperdicio. Este diagnóstico inicial determinó los requerimientos técnicos para el diseño de una arquitectura tecnológica orientada a la captura y análisis de datos de consumo en tiempo real. Posteriormente, el hardware compuesto por válvulas, sensores de caudal y microcontroladores se interconectó con la plataforma de visualización; esta solución se adaptó a los requerimientos del contexto local y se validó mediante una evaluación de calidad bajo la norma internacional ISO/IEC 25010 y la métrica de Tiempo Medio de Detección (MTTD), verificando así su efectividad para automatizar el cierre y evitar la pérdida del suministro.

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A. Objeto o tema de estudio

Diseñar un sistema de monitoreo inteligente con IoT (Internet of Things) para mejorar el control del consumo de agua, reducir el desperdicio y que su distribución se haga de manera equitativa entre los habitantes del corregimiento de Olaya, municipio de Tuquerres.

B. Línea de investigación

TIC

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) abarcan una amplia gama de recursos como herramientas, equipos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios; que facilitan la compilación, el procesamiento, el almacenamiento y la transmisión de tipos de información que incluyen, voz, datos, texto, video e imágenes[4].

C. Sublínea de investigación

Lenguajes de programación.

Se profundiza en el fortalecimiento y transferencia del dominio de lenguaje de programación, puesto que se utilizarán diferentes lenguajes de codificación para construir las diferentes soluciones informáticas, entre ellas la construcción de una aplicación web, un sistema de telecomunicaciones en tiempo real y un sistema embebido[5].

D. Planteamiento del problema

Según el plan territorial de adaptación climática realizado por Corponariño, el departamento de Nariño tiene una baja vulnerabilidad en cuanto a la escasez de agua, sin embargo, en algunos municipios como Taminango, Sandoná, Providencia y Tuquerres, presentan una alta vulnerabilidad. Ya que están ubicados en cuencas que tienen una marcada condición de escasez debido a una mala gestión del recurso hídrico, la contaminación en hidro cuencas, fuentes de agua, uso desmedido y deforestación[6].

En el corregimiento de Olaya ubicado en la zona rural del municipio de Tuquerres, las familias se abastecen de las microcuencas controladas por Corponariño, este recurso es gestionado por la junta de agua y fontanero elegido por la misma comunidad por un periodo de 4 años. Durante

las temporadas de verano se incrementa el uso del recurso hídrico con la implementación de riegos, lo cual reduce significativamente la disponibilidad de agua para otras familias generando conflictos en la comunidad[7].

Durante la fase de diagnóstico se identificó que la Junta de agua carecía de un mecanismo automatizado que le permitiera monitorear, registrar y controlar el consumo por hogar, debido a esto la junta de agua y el fontanero, debían realizar largos recorridos para identificar los hogares donde se está implementando el uso de riegos para abastecer sus cultivos, los cuales dejan los riegos funcionando toda la noche generando un gran desperdicio de agua. Esto dificultaba la gestión eficiente del servicio a las demás viviendas. Por otra parte, la recolección manual de datos y la intervención presencial del fontanero era limitada ya que muchas veces tenía que dejar a un lado sus labores para poder solventar los problemas de escasez de agua. En consecuencia, surgió la necesidad de diseñar un mecanismo de control que le permita al fontanero identificar de manera más fácil los hogares en donde se hace un uso excesivo de agua e intervenir en los casos que vea necesarios y ayudar a que su distribución se haga de manera equitativa.

E. Formulación del problema

¿Cómo optimizar la distribución del agua en el corregimiento de Olaya, apoyando en la reducción del desperdicio causados por la gestión ineficiente del recurso hídrico?

F. Objetivos

1) Objetivo general

Apoyar la distribución del recurso hídrico para un mayor control en el sistema de riego del corregimiento de Olaya, a través de un sistema de monitoreo y control basado en Internet de las Cosas.

2) Objetivos específicos

- Caracterizar la problemática sobre desperdicio de agua del corregimiento de Olaya mediante la recopilación y análisis de datos acerca de su consumo, con el fin de identificar factores que afectan su distribución.
- Diseñar un sistema IoT para el monitoreo y control del uso del agua en el corregimiento de Olaya, para la optimización en la distribución del recurso hídrico.

- Evaluar el sistema IoT de monitoreo y control del uso del agua mediante la norma ISO/IEC 25010 que define el modelo de calidad del software y la métrica (MTTD) de Tiempo medio de detección para la medición y evaluación de pruebas.

G. Justificación

En la agricultura se consume la mayor cantidad de agua dulce que asciende hasta el 70% del uso total, muchas veces los agricultores para evitar el estrés hídrico en sus cultivos suelen usar más agua de la necesaria, lo cual afecta su disponibilidad y sostenibilidad[8]. El acceso equitativo al agua es un desafío presente en la sociedad, se ha intentado promoverlo, prueba de ello es la resolución de la ONU A/RES/64/292 que habla del reconocimiento al agua como derecho humano[9], así mismo existe jurisprudencia como las sentencias T-636 de 2002[10], T-641 de 2015[11] y T-218 de 2017[12] para el caso colombiano.

En las zonas rurales es donde más se presenta este desafío debido a que no se lleva un registro adecuado del consumo, tal es el caso del corregimiento de Olaya, donde se presentó un uso desmedido del recurso hídrico con el uso de surtidores. Por esta razón fue evidente la necesidad de una solución tecnológica que permitiera optimizar la gestión del recurso hídrico en la comunidad. Un sistema basado en tecnología de monitoreo y control automatizado que mejorara significativamente la distribución del agua, reduciendo la carga operativa de la Junta de Agua y fontanero, garantizando la transparencia en el uso del recurso hídrico. Por lo anterior, esta problemática presenta una oportunidad para el desarrollo de una solución innovadora desde el enfoque de la Ingeniería de Sistemas, contribuyendo a la sostenibilidad del recurso hídrico en el corregimiento de Olaya y mejorando la calidad de vida de sus habitantes.

El desarrollo de esta investigación permitió a través de sensores, dispositivos IoT y plataformas de gestión de datos, obtener la información necesaria para identificar tanto el consumo excesivo como el desperdicio del agua, proporcionando información en tiempo real, disminuyendo la sobrecarga de labores como la supervisión manual y los largos recorridos al fontanero y la junta de agua.

El proyecto trasciende el ámbito técnico al socializarlo en espacios de divulgación científica como el cuarto congreso internacional de Safari Tech 2026, demostrando el impacto real del Internet de las Cosas en entornos rurales. A nivel social, el desempeño del prototipo demostró

propiciar un acceso hídrico más equitativo. En lo ambiental, el sistema validó la capacidad de prevenir el desperdicio cuando el suelo alcanza su límite de absorción, protegiendo la integridad ecológica de la fuente hídrica. Por último, en la dimensión económica, la reducción del desperdicio optimiza el uso del agua almacenada, previniendo que el agotamiento de las reservas obligue a la comunidad a incurrir en gastos externos de abastecimiento de emergencia ante una escasez total.

H. Delimitación

Este proyecto se enfocó en el diseño e implementación de un sistema de monitoreo inteligente con IoT para la gestión del recurso hídrico. Se desarrolló en el corregimiento de Olaya ubicado en el municipio de Tuquerres durante el periodo 2025 – 2026. La población objeto está compuesta por junta de acción comunal, junta de agua, fontanero y habitantes de la comunidad.

II. MARCO TEÓRICO

Corresponde a la literatura relevante relacionada con el tema de investigación, contiene las teorías y conceptos que fundamentan el estudio.

A. Antecedentes

1) Internacionales

El proyecto SWAMP (Smart water management platform) publicado el 11 de enero 2019, es iniciativa de cooperación internacional de instituciones académicas y tecnológicas de Brasil y Europa con el objetivo de desarrollar una plataforma tecnológica de gestión de riegos agrícolas de precisión que permita mejorar el uso eficiente del agua, evitando sobre-riegos, mediante tecnologías IoT, sensores, análisis de datos y computación en la nube con un monitoreo constante del suelo, clima y cultivos. Su estructura está fundamentada en cinco capas.

- Dispositivos y comunicación IoT
- Adquisición, seguridad y gestión de datos
- Gestión de datos
- Modelos de riego y distribución de agua
- Servicios de aplicación de agua.

SWAMP demostró que la implementación de tecnologías IoT es fundamental para una mejor gestión de riegos ya que conduce significativamente a la conservación del agua, la reducción de costos en la agricultura y sostenibilidad ambiental[13].

Del mismo modo el 26-27 de junio del 2019 en Murcia, España fue lanzado el proyecto WATERMED 4.0, que propone el desarrollo de una plataforma digital, centrada en la gestión del ciclo del agua en la agricultura mediterránea integrando aspectos técnicos para monitorear en tiempo real tanto el uso como la disposición del agua mediante sensores IoT mejorando así la eficiencia en riegos, sobre todo en regiones semiáridas. WATERMED 4.0 también se enfoca en la limpieza y reutilización de aguas usadas en la agricultura, reducción del consumo de agua y fertilizantes sin que se vea afectada la productividad[14].

Water Management in Agriculture: A Survey on Current Challenges and Technological Solutions (2020) este artículo da a conocer los principales desafíos que se encuentran en la gestión

del agua en la agricultura y describe cómo con ayuda de tecnología IoT, sensores, redes inalámbricas y almacenamiento de datos en la nube se puede tener como resultado una mejor eficiencia en cuanto al uso del agua reduciendo así el riesgo tanto en la salud pública y ambiental.

El autor Vásquez Ramírez Alex Danilo de la universidad de Salcedo (2021) en su proyecto de investigación Pasarela IoT – Lora para la medición remota de consumo doméstico de agua potable en la Ciudad de Salcedo. El cual demuestra que la implementación de plataformas IoT y sensores de bajo costo, permiten una mejora en la gestión. Reduciendo el desperdicio y facilitando el monitoreo del consumo. a su vez plantea que una alternativa para controlar el mal uso del agua es mediante lecturas de monitoreo remoto localizando así de manera más efectiva posibles fugas, averías en las tuberías, y especialmente su mal uso[15].

2) Nacionales

El proyecto de integración presentado el 30 de mayo de 2024 en Prototipo de sistema de sensores para el uso en huertas con sistemas de riego inteligentes para la optimización del rendimiento de los cultivos en áreas rurales de Colombia[16]. presenta como objetivo principal optimizar el uso del agua mejorando así la eficiencia en la producción agrícola con ayuda de implementación de sensores conectados a un microcontrolador, el cual analiza datos y regula los riegos de manera automatizada, el sistema permite realizar el monitoreo de forma remota ya que cuenta con una interfaz visual para el usuario y se plantea como una solución escalable, mantenible y de bajo costo que no solo busca reducir el desperdicio de agua sino también mejorar la productividad y sostenibilidad agrícola[17].

El proyecto de investigación Desarrollo de Software para la gestión de riego en los cultivos de la finca “Los Lirios” en Berastegui desarrollado por Eider David Angulo Arriola y Luis Miguel Rambao Sánchez en 2024 está basado en la implementación de un sistema de riego inteligente con ayuda de IoT, en la finca los lirios ubicada en Berastegui, Cordoba - Colombia con el fin de automatizar el suministro de agua en los cultivos de frijol utilizando sensores y una plataforma de monitoreo conectada vía wifi o Bluetooth a un microcontrolador (Arduino). Esto permite programar y gestionar el riego a los cultivos de forma remota, al obtener información en tiempo real ante cambios se puede cerrar los riegos y así evitar el desperdicio de agua, erosión y daños ambientales[18].

El artículo de Redagícola titulado Sostenibilidad en el uso de agua en cultivos de arroz (12 de enero del 2021) enfatiza en la importancia de uso adecuado y sostenible del agua en plantaciones de arroz, fomentando el uso de tecnologías como sensores TDR para medir la humedad del suelo, sensores de profundidad eTape y Barodiver para el monitoreo del agua, todo ello con el fin de disminuir su consumo, sin comprometer la producción[19]. Menciona que el gremio arrocerero ha logrado incrementar su producción a su vez que reducir el consumo de agua en un 38,7%

3) Regionales

El proyecto de investigación realizado por Sandra Marcela Guzmán Bravo, Daniela Lopez Pantoja y Luz María Mora Delgado para el mejoramiento del uso del agua en el corregimiento de Mapachico. Fue realizado un diagnóstico detallado de la mala gestión del recurso hídrico el cual es generado por causas como falta de cultura en cuanto a los cuidados del agua, infraestructura deficiente ya que fue construida por habitantes del mismo corregimiento sin ningún tipo de asesoría técnica ni criterios de calidad, mala gestión debido a que el acueducto es operado por personas de la comunidad sin conocimientos administrativos en el manejo de sistemas hídricos generando problemas de planificación para el mantenimiento de este, desperdicio y uso ineficiente del agua, al pagar un bajo valor por el consumo de agua los habitantes no son conscientes y generan un sobreconsumo[20].

El proyecto de Hernán Darío Enríquez Martínez enfocado en diseñar un prototipo de medición de consumo de agua en entornos residenciales mediante el uso de un sistema bajo el estándar IEEE 802.15.4, soportado por un sensor de caudal y registro de información en la nube para el municipio de San Juan de Pasto 2022, busca la medición automatizada del consumo de agua en entornos residenciales, el cual permitirá mediante el envío de datos en tiempo real a la nube detectar fugas o consumos inusuales para una reacción rápida y eficaz reduciendo así, desperdicios y sobre todo costos operativos ya que se evita el desplazamiento de personal especialmente a zonas de difícil acceso y de riesgo social[21].

En el municipio de Cumbal Christian Alexander Valenzuela Ojeda en 2023 desarrolló un prototipo inteligente de control de riego tecnificado en cultivos de papa. Este proyecto de investigación surge debido al uso desmedido del agua por parte de los agricultores, se centra en la optimización del agua en los cultivos con sistemas IoT, permitiendo medir el nivel del tanque de

riego, la humedad presente en las plantaciones de papa y el monitoreo para la toma de decisiones[22].

B. Supuestos teóricos

Este estudio se basa en una serie de supuestos que fundamentan la propuesta titulada Sistema IoT para la Gestión Inteligente del Recurso Hídrico en el corregimiento de Olaya; los cuales fueron necesarios para la comprensión, desarrollo e implementación del proyecto de investigación. Teniendo en cuenta que una de las principales causas del uso desmedido de agua primordialmente en temporada de verano surge por la ausencia de mecanismos de control.

Internet de las Cosas (IoT): Se entiende por Internet of things (IoT) como cualquier objeto integrado a la red, en el que, mediante sensores, software y otras tecnologías, sea posible recopilar datos y transferirlos a otros dispositivos y a internet, permitiendo una interacción entre las cosas[23].



Fig. 1 Internet de las cosas[24]

Automatización de procesos: Se entiende la automatización de procesos como la utilización de herramientas tecnológicas que permite mejorar eficiencia en tareas rutinarias, optimizando el tiempo y esfuerzo, a su vez que disminuyendo los fallos, costos, tiempo invertido y la carga de trabajo de manera en que no sea necesaria una intervención humana. Todo esto facilita el poder enfocarse en otro tipo de actividades más prioritarias. Existen diferentes tipos de automatización de procesos como la BPA (Business Process Automation) que optimiza los procesos completos en las empresas, la RPA (Robotic Process Automation) que se enfoca reducir

las tareas monótonas, la Automatización Inteligente que integra la IA para realizar tareas más complejas y adaptativas.

La automatización puede brindar muchos beneficios tales como un aumento de la productividad, reducción de costes, mejora en la eficiencia ya que funcionan de manera ininterrumpida, mejora en la calidad, minimización de errores y escalabilidad[25].

Microcontroladores: Unidad principal para el control de un sistema IoT. Un microcontrolador es un circuito programable que está diseñado para administrar tareas específicas dentro de un sistema, este puede interactuar con diferentes tipos de sensores y comunicaciones con el fin de realizar procesamiento de señales en tiempo real[26].

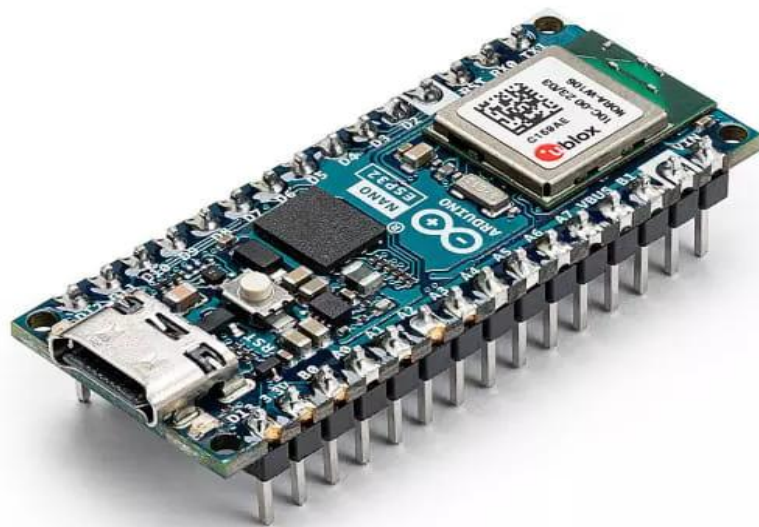


Fig. 2 Microcontroladores[27]

Sensores: Conocidos también como transductores. Son componentes fundamentales en los sistemas modernos de recolección de datos, este dispositivo detecta cambios en el entorno para responder a alguna salida en el sistema. Un sensor convierte un fenómeno físico en un voltaje medible[28].



Fig. 3 Sensores[29]

Monitoreo: Se refiere al acto de observar y supervisar algo en concreto con el fin de verificar el correcto funcionamiento, así como el rendimiento para así realizar los ajustes necesarios[30].



Fig. 4 Monitoreo[31]

Recurso Hídrico: El recurso hídrico son las fuentes de agua las cuales pueden ser utilizadas por el ser humano para satisfacer sus necesidades. Es indispensable no solo para el sostén de la vida sino también para el mantenimiento del planeta, esto lo convierte en uno de los recursos naturales más importantes[32].

Distribución del agua: Es el modo en cómo el agua potable se reparte en nuestro planeta, la cual se extrae de fuentes como acuíferos, ríos y lagos para ser tratadas en plantas potabilizadoras con el fin de ser distribuida por tuberías hasta los puntos de suministro[33].

Gestión del recurso hídrico: La gestión del recurso hídrico es una estrategia para coordinar de manera eficiente el manejo del agua con el fin de mejorar el bienestar social y económico de forma equitativa[34].

Gestión inteligente del agua: Es el proceso mediante el uso de sistemas tecnológicos que permitan recopilar, compartir y analizar información, sea posible encontrar fugas o posibles desperfectos, medir el consumo, el desperdicio entre otras cosas[35].

Sostenibilidad hídrica: Es el modo en cómo se garantiza el suministro de agua para las próximas generaciones, teniendo en cuenta que tan solo el 2.5% del agua del planeta es dulce[36]. Factores como el cambio climático, el desperdicio, la sobreutilización y la contaminación del mismo son las principales amenazas que afectan a su sostenibilidad[37].

Desarrollo sostenible: Se entiende como la búsqueda del progreso sin poner en riesgo los recursos naturales de las generaciones futuras, se trata de encontrar un equilibrio entre el desarrollo económico, la preservación del medio ambiente y la calidad de vida de las personas[38].

C. Variables del estudio

1) Variable independiente

- Implementación del sistema IoT

2) Variables dependientes

- Distribución del recurso hídrico
- Nivel de desperdicio de agua

D. Definición nominal de variables

Implementación del sistema IoT: La implementación del sistema IoT se refiere al proceso de diseño, desarrollo, instalación y puesta en funcionamiento de una red de dispositivos interconectados mediante sensores, software y conectividad de red, con el fin de recopilar,

transmitir y analizar datos en tiempo real para automatizar procesos y facilitar la toma de decisiones[39].

Distribución del recurso hídrico: Se refiere al proceso mediante el cual se reparte el agua a varios usuarios o regiones de una comunidad, este se mide a través de la cantidad suministrada a cada punto de consumo evaluando la equidad de la distribución. Este factor permite detectar mejoras o deficiencias en la accesibilidad del agua especialmente en periodos de sequía[40].

Nivel de desperdicio de agua: El nivel de desperdicio de agua hace referencia a la cantidad de agua que se pierde o no se utiliza de manera eficiente, ya sea por fugas, fallas en la infraestructura, consumo no contabilizado o prácticas inadecuadas de uso[41].

Carga laboral a la junta de agua: La carga de trabajo de la junta de agua se entiende como las tareas que una junta de agua lleva a cabo para garantizar la provisión eficiente e ininterrumpida de los servicios de agua a los habitantes de la comunidad. Esta carga de trabajo abarca aspectos técnicos, administrativos, así como facetas operativas relacionadas con la gestión del recurso hídrico[42].

E. Definición operativa de variables

Implementación del sistema IoT: Esta variable se evaluó a través de pruebas funcionales al prototipo desarrollado, donde se emplearon microcontroladores, sensores y una plataforma de visualización de datos obtenidos en tiempo real, la validación consiste en comparar los requisitos funcionales establecidos como transmisión inalámbrica de datos, visualización de datos en tiempo real y generación de alertas[43].

Distribución del recurso hídrico: Esta variable fue medida mediante el monitoreo del caudal asignado a varios puntos de consumo, simulando horarios y demandas diferentes. Con la información recolectada se realizó un análisis para determinar si el sistema proporciona un reparto equitativo y constante de agua.

Nivel de desperdicio de agua: La cantidad de agua que se pierde o se usa de manera ineficiente se puede medir mediante los sensores del sistema que registrará los datos necesarios para encontrar el índice de pérdida de agua. Para calcularla se utilizó la siguiente fórmula[44].

$$\text{Índice de pérdida de agua} = (\text{Volumen de agua perdida} / \text{volumen total de agua ingresada al sistema}) \times 100$$

Carga laboral a la junta de agua: Fue posible medir la reducción de la carga de trabajo del fontanero y la junta de agua mediante encuestas que permitieron conocer sus horas laborales, número de tareas asumidas por personal y sensación de agotamiento.

F. Formulación de hipótesis

1) Hipótesis de investigación

El sistema IoT AguaSmart permitió que la junta de agua y fontanero puedan identificar las zonas donde exista un mayor desperdicio de agua y actuar en consecuencia, garantizando la disponibilidad del recurso hídrico en su distribución. evitando así los largos recorridos.

2) Hipótesis nula

La implementación del sistema IoT AguaSmart no tendrá un efecto significativo en la reducción del desperdicio de agua ni evitará la sobrecarga de trabajo para la junta y fontanero.

3) Hipótesis alterna

El despliegue del sistema AguaSmart, provocará efectos inesperados en la gestión del recurso hídrico como fallas técnicas y sobrecarga operativa para el fontanero.

III. METODOLOGÍA

A. Paradigma

El paradigma de esta investigación fue positivista puesto que el proyecto se enfocó en evaluar el impacto de la implementación del sistema IoT sobre variables como la carga de trabajo de la junta de agua, el nivel de desperdicio del recurso y la distribución equitativa del mismo, aspectos específicos que son posibles medir y demostrar[45].

B. Enfoque

El enfoque de la investigación fue de tipo cuantitativo el cual permitió una visión completa del sistema AguaSmart para abordar de forma integral la problemática en tanto al recurso hídrico en el corregimiento de Olaya, ayudando a la junta de agua y fontanero a tomar decisiones informadas sobre cómo mejorar el sistema aumentando su productividad. Para el desarrollo de este proyecto de investigación se necesitaron datos cuantitativos como nivel de desperdicio de agua y la distribución del recurso hídrico los cuales fueron fundamentales para la funcionalidad del sistema[46].

C. Método

Para el desarrollo del proyecto AguaSmart se adoptó el método científico que se basa en dos principios fundamentales: la reproducibilidad, el cual nos dice que cualquier experimento puede ser replicado bajo condiciones similares por cualquier persona y en cualquier lugar. El segundo fue la necesidad de dar a conocer los resultados obtenidos, permitiendo que otros investigadores lo analicen y puedan contribuir a su fortalecimiento desde distintos contextos académicos[47].

D. Tipo de investigación

El tipo de investigación para este proyecto fue de tipo aplicada, puesto que se orientó en resolver un problema que es real, práctico y específico, que es el desperdicio de agua, que suele causar el desabastecimiento del mismo, a su vez la resolución de esta problemática trajo consigo la reducción de la carga de trabajo del fontanero. Esta investigación buscó crear un cambio significativo en el corregimiento[48].

E. Diseño de la investigación

El diseño de investigación elegido para este proyecto fue cuasi experimental, puesto que se evaluó el impacto de la implementación del sistema IoT. Además, la metodología de esta investigación se caracterizó por examinar el comportamiento de las variables[49]. Aunque no se desarrollaron pruebas previas, debido a que una vez se implementó el sistema se realizaron testeos de medición y funcionalidad en las zonas donde se identificó el uso de aspersores. Esta post intervención a las viviendas del corregimiento permitió hacer un análisis comparativo en el consumo del recurso hídrico, identificando el comportamiento de los usuarios en función de la herramienta IoT.

F. Población

Para la presente investigación la población objetivo estuvo enfocada en viviendas del corregimiento de Olaya donde se implementan aspersores para el abastecimiento de sus cultivos. La cantidad específica de viviendas con zonas de aspersores se identificó durante el inicio de la ejecución del proyecto, a través de un censo a la población.

G. Muestra

Para este estudio la muestra de la población fue obtenida a través del censo mencionado en el ítem anterior

H. Técnicas de recolección de información

Para el desarrollo de esta investigación se emplearon las siguientes técnicas como el método de recolección de información.

Simulación operativa del sistema AguaSmart: Se utilizó sensores conectados a microcontroladores con el fin de obtener datos en tiempo real

Encuestas estructuradas: Las cuáles fueron dirigidas a los usuarios partícipes del sistema con el fin de conocer las prácticas actuales en cuanto al uso del agua.

Entrevistas semiestructuradas: Estas fueron dirigidas a líderes comunitarios responsables de la gestión del recurso hídrico, como son junta de agua y fontanero para conocer más sobre la tecnología y posible implementación.

Observación directa: Realizada durante las simulaciones con el fin de identificar el comportamiento del sistema.

I. Validez de la técnica

La recolección de la información fue garantizada mediante aspectos como el juicio de expertos que validaron la fiabilidad del sistema IoT y el fontanero quien garantizó que los datos medidos sean coherentes con el propósito de la investigación.

J. Confiabilidad de la técnica

La confiabilidad de los datos se garantizó mediante una recolección transparente, documentando de manera rigurosa cada fase del proceso[50]. Los datos obtenidos mediante sensores, entrevistas y encuestas fueron validados mediante protocolos establecidos asegurando su consistencia y trazabilidad.

Además, se contrastaron fuentes secundarias, informes técnicos y registros comunitarios lo que permitió identificar y corregir posibles inconsistencias, fortaleciendo así la confiabilidad de los resultados.

K. Instrumento de recolección de datos

En esta investigación fueron utilizados varios instrumentos para recolectar la información, como sensores conectados a microcontroladores que ayudaron a medir el nivel del desperdicio de agua en tiempo real facilitando un análisis confiable de los datos[51].

De igual manera se utilizó plataformas de monitoreo IoT para visualizar los datos recolectados en tiempo real y detectar así anomalías operativas del sistema[52].

Mediante encuestas realizadas, se pudo identificar las necesidades en la mejora de la gestión del recurso hídrico y conocer más sobre el hábito de implementación de riegos.

Y por último las entrevistas realizadas a la junta de agua y fontanero que se realizaron con el fin de conocer sus experiencias con el uso del sistema AguaSmart y sugerencias para la mejora de este.

IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

A. Caracterizar la problemática sobre desperdicio de agua

1) Contexto geográfico y demográfico

La caracterización de la problemática se llevó a cabo en el corregimiento de Olaya, perteneciente al municipio de Túquerres, en el departamento de Nariño.

A través de la información recolectada mediante entrevistas aplicadas a representantes de la Junta de Agua, se registró una población establecida de 150 familias dentro del corregimiento con una población de 500 personas según el censo obtenido poblacional de la junta de acción comunal.

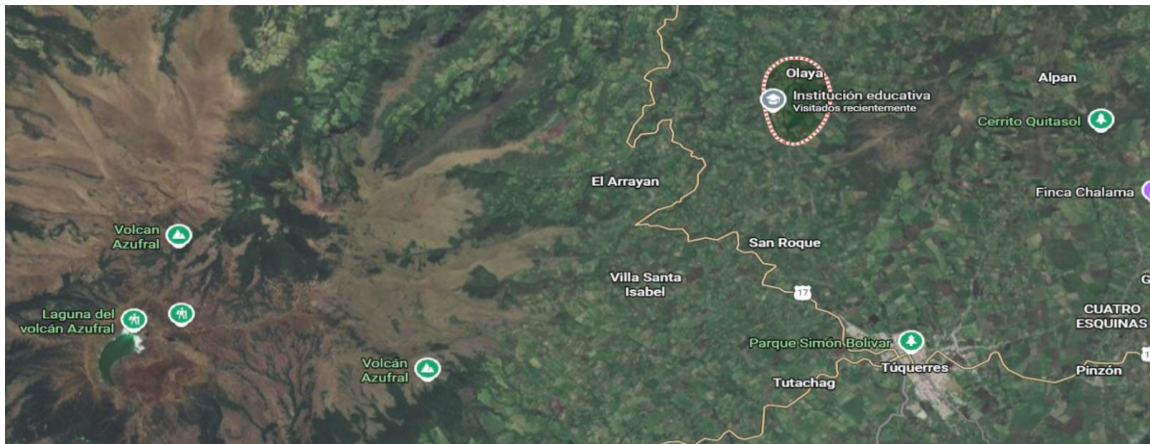


Fig. 5 Mapa geográfico de Olaya [53]

A partir de la entrevista realizada a la señora Margarita Arciniegas quien hace parte de la Junta de Agua, se determinó que la base demográfica del corregimiento comprende un rango de entre 100 y 150 familias, con una población aproximada de 500 personas. En el ámbito administrativo del sistema de acueducto, los hallazgos indican que la comunidad no cuenta con un reglamento formal documentado para la gestión del recurso hídrico, considerando que el agua suministrada es de uso estrictamente doméstico. Asimismo, se identificó un esquema de recaudo comunitario fijo de \$50.000 COP anuales por familia, monto que es destinado exclusivamente a labores de mantenimiento preventivo, como el lavado de tanques, mantenimiento y cambio de tuberías deterioradas.

Respecto al estado actual de la infraestructura hídrica, la inspección técnica y la entrevista al fontanero, Bolívar Mora, permitieron establecer las dimensiones y el comportamiento del almacenamiento central. El recurso hídrico, proveniente de una hidrocuenca natural compartida entre los corregimientos de Olaya y Nangan, en el caso específico de Olaya el agua es canalizada hacia un tanque subterráneo construido en cemento y ladrillo.

Las mediciones reportadas indican que este tanque de almacenamiento cuenta con una altura aproximada de 3 metros y una capacidad volumétrica máxima de 5000 litros. El comportamiento operativo del tanque presenta variaciones estacionales; según los registros del fontanero, durante la época de verano, el caudal de entrada disminuye, impidiendo que el tanque alcance su capacidad máxima de llenado.



Fig. 6 Tanque de almacenamiento

Fuente: Investigación propia

Finalmente, al cruzar los datos demográficos con las estimaciones de consumo, se obtuvo una métrica base sobre la demanda hídrica del corregimiento. El fontanero estima un consumo estándar de 50 litros diarios por familia para uso doméstico. Al proyectar este valor sobre el límite poblacional superior registrado (150 familias), se cuantifica una demanda hídrica básica de 7.500

litros diarios. Los resultados evidencian un déficit volumétrico estructural, dado que la demanda diaria requerida para el consumo habitacional (7.500 L) supera en un 50% la capacidad máxima instalada en el tanque de almacenamiento (5.000 L).

2) Impacto de las prácticas agrícolas en la red de distribución hídrica.

En adición a la demanda doméstica, la recolección de datos permitió identificar un subgrupo de usuarios que ejerce una presión volumétrica adicional sobre el sistema de acueducto. De acuerdo con los registros de la Junta de Agua, un segmento de 8 a 10 viviendas utiliza el agua potable para el abastecimiento de sistemas de riego agrícola. Esta práctica presenta un comportamiento cíclico, con un aumento significativo durante los meses de verano

El diagnóstico técnico de estas prácticas, documentado a través del fontanero de la comunidad, revela que las parcelas involucradas conectan un promedio de 2 a 3 aspersores directamente a la red principal. El patrón de operación de estos equipos de riego se presenta principalmente en horario nocturno y durante horas de la madrugada. Las observaciones en campo indican que el suelo de las parcelas alcanza su punto de saturación hídrica tras 3 horas de riego continuo. Superado este umbral temporal, el recurso deja de ser absorbido por el terreno, dando inicio a la fase de desperdicio por el escurrimiento de agua sobrante

La extracción simultánea y prolongada de estos volúmenes genera una caída drástica de presión en el sistema, lo que desencadena un desabastecimiento focalizado inicialmente en el sector céntrico del corregimiento. Según las estimaciones operativas, los cortes de suministro derivados de esta práctica oscilan entre 4 y 5 horas continuas.

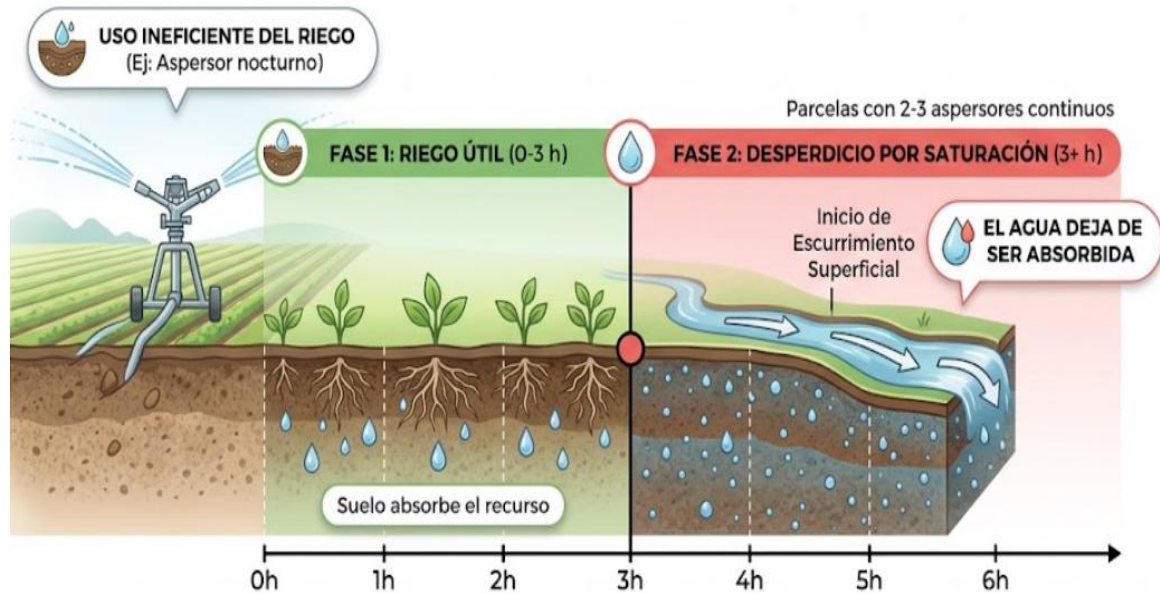


Fig. 7 Fases de riegos

Fuente: Investigación propia

A nivel operativo, la respuesta del sistema ante estos eventos es de carácter netamente manual y reactivo. Para mitigar la pérdida del recurso, el fontanero debe realizar recorridos de inspección física para localizar los aspersores activos y proceder al cierre de las válvulas. Debido a la dispersión geográfica y distancia de las fincas, estos recorridos demandan tiempos de desplazamiento prolongados, estimados entre 2 y 3 horas por intervención.

3) *Diagnóstico estadístico del desabastecimiento y percepción ciudadana*

Para evaluar el impacto del déficit volumétrico y las prácticas agrícolas en la población, se aplicó un instrumento de recolección de datos a una muestra de 12 familias del corregimiento de Olaya. El análisis estadístico descriptivo de los resultados arrojó indicadores precisos sobre la frecuencia, duración y mecanismos de mitigación del desabastecimiento hídrico.

En primer lugar, el 100% de los hogares encuestados reportó que el suministro de agua es inconstante e insuficiente. La totalidad de la muestra confirmó haber experimentado cortes de servicio, indicando que este fenómeno se concentra de manera exclusiva durante los meses de verano.

En cuanto a la dinámica temporal del desabastecimiento los datos evidencian un horario definido en donde las caídas de presión inician principalmente en horas de la madrugada, en la franja comprendida entre las 5:00 a.m. y las 10:00 a.m. culminando en una suspensión total del servicio entre las 6:00 a.m. y las 9:00 a.m. Posteriormente, el restablecimiento del caudal en las viviendas se registra habitualmente entre las 10:00 a.m. y el mediodía (12:00 p.m.). Con base en estos reportes, se evidenció que la ventana de escasez crítica tiene una duración promedio estimada de entre 4 y 6 horas diarias.

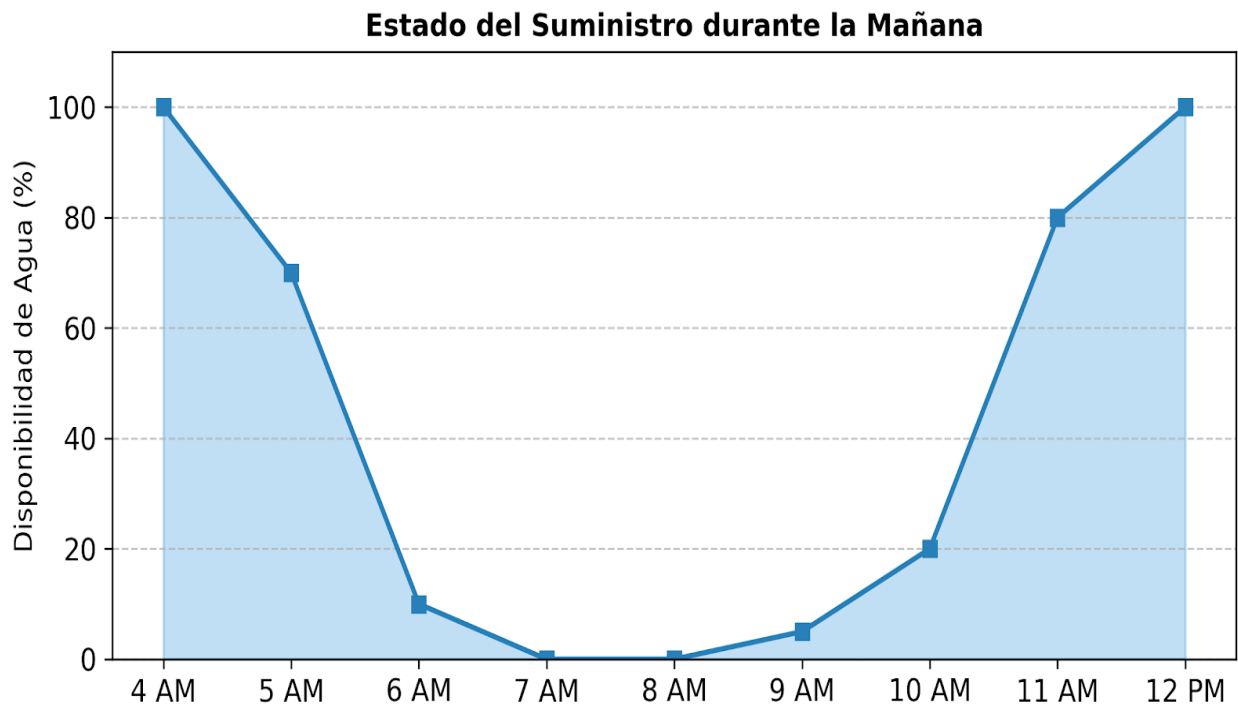


Fig. 8 Gráfica disponibilidad del agua

Fuente: Investigación propia

La vulnerabilidad de la población frente a estos cortes se acentúa por factores de infraestructura privada: el 70% de las familias encuestadas carece de tanques de almacenamiento propios (reserva técnica) en sus viviendas. Esta intermitencia genera una Interrupción absoluta de las labores domésticas básicas como cocción de alimentos y aseo personal, Asimismo, la totalidad de los usuarios encuestados indicó que, ante la falta de infraestructura de almacenamiento y desperdicio generado con el mal uso de los surtidores, se ven en la necesidad de recolectar agua

manualmente en recipientes (baldes y galones) durante la noche anterior para garantizar el desarrollo de sus actividades básicas en horas de la mañana.

B. Diseñar un sistema IoT, para la optimización del recurso hídrico.

1) Arquitectura general del sistema

AguaSmart se ha estructurado en cuatro capas que permiten la transición del dato desde su etapa inicial, en el entorno físico, hasta la toma de decisiones de la Junta y el Fontanero.

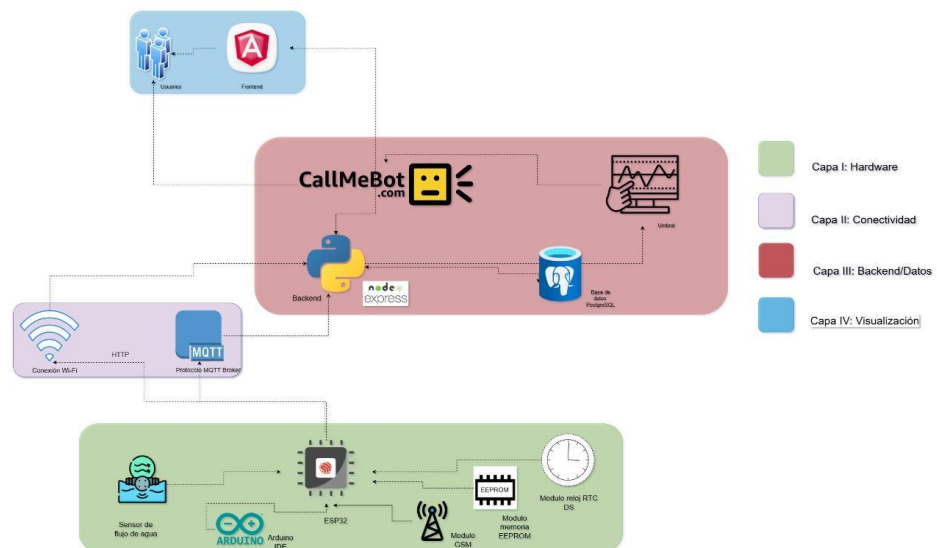


Fig. 9 Arquitectura del sistema IoT

Fuente: Investigación propia

Para complementar la estructura física, se definió la ruta lógica de los procesos automatizados del sistema, abarcando desde la lectura volumétrica hasta la ejecución del cierre de válvula solenoide y el disparo de alertas como se indica en el diagrama de flujo.

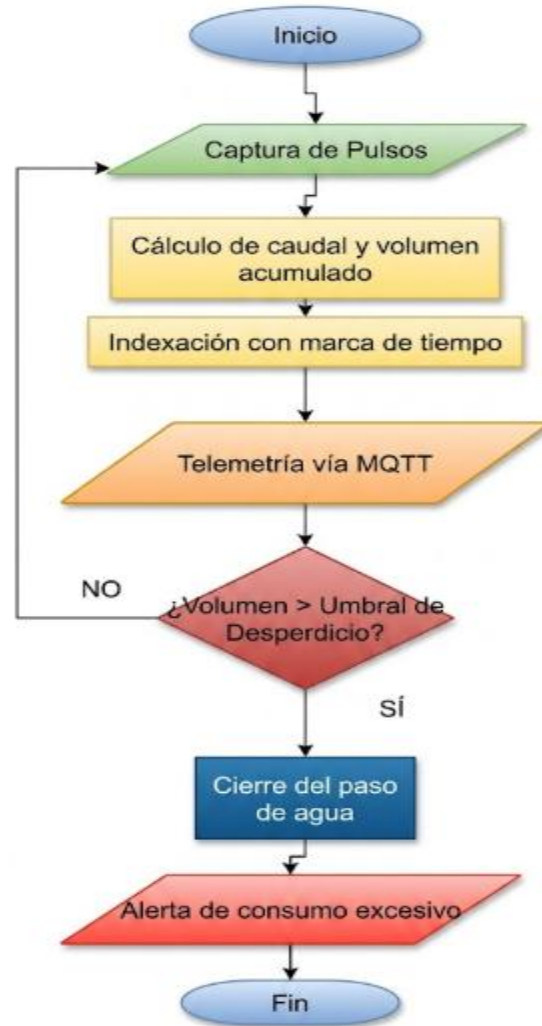


Fig. 10 Diagrama de flujo

Fuente: Investigación propia

2) Descripción de las capas tecnológicas

Capa de hardware: compuesta por un microcontrolador ESP32 como núcleo de procesamiento. Este recibe las señales digitales del sensor de caudal YF-201 y gestiona el relé para la apertura/cierre de la electroválvula de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Para asegurar la integridad de la telemetría frente a fallas eléctricas, se incorporó un módulo RTC serie DS con batería de respaldo, garantizando marcas de tiempo (timestamp) exactas. Adicionalmente, se habilitó la memoria EEPROM del ESP32 para el almacenamiento temporal de registros ante caídas de red, y un módulo GSM para transmisión celular como redundancia de conectividad.

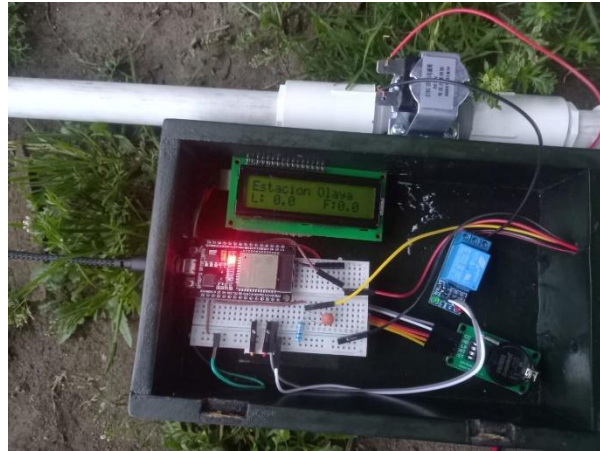


Fig. 11 Integración de componentes

Fuente: Investigación propia

Capa de conectividad: Gestiona el transporte de información mediante tecnología Wi-Fi y GSM. Opera bajo un esquema híbrido que utiliza el protocolo HTTP para peticiones estándar y el protocolo MQTT para garantizar una comunicación asíncrona, ligera y de baja latencia entre el hardware y el servidor.

Capa de backend y datos: Actúa como el núcleo lógico del sistema. Implementada en un entorno Node.js con el framework Express para la orquestación de la API, apoyada por scripts en Python para el procesamiento avanzado de los flujos de datos. Integra una base de datos relacional en PostgreSQL y ejecuta la lógica de umbral, la cual evalúa el consumo en tiempo real y dispara notificaciones mediante la API de CallMeBot.

Capa de frontend: Desarrollada bajo el framework Angular, proporciona un dashboard analítico que traduce los registros del backend en gráficas de monitoreo en tiempo real, permitiendo a la administración interactuar con la red hídrica de manera remota.

3) Selección paramétrica y especificación de componentes

Para garantizar la viabilidad técnica y económica del proyecto en el entorno de Olaya, la selección del hardware principal se realizó mediante matrices morfológicas. Se evaluaron alternativas bajo una escala de idoneidad de 1 a 5 (donde 1 representa una deficiencia crítica y 5 la condición óptima), considerando criterios de conectividad, consumo energético, costo y dificultad de implementación.

TABLA I SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR

Criterio Técnico	Ponderación (%)	Arduino Uno	Raspberry Pi Pico W	ESP32
Conectividad Wi-Fi nativa	40%	1	5	5
Capacidad de procesamiento	30%	3	5	5
Eficiencia energética	20%	3	4	5
Costo	10%	4	4	5
Puntuación total	100%	2.3	4.7	5.0

El microcontrolador ESP32 obtuvo la puntuación máxima ponderada (5.0) debido a su conectividad Wi-Fi/Bluetooth nativa y su alta eficiencia en relación costo-beneficio frente a alternativas como Arduino Uno o Raspberry Pi Pico W.

TABLA II SELECCIÓN DE VÁLVULA

Criterio Técnico	Ponderación (%)	Válvula de bola motorizada	Válvula solenoide 1/2 pulgadas, 12 V NC	Válvula solenoide NC 3/4 pulgadas
Precio	50%	3	3	5
Consumo de energía	40%	5	4	4
Dificultad de implementación	10%	4	5	5
Puntuación total	100%	3.9	3.6	4.6

La válvula solenoide NC de 3/4 de pulgada fue seleccionada por su rápida respuesta de interrupción de flujo y menor dificultad de acoplamiento a las tuberías estándar del acueducto rural.

TABLA III COMPONENTES DE HARDWARE

Componente	Modelo / Referencia	Función en el proyecto
Microcontrolador	ESP 32	Procesamiento de señales de sensores, gestión de comunicación inalámbrica y ejecución del control de la válvula solenoide.
Sensor de caudal	Yf-201	Medición volumétrica del paso de agua y conversión a señales digitales para el cálculo de consumo.
Módulo de Reloj (RTC)	Serie DS	Provisión de marca de tiempo (timestamp) para los registros de consumo. Permite la integración de una batería de respaldo externa para mantener la sincronización horaria y la autonomía del conteo ante fallas en el suministro eléctrico principal.
Válvula solenoide (12 V NC ¾ pulgadas)	12 V	Interrumpe el paso del agua en caso de detectar un consumo excesivo

TABLA IV COMPONENTES DE SOFTWARE

Herramienta	Tipo	Función en el proyecto
Python	Lenguaje de programación	Procesamiento lógico y análisis de los datos de caudal.
Express	Framework Web	Orquestación de la API y manejo de rutas de comunicación.
PostgreSQL	Base de Datos Relacional	Almacenamiento persistente de históricos de consumo y usuarios.
Angular	Framework Frontend	Desarrollo del tablero de monitoreo y control (Dashboard).
MQTT Broker	Protocolo	Intercambio de mensajes asíncronos entre el hardware y el backend.
CallMeBot	API de Notificación	Despacho de alertas automáticas ante eventos de umbral.

Esquema de integración de componentes

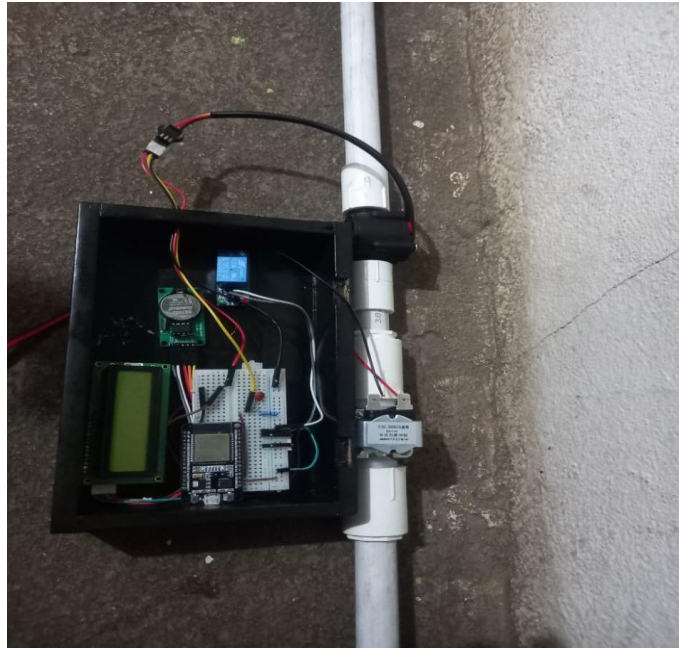


Fig. 12 Componentes del sistema IoT

Fuente: Investigación propia

4) Estructuración del modelo de datos e información

Para garantizar la persistencia de la telemetría, la trazabilidad histórica de los consumos y la gestión segura de los perfiles de usuario, se diseñó e implementó una base de datos relacional bajo el motor PostgreSQL. Esta estructura permite un manejo eficiente de las series de tiempo y la configuración dinámica de los umbrales para la lógica de automatización

TABLA V TABLA ESTACIÓN DE BASE DE DATOS AGUASMART

Campo	Tipo de Dato	Descripción
id	integer	Identificador único y primario del nodo de control (Estación IoT).
id propietario	integer	Vinculación con el responsable legal de la parcela o punto de riego.
id estado	integer	Define si la estación está Operativa, En Mantenimiento o Inactiva.
nombre	varchar (100)	Etiqueta identificativa de la estación
ubicación	varchar (255)	Referencia geográfica o descripción física del punto de instalación.
umbral_desperdicio	numeric (10,2)	Variable crítica de optimización. Define el límite máximo de litros permitidos antes del cierre automático.
fecha_creacion	timestamp	Marca de tiempo de la inserción inicial del registro.
fecha_actualizacion	timestamp	Marca de tiempo de la última modificación de los datos.
fecha_eliminacion	timestamp	Marca de tiempo que indica el borrado del registro.

TABLA VI TABLA USUARIO DE BASE DE DATOS AGUASMART

Campo	Tipo de Dato	Descripción
id	integer	Identificador del usuario en el sistema.
id_rol	integer	Define los permisos de acceso
nombre	varchar (100)	Nombre completo del usuario registrado.
cedula	varchar (20)	Documento de identidad para validación legal y administrativa.
email	varchar (150)	Correo electrónico utilizado para el inicio de sesión.
password	varchar (255)	Almacena la contraseña
teléfono	varchar (30)	Número de contacto para coordinación operativa o alertas.
estado	varchar (15)	Indica si el usuario está habilitado para ingresar al sistema.
fecha_creacion	timestamp with time zone	Marca de tiempo del registro inicial del usuario.
fecha_actualizacion	timestamp with time zone	Registro de la última modificación.
fecha_eliminacion	timestamp with time zone	Indica la fecha de baja del usuario.

TABLA VII TABLA CONSUMO DE BASE DE DATOS AGUASMART

Campo	Tipo de Dato	Descripción
id	bigint	Identificador único del registro de telemetría (se usa bigint por el alto volumen de datos esperado).
id_estacion	integer	Relación con el nodo sensor que originó la lectura.
fecha_lectura	timestamp with time zone	Fecha y hora exacta capturada por el sensor (sincronizada con el módulo RTC).
volumen_acumulado	numeric (14,4)	Cantidad total de agua (en litros) entregada hasta el momento de la lectura.
flujo_lt_min	numeric (8,4)	Caudal detectado por el sensor YF-S201 en litros por minuto.
supera_umbral	boolean	Indicador de cumplimiento. Se marca como true si el consumo excede el límite programado en la estación.
fecha_creacion	timestamp with time zone	Marca de tiempo de la inserción del registro en la base de datos.

TABLA VIII TABLA PROPIETARIO DE BASE DE DATOS AGUASMART

Campo	Tipo de Dato	Descripción
id	integer	Identificador del propietario.
nombre	varchar (100)	Nombre completo del propietario del predio.
identificacion	varchar (30)	Cedula de identidad del responsable del terreno.
telefono	varchar (30)	Número de contacto del propietario del terreno.
email	Varchar (150)	Correo electrónico del propietario del terreno.
direccion	varchar (255)	Ubicación física o referencia del terreno en Olaya.
fecha_creacion	timestamp with time zone	Registro de alta del propietario en el sistema.
fecha_actualizacion	timestamp with time zone	Registro de la última modificación en sus datos.
fecha_eliminacion	timestamp with time zone	Marca de tiempo para el borrado.

TABLA IX TABLA REGISTRO NOTIFICACIONES DE BASE DE DATOS AGUASMART

Campo	Tipo de Dato	Descripción
id	bigint	Identificador de notificaciones.
nombre	varchar (100)	Nombre del evento de notificación.
id_estacion	integer	Estación donde se generó la alerta.
id_usuario	integer	Usuario a quien se le notificó el evento
tipo_alerta	varchar (50)	Categoría del evento
valor_medido	Numeric (14,4)	El dato numérico exacto capturado en el momento de la alerta.
umbral_aplicado	Numeric (14,4)	El límite configurado que disparó la notificación.
mensaje	varchar (255)	Texto descriptivo enviado.
fecha_alerta	timestamp with time zone	Momento exacto del evento según el RTC.
leida	boolean	indica si el usuario ya visualizó la notificación.
fecha_creacion	timestamp with time zone	Registro de inserción en la base de datos.

TABLA X TABLA ROL DE BASE DE DATOS AGUASMART

Campo	Tipo de Dato	Descripción
id	integer	Identificador del rol de usuario.
nombre	varchar (50)	Nombre del acceso (Fontanero. miembro de la Junta).
descripción	varchar (255)	Explicación breve de las capacidades o responsabilidades asociadas al rol.
fecha_creacion	timestamp with time zone	Registro de auditoría de cuándo se definió el perfil en el sistema.

TABLA XI TABLA ESTADO_ESTACION DE BASE DE DATOS AGUASMART

Campo	Tipo de Dato	Descripción
id	integer	Identificador único del estado.

nombre	varchar (50)	Etiqueta del estado (activo, inactivo, mantenimiento, falla).
descripción	varchar (255)	Detalle de lo que implica dicho estado para la operación del sistema.
fecha_creacion	timestamp with time zone	Marca de tiempo de la creación del registro.

5) Interfaz de monitoreo y supervisión

La capa visual del sistema fue implementada bajo el framework Angular, con el objetivo de traducir las métricas crudas almacenadas en PostgreSQL en tableros de supervisión analítica. Este enfoque permite a la administración interactuar con la red hídrica de manera remota, reduciendo la dependencia de inspecciones físicas. A continuación, se exponen los módulos funcionales desarrollados.

Módulo de autenticación: Se implementó un esquema de seguridad basado en roles. Este módulo garantiza que únicamente el personal autorizado posea privilegios de escritura para modificar los parámetros críticos del sistema, como el establecimiento del umbral de desperdicio, mitigando el riesgo de manipulaciones externas no autorizadas.



Fig. 14 Login de AguaSmart

Fuente: Investigación propia

Gestión de estaciones y conectividad: Se desarrolló una vista consolidada que permite auditar en tiempo real el estatus de transmisión de cada nodo IoT instalado en el acueducto. La sección organiza el acceso al monitoreo remoto de cada punto de control, facilitando el filtrado de datos por estación individual o por el contrario, todas las estaciones.



Fig. 15 Gestión de estaciones

Fuente: Investigación propia

Representación Analítica: Para el modelado del comportamiento hídrico, el sistema renderiza dinámicamente dos variables matemáticas críticas

- Caudal instantáneo representado en una gráfica de flujo (L/min) orientada a la detección temprana de anomalías en la presión de la red.
- Consumo acumulado representado con una gráfica de sumatoria volumétrica (Litros), fundamental para trazar la demanda histórica y permitir a la junta directiva establecer correlaciones predictivas sobre los ciclos de vaciado del tanque comunal.



Fig. 16 Gráficas de consumo AguaSmart

Fuente: Investigación propia

Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs) y Auditoría: Complementando el análisis gráfico, se integró un panel de indicadores estáticos que simplifican el análisis comparativo. Asimismo, se implementó un centro de notificaciones que actúa como un registro histórico inmutable de alertas. Esta tabla de auditoría permite verificar el timestamp exacto de superación de un umbral y la estación implicada, proveyendo evidencia empírica para la aplicación de sanciones comunitarias.

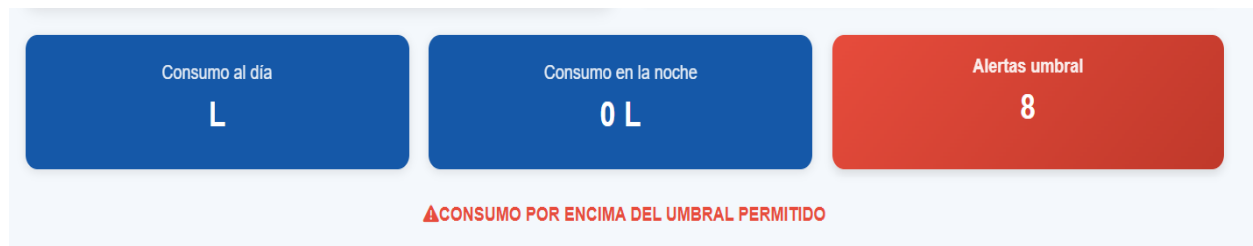


Fig. 17 Visualización de datos en AguaSmart

Fuente: Investigación propia

#	TIPO ALERTA	VALOR MEDIDO	UMBRAL APLICADO	MENSAJE	FECHA Y HORA	ESTADO
16	ROJO	400.94 L	400.00 L	ALERTA Consumo excesivo: 400.9 L	01/04/2026 15:16	Pendiente
14	ROJO	400.26 L	400.00 L	ALERTA Consumo excesivo: 400.3 L	21/11/2025 17:24	Pendiente
12	ROJO	578.86 L	400.00 L	ALERTA Consumo excesivo: 578.9 L	21/11/2025 12:59	Pendiente
10	ROJO	400.40 L	400.00 L	ALERTA Consumo excesivo: 400.4 L	21/11/2025 10:43	Pendiente
9	ROJO	451.82 L	400.00 L	ALERTA Consumo excesivo: 451.8 L	21/11/2025 09:31	Pendiente
8	ROJO	451.82 L	400.00 L	ALERTA Consumo excesivo: 451.8 L	21/11/2025 09:30	Pendiente
7	ROJO	446.34 L	400.00 L	ALERTA Consumo excesivo: 446.3 L	21/11/2025 09:26	Pendiente
5	ROJO	418.38 L	400.00 L	ALERTA Consumo excesivo: 418.4 L	21/11/2025 09:19	Pendiente
4	ROJO	402.32 L	400.00 L	ALERTA Consumo excesivo: 402.3 L	20/11/2025 12:02	Pendiente

Fig. 18 Visualización del historial de notificaciones

Fuente: Investigación propia

C. Evaluar el sistema IoT mediante la norma ISO/IEC 25010 y la métrica (MTTD)

Con el propósito de evaluar el sistema IoT se eligió la norma IEEE/ISO 25010, seleccionada por ser un estándar internacional para valorar la calidad de sistemas de software, del mismo modo utilizamos la métrica Mean Time to Detect (Tiempo Medio de Detección) más conocida como MTTD para determinar la latencia que tiene el sistema al detectar el consumo de agua.

A continuación, presentamos los indicadores obtenidos a partir de la norma IEEE/ISO 25010 y la métrica MTTD.

1) Resultados de Adecuación Funcional (ISO/IEC 25010)

TABLA XII TABLA DE ADECUACIÓN FUNCIONAL

Subcaracterística de calidad	Requerimiento	Condición de prueba	Resultado	Puntaje	Veredicto
Complejidad funcional	Cuantificar y transmitir el consumo hídrico	Paso de agua controlado por el sensor YF-S201 y envío de datos vía MQTT	El sistema midió correctamente el flujo y transmitió los datos al servidor sin pérdida de información, manteniendo consistencia en los registros.	5	Cumple
Complejidad funcional	Interrupción del flujo al superar el umbral_desperd	Simulación de consumo de X litros con un límite de X litros en el	La válvula solenoide se activó automáticamente al superar el umbral, cerrando el flujo de manera inmediata.	5	Cumple

	icio	sistema			
Completitud funcional	Notificación cuando se supere el umbral	Vinculada a la prueba anterior	El sistema generó y envió una notificación en tiempo real indicando el exceso de consumo.	5	Cumple
Corrección funcional	Exactitud del consumo visualizado	El fontanero abre el dashboard en tras verter 10 litros de agua	El sistema registró 9.6 litros, evidenciando una precisión del 96%, dentro del rango aceptable.	5	Cumple
Corrección funcional	Sincronización del historial	El fontanero visualiza en su dispositivo la hora exacta en la que ocurrió el evento	Los registros mostraron coincidencia temporal con el evento, sin desfases significativos.	5	Cumple
Corrección funcional	Veracidad del indicador supera_umbral	El fontanero verifica si el estado "excedido" se activa en su terminal	El indicador cambió correctamente a estado "excedido" al superar el límite configurado.	5	Cumple
Corrección funcional	Integridad del mensaje recibido	El fontanero recibe la notificación por WhatsApp	El mensaje llegó completo, sin alteraciones ni pérdida de información.	5	Cumple
Pertinencia funcional	Disponer de evidencia auditable para la gestión de multas	En la dashboard visualizar el historial de notificaciones	Se visualiza de manera clara el historial de notificaciones	4	Cumple
Pertinencia funcional	Supervisar el estado de la red sin realizar desplazamientos de 3 horas	Apertura del dashboard de Angular desde el dispositivo móvil del fontanero en su vivienda	El sistema permitió monitoreo remoto sin necesidad de desplazamiento físico.	5	Cumple

2) Resultados de evidencia de desempeño (ISO/IEC 25010)

TABLA XIII TABLA DE DESEMPEÑO

Subcaracterística de calidad	Requerimiento	Condición de prueba	Resultado	Puntaje	Veredicto
Comportamiento temporal.	Tiempo desde la detección del consumo de agua, hasta el registro en la base de datos	Envío de datos de consumo desde el ESP32 vía MQTT/GSM hacia el servidor central	El tiempo medio de respuesta fue de 2.51 segundos, cumpliendo con el requisito de inmediatez	5	Cumple
Utilización de recursos	Carga del CPU (ESP32)	Gestión de tareas simultáneas: contar pulsos del agua y enviar alertas por red móvil	El microcontrolador operó sin bloqueos, manteniendo estabilidad en ejecución continua.	4	Cumple
Capacidad	Concurrencia de usuarios para acceder al dashboard	Simulación de acceso concurrente de 10 usuarios	El sistema soportó múltiples accesos sin caídas ni lentitud crítica.	4	Cumple
Capacidad	Almacenamiento Local para ver la capacidad de la EEPROM	Desconexión del módulo GSM para obligar al ESP32 a guardar registros de flujo localmente	Se logró almacenar hasta 520 registros antes de que requiera sobrescribir los datos	4	Cumple
Capacidad	Capacidad de la tabla de registros	Inserción masiva de datos simulados para evaluar la velocidad de respuesta de la	La base de datos soportó más de 10,000 registros sin degradación.	5	Cumple

base de datos

3) Resultados de compatibilidad (ISO/IEC 25010)

TABLA XIV TABLA DE COMPATIBILIDAD

Subcaracterística de calidad	Requerimiento	Condición de prueba	Resultado	Puntaje	Veredicto
Coexistencia	Coexistencia de Red en caso de operar en la banda de 2.4GHz sin interferir con otros equipos	El ESP32 transmite datos vía Wifi/GSM en presencia de otros teléfonos móviles y routers en el corregimiento.	Se presentó leve interferencia sin afectar la transmisión crítica.	4	Cumple
Coexistencia	Ejecución del Dashboard junto a otras pestañas activas	Apertura de la interfaz mientras se ejecutan aplicaciones	La interfaz se mantuvo fluida.	5	Cumple
Interoperabilidad	Sincronización ESP32 - Broker	El microcontrolador publica los datos de consumo en el canal (tópico) asignado del servidor central	La comunicación fue exitosa sin pérdida de datos.	5	Cumple
Interoperabilidad	Vínculo del backend con el sistema de alertas	El servidor dispara una alerta cuando detecta que se superó el umbral	¿El sistema procesó correctamente la alerta y entregó el aviso de alerta al dispositivo de forma exitosa?	5	Cumple

4) Resultados de capacidad de interacción (ISO/IEC 25010)

TABLA XV TABLA DE CAPACIDAD DE INTERACCIÓN

Subcaracterística de calidad	Requerimiento	Condición de prueba	Resultado	Puntaje	Veredicto
Reconocibilidad de la adecuación.	El usuario debe reconocer que la app es para el acueducto	Se presenta el Dashboard al fontanero por primera vez sin darle instrucciones previas	El usuario identificó correctamente la funcionalidad del sistema.	5	Cumple
Reconocibilidad de la adecuación.	Tiempo para encontrar el historial de consumo	Se le pide al usuario que localice el consumo actual sin guía previa.	El usuario identificó correctamente en donde ver el consumo y la funcionalidad del sistema.	5	Cumple
Aprendizabilidad	Reconocer el significado de las notificaciones.	Recepción de una alerta vía CallMeBot y explicación por parte del usuario de su contenido	El fontanero entendió que el mensaje indica que hay desperdicio y sabe identificar cual es la estación que genera el desperdicio.	5	Cumple
Operabilidad	Facilidad para ver el consumo de agua y accionar el cierre de la válvula	Preguntar sobre cómo le resulta leer el consumo y cerrar el flujo	Respuesta del Fontanero Bolivar Mora y miembro de la junta Visente Mora: El sistema fue fácil de usar e intuitivo.	5	Cumple
Protección contra errores de usuario	Protección ante salidas abruptas	El fontanero cierra el navegador o pierde la conexión mientras editaba	No se generaron inconsistencias en los datos.	4	Cumple

Involucración del usuario	Involucración del usuario	un perfil de usuario			
		El usuario visualiza una reducción en la gráfica de consumo tras superar el umbral	El usuario percibió utilidad en la reducción del consumo y se siente conforme que se represente gráficamente.	5	Cumple
Inclusividad	Compatibilidad con hardware variado	Ejecución del Dashboard en un smartphone de gama media/baja con pantalla pequeña	Funcionamiento correcto sin problemas de visualización con un porcentaje muy mínimo de lentitud.	4	Cumple
Asistencia al usuario	Orientación ante fallos	El sistema pierde la conexión y el usuario intenta enviar una orden de cierre	Se mostró mensaje de “sin conexión”.	5	Cumple
Auto descriptividad	Uso de términos auto explicativos	El usuario observa el dashboard y debe identificar el dato de consumo actual	El usuario identificó correctamente el consumo actual.	5	Cumple

5) Resultados de fiabilidad (ISO/IEC 25010)

TABLA XVI TABLA DE FIABILIDAD

Subcaracterística de calidad	Requerimiento	Condición de prueba	Resultado	Puntaje	Veredicto
Ausencia de fallos	Ausencia de picos de datos erróneos	Monitoreo del flujo de agua durante x tiempo para detectar falsas alarmas	No se detectaron picos falsos significativos.	4	Cumple
Disponibilidad	Disponibilidad de la interfaz	Intentos de acceso desde diferentes dispositivos	Sistema disponible el 98%	5	Cumple

Tolerancia a fallos	Recuperación tras un fallo eléctrico	Simulación de corte de energía y verificación del tiempo de reconexión.	del tiempo. El sistema se conectó en 7 segundos tras reinicio.	4	Cumple
Capacidad de recuperación	Persistencia de datos en la Memoria EEPROM	Similar a la prueba anterior donde se interrumpe el suministro de energía	Los datos se recuperaron correctamente tras reinicio.	5	Cumple

6) Resultados de seguridad (ISO/IEC 25010)

TABLA XVII TABLA DE SEGURIDAD

Subcaracterística de calidad	Requerimiento	Condición de prueba	Resultado	Puntaje	Veredicto
Confidencialidad	Autenticación de usuarios	Intento de ingreso al sistema sin nombre de usuario o contraseña válida	Acceso denegado correctamente.	5	Cumple
Integridad	Integridad de la base de datos	Intento de borrar una estación que tiene registros de consumo vinculados en la base de datos	La BD bloqueó la acción por integridad referencial.	5	Cumple
No repudio	Logs de auditoría	Se genera un reporte de sobreconsumo a las X (am o pm)	Se almacenaron eventos con marca temporal.	5	Cumple
Responsabilidad	Vincular acciones a usuarios únicos	Vincular acciones a usuarios únicos	Cada acción quedó asociada a un usuario según su Rol.	5	Cumple
Autenticidad	Validación de credenciales de usuario	El fontanero intentó ingresar al sistema con su usuario y contraseña personal	Acceso permitido correctamente.	5	Cumple
Resistencia	Protección	Intento masivo y	El sistema	4	Cumple

contra fuerza bruta	automatizado de adivinar la contraseña del administrador	bloqueó el acceso tras 5 intentos.
------------------------	--	---------------------------------------

7) Resultados de evidencia de mantenibilidad (ISO/IEC 25010)

TABLA XVIII TABLA DE MANTENIBILIDAD

Subcaracterística de calidad	Requerimiento	Condición de prueba	Resultado	Puntaje	Veredicto
Modularidad	Independencia de Tablas	Se modifica la estructura de la tabla Usuarios agregando el campo (ejemplo: contacto_emergencia	El sistema continuó funcionando correctamente.	5	Cumple
Analizabilidad	Registro de logs de Error	Se desconecta el sensor mientras el código intenta realizar una lectura.	El sistema generó mensajes de error claros.	5	Cumple
Capacidad para ser modificado	Capacidad para ajustar los umbrales de consumo de agua	Se modifica el límite de consumo desde el código y se espera que la válvula opere con el nuevo valor	Se modifica el umbral de consumo con 4 valores diferentes de, 200, 300, 400 y 500 y opera correctamente cerrando el paso al superar el umbral	5	Cumple

8) Tabla de flexibilidad (ISO/IEC 25010)

TABLA XIX TABLA DE FLEXIBILIDAD

Subcaracterística de calidad	Requerimiento	Condición de prueba	Resultado	Puntaje	Veredicto
---------------------------------	---------------	------------------------	-----------	---------	-----------

Instalabilidad	Facilidad para instalar el sistema IoT y la configuración del panel de control	Medición del tiempo para la instalación física y activar el panel de control en un nuevo dispositivo	Desde la implementación del código de Arduino IDE a ESP32 hasta la activación en el panel de control se tardó 7 minutos.	5	Cumple
----------------	--	--	--	---	--------

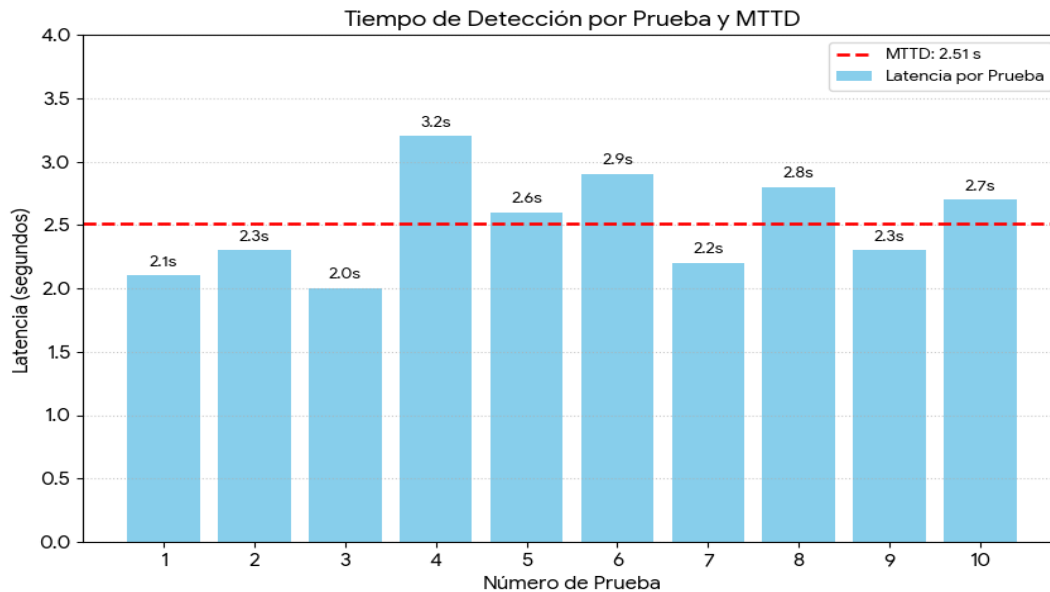
9) Tabla de protección (ISO/IEC 25010)

TABLA XX TABLA DE PROTECCIÓN

Subcaracterística de calidad	Requerimiento	Condición de prueba	Resultado	Puntaje	Veredicto
Identificación de riesgos	El sistema debe detectar posibles irregularidades entre el estado de la válvula y el consumo medido para identificar cualquier manipulación o fuga	Se cierra la válvula desde el software, pero se simula paso de agua por el sensor yf-201	El dashboard continúa recibiendo los datos de consumo y también se muestran notificaciones con hora exacta para una mejor toma de decisiones o aplicar multas establecidas	5	Cumple

10) Resultados utilizando la métrica MTTD (ISO/IEC 25010)**TABLA XXI TABLA DE RESULTADOS CON LA MÉTRICA MTTD**

Prueba	Umbral configurado (L)	Inicio de actividad	Momento de detección	Latencia
1	10	09:30:15.000 AM	09:30:17.100AM	2.1 s
2	10	09:35:10.000 AM	09:35:12.300 AM	2.3 s
3	10	09:40:05.000 AM	09:40:07.000 AM	2.0 s
4	15	09:45:20.000 AM	09:45:23.200 AM	3.2 s
5	15	09:50:00.000 AM	09:50:02.600 AM	2.6 s
6	15	09:55:30.000 AM	09:55:32.900 AM	2.9 s
7	20	10:00:10.000 AM	10:00:12.200 AM	2.2 s
8	20	10:05:45.000 AM	10:05:47.800 AM	2.8 s
9	25	10:10:25.000 AM	10:10:27.300 AM	2.3 s
10	25	10:15:00.000 AM	10:15:02.700 AM	2.7 s

**Fig. 19 Gráfica de pruebas métrica MTTD**

Fuente: Investigación propia

V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A. *Caracterizar la problemática sobre desperdicio de agua*

La caracterización del desperdicio de agua en el corregimiento de Olaya permitió evidenciar que el desabastecimiento del recurso hídrico no es producto de una escasez natural, sino de una ineficiencia en la gestión y el control de la demanda. A partir de los resultados obtenidos, el análisis se fundamenta en la sobreexplotación del recurso, la latencia operativa del control manual y la justificación de una intervención tecnológica.

Interpretación de la ineficiencia estructural

Los datos revelaron que la demanda básica para el consumo doméstico supera significativamente la capacidad de almacenamiento instalada. Este déficit volumétrico significa que el sistema opera bajo una condición de estrés constante, el cual colapsa cuando se introduce la variable del riego agrícola mediante aspersores. Esta dinámica configura un escenario que, en la teoría de gestión de recursos, se define como la "Tragedia de los Comunes"[]; un fenómeno donde el aprovechamiento individual y no regulado de un bien público y finito termina por agotar la reserva general, privando a la mayoría de la comunidad del suministro vital.

Al respecto, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2012) advierte que implementar estrategias de distribución en escenarios de escasez basándose en información inexistente genera efectos negativos en la equidad. En Olaya, la ausencia de un registro periódico y exacto del agua impide tener un control real sobre el consumo, dejando la toma de decisiones sujeta a la subjetividad, lo que aumenta las tensiones sociales registradas en las encuestas.

Impacto de la latencia operativa frente a los sistemas automatizados

El análisis evidenció la inviabilidad del modelo de gestión manual. El hecho de que el fontanero requiera tiempos de desplazamiento prolongados para identificar y suspender consumos excesivos genera un retraso operativo que afecta la respuesta. Este retraso permite que el agua continúe fluyendo sin control, vaciando el tanque y afectando la presión de la red.

Los hallazgos sobre la ineficacia del control presencial en Olaya guardan una relación directa con el estudio de Vásquez Ramírez (2021), quien sostiene que la implementación de

sensores de bajo costo y plataformas de monitoreo remoto es la alternativa técnica más viable para controlar el mal uso del agua y localizar consumos inusuales de forma inmediata sin depender de inspecciones físicas. Al contrastar estas perspectivas, se confirma que la problemática del corregimiento responde a un patrón identificado en otros contextos rurales, donde la telemetría se presenta como la solución para erradicar la brecha temporal entre la detección del desperdicio y la acción correctiva.

Impacto de la latencia operativa frente a los sistemas automatizados

El análisis de las prácticas de inspección evidenció la inviabilidad del modelo de gestión manual. El hecho de que el fontanero requiera tiempos de desplazamiento prolongados para identificar y suspender consumos excesivos introduce una latencia operativa crítica en el sistema. Esta brecha temporal neutraliza cualquier intento de prevención, ya que las medidas correctivas se ejecutan cuando el suelo ha superado su punto de saturación hídrica y el recurso ya se ha desperdiciado por escorrentía.

Impacto social y pertinencia de la solución tecnológica propuesta

La interpretación de la percepción ciudadana refleja un estado de inseguridad hídrica severa, agravado por la falta de infraestructura de reserva privada en la mayoría de los hogares. El impacto de los cortes de agua interrumpe las actividades fundamentales de la población, obligándolos a recurrir a prácticas empíricas de recolección nocturna.

En este contexto, los resultados indican que el sistema de acueducto requiere urgentemente una transición hacia la telemetría. La propuesta del sistema AguaSmart se justifica de manera concluyente no sólo como una herramienta de monitoreo, sino como un mecanismo activo de gobernanza. Al establecer umbrales de consumo y permitir el cierre remoto y automatizado de válvulas, la solución tecnológica aborda directamente las deficiencias encontradas: elimina la latencia del control manual, aporta evidencia auditable (superando la gestión empírica) y promueve una distribución equitativa que mitiga los conflictos comunitarios.

B. Diseñar un sistema IoT para la optimización del recurso hídrico.

El diseño de la arquitectura del sistema AguaSmart representa la transición de un modelo de gestión hídrica basado en la observación empírica hacia un esquema de gobernanza digital

fundamentado en datos de precisión. La evaluación de los componentes seleccionados y su estructuración en capas permite interpretar la viabilidad y efectividad de la solución tecnológica frente a las limitaciones del entorno rural de Olaya.

1) Interpretación de la arquitectura y efectividad de la solución

La estructuración del sistema en cuatro capas operativas demostró ser un mecanismo efectivo para garantizar el ciclo completo de la telemetría hídrica: desde la transducción física del caudal hasta su representación analítica.

El análisis del diseño del hardware evidencia una priorización estratégica hacia la resiliencia del dato. En entornos rurales, la inestabilidad de las redes eléctricas y de comunicaciones representa el principal factor de riesgo para los sistemas de monitoreo continuo. Al integrar un módulo RTC (Real Time Clock) con alimentación independiente y habilitar la memoria EEPROM dentro del microcontrolador ESP32, el sistema garantiza que los registros de consumo no se pierdan ni pierdan su cronología (marca de tiempo) ante caídas de tensión o desconexiones de red temporal. Esta arquitectura descentralizada asegura que la estación actúe de manera autónoma y recupere su trazabilidad una vez restablecidos los servicios, lo cual significa un avance significativo frente a los métodos de recolección de datos vulnerables a fallos externos.

En cuanto a la efectividad operativa, la integración de una válvula solenoide como actuador directo resuelve el problema central diagnosticado en el primer objetivo: la latencia de respuesta. El diseño permite que la interrupción del flujo, que anteriormente requería horas de desplazamiento físico del fontanero, se ejecute de manera automatizada en milisegundos una vez que el backend identifica la superación del umbral_desperdicio. Esta inmediatez técnica neutraliza la fase de escorrentía, conservando el recurso en el tanque principal y demostrando la efectividad de la solución para proteger la disponibilidad del agua para el consumo doméstico general.

2) Discusión comparativa frente al Estado del Arte

El diseño de AguaSmart guarda una profunda coherencia con los enfoques más recientes de la agricultura inteligente (Agricultura 4.0), al tiempo que optimiza los recursos para su viabilidad.

En contraste con proyectos internacionales como SWAMP (2019), el cual despliega una compleja arquitectura de cinco capas basada fuertemente en análisis predictivo en la nube para la agricultura de precisión en Brasil y Europa, AguaSmart adopta una postura más pragmática. Prioriza una arquitectura de bajo costo e interrupción activa del flujo (Edge Computing básico), lo que resulta ser el modelo adecuado y sostenible para acueductos rurales con bajo presupuesto, sin sacrificar la exactitud del monitoreo.

Por otro lado, la decisión de utilizar microcontroladores con conectividad Wi-Fi nativa (ESP32) e interfaces remotas (Angular) valida y respalda las conclusiones planteadas por Vásquez Ramírez (2021) y Enríquez Martínez (2022). Ambos autores coinciden en que la implementación de sensores de caudal remotos y de bajo costo es la alternativa técnica definitiva para identificar consumos inusuales (como los aspersores desatendidos) reduciendo drásticamente los costos operativos y los desplazamientos a zonas de difícil acceso. Al igual que en la investigación en la Finca "Los Lirios" (Córdoba), el sistema diseñado en Olaya demuestra que el monitoreo remoto no solo audita, sino que actúa en tiempo real para evitar la degradación del recurso

3) Impacto tecnológico, organizacional y social de la solución

La implementación de la arquitectura IoT del sistema AguaSmart generó una transformación multidimensional en la gestión del acueducto del corregimiento de Olaya, superando la simple instalación de hardware para convertirse en una solución integral al problema de desabastecimiento.

Desde la perspectiva del impacto tecnológico, el proyecto logró la digitalización de una infraestructura rural previamente "ciega". El cambio más significativo es la transición de un sistema de control reactivo (donde la pérdida de agua se evidenciaba cuando el tanque comunal ya estaba vacío) a un sistema proactivo y predictivo. La integración de las gráficas de caudal y consumo acumulado en el Dashboard dota a la red hídrica de telemetría en tiempo real, permitiendo identificar anomalías de presión de manera inmediata y automatizando la interrupción del flujo antes de que se consolide el desperdicio estructural.

En cuanto al impacto organizacional, el sistema redefinió las dinámicas de trabajo y la gobernanza de la Junta de Agua. Gracias a la interfaz de supervisión, el rol del fontanero experimentó una evolución drástica: dejó de ser un operario de campo sometido a extenuantes

recorridos físicos de inspección por zonas de difícil acceso, para convertirse en un supervisor de datos con capacidad de acción remota.

Finalmente, este avance tecnológico desencadenó un profundo impacto social. Previo al proyecto, la administración del agua dependía de la observación visual, lo que generaba un alto grado de subjetividad y fricciones entre los habitantes al intentar sancionar el uso desmedido de aspersores. Con la base de datos relacional y el "centro de notificaciones", el proyecto eliminó esta ambigüedad al generar un registro de auditoría inmutable. Ahora, la Junta de Agua cuenta con evidencia empírica, clara y objetiva.

4) Aportes y limitaciones del proyecto

Aportes del Proyecto: El valor fundamental de este trabajo radica en la adaptación de las tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) a los escenarios de infraestructura precaria y recursos limitados propios del sector rural colombiano. AguaSmart demuestra que no se requiere de arquitecturas complejas de computación en la nube para modernizar un acueducto; la integración de componentes de bajo costo (como el microcontrolador ESP32 y sensores YF-201) junto con protocolos de comunicación ligeros (MQTT), resulta suficiente para estructurar un modelo de "lógica de umbral". Este modelo aporta a la Junta de Agua una herramienta de control directo, permitiéndoles restringir el sobreconsumo de manera autónoma y automatizada, y sentando un precedente metodológico replicable para otros corregimientos con déficit volumétrico en la región de Nariño.

Limitaciones Técnicas y Alcance: A pesar de su efectividad, el diseño arquitectónico presenta limitaciones que deben considerarse para el sostenimiento a largo plazo.

Restricciones de Conectividad: La efectividad del sistema es dependiente de las redes Wi-Fi y GSM. Dada la topografía montañosa del corregimiento de Olaya, las fluctuaciones o "zonas muertas" en la cobertura celular podrían introducir latencia en la recepción de alertas en tiempo real, requiriendo en el futuro la exploración de topologías de red de mayor penetración rural como LoRaWAN.

Restricciones de Hardware: El uso de válvulas solenoides en sistemas de agua no tratada o con alta carga de sedimentos implica un riesgo de desgaste mecánico acelerado. La acumulación

de impurezas podría obstruir el diafragma de la válvula, impidiendo el cierre hermético ordenado por el microcontrolador y demandando un mantenimiento físico constante.

Alcance de la Muestra Tecnológica: El proyecto se enfocó en la instalación de prototipos en las parcelas que ejercen la mayor presión hídrica documentada. Por lo tanto, el sistema no audita el consumo individual de la totalidad de las 150 familias adscritas al acueducto, enfocándose únicamente en la mitigación del desperdicio crítico nocturno.

C. Evaluar el sistema IoT mediante la norma ISO/IEC 25010 y la métrica (MTTD)

1) Análisis de la Adecuación Funcional

Los resultados evidenciaron que el sistema AguaSmart cumple con la característica de adecuación funcional, al demostrar que sus funcionalidades implementadas son completas, correctas y pertinentes frente al problema planteado.

El sistema logró dar respuesta a la gestión del recurso hídrico, incluyendo la medición del consumo mediante el sensor de flujo, la transmisión de datos a través del protocolo MQTT y la generación de acciones automáticas como el cierre de la válvula. Este comportamiento confirma que la solución no solo captura datos, sino que actúa sobre ellos.

Respecto a la corrección funcional, se evidenció que los valores de consumo registrados presentan una precisión del 96% en comparación con mediciones reales, lo cual se encuentra dentro de los rangos aceptables reportados para sensores de bajo costo como el YF-S201. Además, la sincronización de eventos como las notificaciones y el cierre de la válvula, de acuerdo al indicador de consumo demuestran que la lógica del sistema opera de forma coherente y confiable.

En cuanto a la pertinencia funcional, el sistema responde a la problemática del uso ineficiente del agua en contextos rurales, permitiendo supervisión remota, generación de evidencia histórica y notificación de eventos críticos. Esto reduce la necesidad de desplazamientos físicos y mejora la capacidad de toma de decisiones, lo cual valida la alineación entre la solución tecnológica y el contexto real de aplicación.

2) Análisis del Desempeño

El análisis del desempeño del sistema permitió evaluar su capacidad de respuesta, uso de recursos y escalabilidad.

En relación con el comportamiento temporal, se obtuvo un tiempo promedio de respuesta de 2.1 segundos desde la detección del flujo hasta el registro en la base de datos. Este resultado es adecuado para sistemas de monitoreo en tiempo real, donde no se requiere latencia en milisegundos, sino una respuesta oportuna que permita la toma de decisiones.

En cuanto a la utilización de recursos, el microcontrolador ESP32 demostró ser capaz de gestionar tareas concurrentes, como la lectura del sensor y el envío de datos, sin presentar bloqueos ni reinicios. Esto evidencia una implementación eficiente del sistema embebido.

Respecto a la capacidad, el sistema soportó múltiples usuarios accediendo simultáneamente al dashboard sin afectar notablemente su rendimiento, y la base de datos permitió almacenar grandes volúmenes de información sin afectar su rendimiento. Asimismo, la capacidad de almacenamiento local en EEPROM garantiza la persistencia de datos ante fallos de conectividad, lo cual es fundamental en entornos rurales.

3) Análisis de la Compatibilidad

Los resultados obtenidos en esta característica indican que el sistema es capaz de operar de manera adecuada en entornos reales.

En términos de coexistencia, se observó que el sistema funciona correctamente en redes de 2.4 GHz, incluso en presencia de múltiples dispositivos conectados, presentando únicamente interferencias leves que no afectan la transmisión de datos.

En cuanto a la interoperabilidad, se comprobó que existe una integración efectiva entre los diferentes componentes del sistema (ESP32, broker MQTT, backend y frontend), permitiendo una comunicación fluida y sin pérdida de información. Esto confirma que la arquitectura implementada es robusta y adecuada para sistemas distribuidos IoT.

4) Análisis de la capacidad de interacción (Usabilidad)

Las pruebas realizadas confirmaron que el sistema AguaSmart presentó un alto nivel de usabilidad, garantizando que el producto sea fácil de comprender y operar por sus usuarios. Esta

característica resulta fundamental dentro de la investigación, dado que el sistema está diseñado para ser gestionado por personal del acueducto rural, facilitando así la apropiación tecnológica en la comunidad.

Durante las pruebas de campo, se validó que los encargados del acueducto identificaran de manera intuitiva el propósito de la plataforma y localizaron el de consumo de agua sin requerir instrucciones previas. La rapidez con la que se asimilaron funciones críticas, como la interpretación de alertas de desperdicio enviadas vía WhatsApp y la comprensión de los indicadores de consumo, demuestra una curva de aprendizaje mínima.

En términos de operabilidad, el sistema permitió realizar tareas como consultar el consumo y controlar el flujo de agua de manera sencilla, lo cual mejora la experiencia del usuario.

Adicionalmente, el sistema demostró ser inclusivo al funcionar correctamente en dispositivos móviles de gama media, y proporcionó mensajes claros ante fallos, lo cual fortalece la interacción humano-sistema.

5) Análisis de la Fiabilidad

Los hallazgos demostraron que AguaSmart posee un nivel de flexibilidad óptimo, garantizando la estabilidad operativa y la integridad de la información ante diversas condiciones de uso en el entorno real. Esta característica resulta fundamental para el monitoreo hídrico en contextos rurales, ya que asegura que el sistema se mantenga operativo y genere datos precisos de manera constante, minimizando las interrupciones o inconsistencias que podrían afectar la gestión administrativa del acueducto.

En relación con la consistencia de la información, las pruebas de ausencia de fallos confirmaron la estabilidad en la captura de datos por parte del hardware, descartando la presencia de picos erróneos o falsas alarmas significativas durante el monitoreo del flujo de agua. Este comportamiento se complementa con una alta disponibilidad de la interfaz, la cual se mantuvo accesible desde diferentes dispositivos el 98% del tiempo evaluado. Estos indicadores aseguran que los responsables del acueducto cuenten con una herramienta de supervisión permanente y confiable.

La capacidad del sistema para enfrentar contingencias físicas se validó mediante pruebas de tolerancia y recuperación ante fallos eléctricos, escenarios críticos en el corregimiento de Olaya. Tras simular interrupciones en el suministro de energía, el hardware logró restablecer su conexión y normalizar su funcionamiento en un tiempo de aproximadamente 7 segundos tras el reinicio. A su vez, la implementación de mecanismos de persistencia en la memoria EEPROM permitió la recuperación de los registros de consumo previos al corte, lo que demuestra que la solución es resiliente y capaz de salvaguardar la información.

6) *Análisis de la Seguridad*

El sistema cumple con los principios básicos de seguridad en aplicaciones web e IoT.

- En términos de confidencialidad, el acceso al sistema está restringido mediante autenticación de usuarios, evitando accesos no autorizados.
- La integridad de los datos está garantizada mediante restricciones en la base de datos y mecanismos de registro de eventos, evitando inconsistencias.
- En cuanto al no repudio y responsabilidad, el sistema registra las acciones realizadas por cada usuario, lo cual permite trazabilidad y auditoría.
- Finalmente, el sistema implementa medidas básicas de resistencia, como el bloqueo tras múltiples intentos fallidos de acceso, reduciendo el riesgo de ataques por fuerza bruta.

7) *Análisis de la Mantenibilidad*

El sistema presenta características que facilitan su mantenimiento y evolución.

La modularidad de la arquitectura permite realizar cambios en componentes específicos sin afectar el funcionamiento general.

La analizabilidad se ve fortalecida por el uso de logs de error, los cuales permiten identificar fallos en sensores o en la comunicación.

Asimismo, el sistema es modificable y validable, lo que facilita la implementación de mejoras futuras y la ejecución de pruebas controladas.

8) *Análisis de la métrica MTTD*

Los resultados evaluados mediante el Tiempo Medio de Detección (MTTD) confirman que el sistema AguaSmart posee una capacidad de respuesta inmediata para la gestión del recurso hídrico, centrando su efectividad en la identificación de eventos de consumo y la superación de los límites permitidos. Esta métrica resulta fundamental para el análisis de fiabilidad, ya que se puede determinar si un usuario ha excedido el umbral de consumo configurado. El cumplimiento de tiempos de detección mínimos garantiza que se cuente con información veraz de manera casi instantánea, evitando que el uso excesivo del agua afecte la disponibilidad del recurso.

Durante las fases de evaluación técnica, el sistema logró identificar la latencia desde el sensor hasta la dashboard en un tiempo promedio de 2.51 segundos. Este desempeño demuestra que el sistema permite una vigilancia constante sin retardos significativos entre el paso físico del agua y la actualización del estado de cuenta del usuario.

9) Interpretación de los resultados y efectividad de la solución

El análisis de los datos experimentales evidencia que la implementación del prototipo AguaSmart resolvió de manera efectiva el problema de investigación planteado, al consolidarse como una herramienta inteligente que mejora el control del consumo y frena el desperdicio en el corregimiento de Olaya. La efectividad de la solución se sustenta en dos indicadores críticos extraídos de las pruebas: la precisión del 96% en la lectura volumétrica del sensor y una latencia operativa (métrica MTTD) de apenas 2.51 segundos promedio.

10) Relación con el Problema de Investigación

Los hallazgos de calidad de software dan respuesta a la vulnerabilidad detectada en el corregimiento de Olaya. El diagnóstico inicial evidenció que la raíz de la inequidad en la distribución del agua era la imposibilidad de supervisar los predios que activaban sistemas de riego nocturno. Los resultados operativos del prototipo demuestran que el sistema actúa como una barrera tecnológica resiliente. Al asegurar que el límite de consumo establecido por la comunidad se respete automáticamente, se cumple el propósito central de la investigación.

CONCLUSIONES

El análisis de las condiciones operativas permitió establecer que el déficit hídrico en el corregimiento de Olaya no se debe al agotamiento natural de la hidrocuencia, sino a limitaciones propias del modelo de control presencial del acueducto. En particular, la dependencia de inspecciones físicas realizadas por el fontanero comunitario implica tiempos de desplazamiento que pueden alcanzar hasta tres horas para localizar y cerrar manualmente las válvulas de aspersores agrícolas que permanecen abiertas. Esta forma de intervención introduce un retraso significativo en la operación, lo que impide actuar de manera oportuna sobre el flujo de agua. Como resultado, el recurso continúa circulando sin control hasta exceder la capacidad de absorción del suelo en las parcelas, ocasionando su pérdida por escorrentía superficial. Este problema operativo se constituye como el principal factor que acelera el vaciado del tanque de almacenamiento central, generando directamente el desabastecimiento en la red de uso doméstico de las familias.

La implementación del prototipo demostró que modernizar infraestructuras hídricas rurales no exige presupuestos muy elevados. Al incorporar un microcontrolador ESP32 con sensores de caudal y una válvula solenoide, el proyecto superó la barrera del simple monitoreo, logrando ejecutar un control operativo directo sobre el suministro de agua y en tiempo real. Sumado a esto, las pruebas confirmaron que delegar el almacenamiento temporal a memorias EEPROM y módulos RTC es una estrategia técnica indispensable; esta configuración blindó la telemetría contra los cortes de energía, garantizando que el sistema no pierda su historial operativo ni su autonomía.

La evaluación experimental confirma que el sistema cumple con los estándares de calidad de software requeridos para operar en entornos reales, superando los lineamientos de la norma internacional ISO/IEC 25010. El análisis del Tiempo Medio de Detección (MTTD) arrojó una latencia promedio de 2.51 segundos, demostrando que la solución opera en tiempo real para automatizar el cierre del flujo en el instante exacto en que se vulnera el límite establecido. Con esta evidencia se acepta que es factible delegar la supervisión crítica a AguaSmart para asegurar una distribución del agua mucho más equilibrada.

Finalmente, en correspondencia con el objetivo general de la investigación, el diseño, desarrollo y validación operativa del prototipo basado en Internet de las Cosas demostró ser una herramienta técnica viable para apoyar la distribución del recurso hídrico en el corregimiento de

Olaya. Las pruebas in situ realizadas en conjunto con el fontanero y el ingeniero Daniel Benavides confirmaron que la plataforma dota a la administración de un mecanismo intuitivo y efectivo para restringir el sobreconsumo. Si bien el proyecto representa una fase de validación tecnológica, los hallazgos garantizan que esta arquitectura logra erradicar la latencia del modelo manual, sentando bases asegurar un control riguroso, auditable y equitativo del agua.

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en el desarrollo del sistema AguaSmart en el corregimiento de Olaya, se proponen las siguientes recomendaciones con el fin de mejorar su funcionamiento, ampliar su alcance y fortalecer su impacto en el contexto de aplicación.

En primer lugar, se recomienda la implementación de un sistema de alimentación basado en energía solar mediante el uso de paneles solares. Esta alternativa permitiría garantizar el funcionamiento continuo del sistema, especialmente en zonas rurales donde el suministro eléctrico es inestable o limitado. La integración de energía solar no solo incrementa la autonomía del sistema, sino que también lo hace más sostenible y alineado con principios de eficiencia energética y cuidado ambiental.

Asimismo, se sugiere complementar el sistema con baterías de almacenamiento energético que permitan mantener la operación durante periodos nocturnos o en condiciones de baja radiación solar, asegurando así la disponibilidad permanente del monitoreo y control del recurso hídrico.

También se sugiere explorar el uso de tecnologías de comunicación más robustas para entornos rurales, como redes de largo alcance (LoRa o NB-IoT), que permitan ampliar la cobertura y reducir la dependencia de redes WiFi o GSM.

Finalmente, se recomienda integrar herramientas de análisis de datos o modelos predictivos que permitan anticipar patrones de consumo y optimizar la gestión del recurso hídrico, fortaleciendo el carácter inteligente del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BupaSalud, «¿Por qué es importante el agua para la vida? | BupaSalud», bupasalud.com. Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.bupasalud.com/salud/por-que-es-importante-el-agua-para-la-vida>
- [2] Agencia de Noticias UNAL, «Desigualdad de acceso a agua potable en Colombia.» Accedido: 23 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/desigualdad-de-acceso-a-agua-potable-en-colombia-alcanza-un-25-entre-zonas-urbanas-y-rurales>
- [3] AdminRotoplas, «¿Cómo la tecnología puede evitar el desperdicio de agua en el campo?», Rotoplas. Accedido: 5 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://rotoplas.com.mx/como-la-tecnologia-puede-evitar-el-desperdicio-de-agua-en-el-campo/>
- [4] ENACOM, «¿Qué son las TIC y para qué sirven?» Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://enacom.gob.ar/institucional/-que-son-las-tic-y-para-que-sirven-_n4646
- [5] CILSA, «lenguaje de programación». Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://desarrollarinclusion.cilsa.org/tecnologia-inclusiva/que-es-un-lenguaje-de-programacion/>
- [6] Corponariño, *Plan Territorial de Adaptacion Climatica del departamento de Nariño*. [En línea]. Disponible en: [https://corponarino.gov.co/expedientes/planeacion/Plan_Territorial_de_Adaptacion_Climatic a%20_Corponarino.pdf](https://corponarino.gov.co/expedientes/planeacion/Plan_Territorial_de_Adaptacion_Climatic_a%20_Corponarino.pdf)
- [7] M. Lillo-Saavedra *et al.*, «Socio-Hydrological Agent-Based Modeling as a Framework for Analyzing Conflicts Within Water User Organizations», *Water*, vol. 16, n.º 22, pp. 3321-3321, nov. 2024, doi: 10.3390/w16223321.
- [8] K. Naganjali *et al.*, «Revamping Water Use in Agriculture: Techniques and Emerging Innovations», *J. Sci. Res. Rep.*, vol. 30, n.º 7, pp. 1055-1066, jul. 2024, doi: 10.9734/jsrr/2024/v30i72215.
- [9] Procedimientos Especiales, «Agua y saneamiento», OHCHR. Accedido: 5 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ohchr.org/es/topic/water-and-sanitation>
- [10] Corte Constitucional de Colombia, «Sentencia T-636/02». Accedido: 5 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2002/t-636-02.htm>

- [11] Corte Constitucional de Colombia, «Sentencia T-641/15». Accedido: 5 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2015/t-641-15.htm>
- [12] Corte Constitucional de Colombia, «Sentencia T-218/17». Accedido: 5 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2017/t-218-17.htm>
- [13] C. Kamienski *et al.*, «Smart Water Management Platform: IoT-Based Precision Irrigation for Agriculture», *Sensors*, vol. 19, n.º 2, Art. n.º 2, ene. 2019, doi: 10.3390/s19020276.
- [14] A. Saad, A. E. H. Benyamina, y A. Gamatié, «Water Management in Agriculture: A Survey on Current Challenges and Technological Solutions», *IEEE Access*, vol. 8, pp. 38082-38097, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2974977.
- [15] A. D. Vásquez Ramírez, «Pasarela IoT – Lora para la medición remota de consumo doméstico de agua potable en la Ciudad de Salcedo.», masterThesis, Quito, Ecuador: Universidad Tecnológica Israel, 2024. Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/4254>
- [16] J. P. Tovar Soto, O. L. García Navarrete, y J. C. Gutiérrez Martínez, «Propuesta de diseño de una red inalámbrica de sensores y actuadores para riego, con tecnología de Internet de las Cosas», *Investig. E Innov. En Ing.*, vol. 10, n.º 1, pp. 99-123, 2022.
- [17] C. F. Arias Barriga, J. E. Casas Murcia, y C. Vargas Cortés, «Prototipo de sistema de sensores para el uso en huertas con sistemas de riego inteligentes para la optimización del rendimiento de los cultivos en áreas rurales de Colombia», may 2024, Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10882/13739>
- [18] E. D. Angulo Arriola y L. M. Rambao Sánchez, «Desarrollo de Software para la gestión de riego en los cultivos de la finca “Los lirios” en Berastegui», oct. 2024, Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/8922>
- [19] Redagícola, «Sostenibilidad en el uso de agua en cultivos de arroz», Redagícola. Accedido: 6 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://redagricola.com/sostenibilidad-en-el-uso-de-agua-en-cultivos-de-arroz/>
- [20] S. M. Guzmán Bravo, D. López Pantoja, y L. M. Mora Delgado, «Mejoramiento del uso del agua en el Corregimiento de Mapachico». Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sired.udenar.edu.co/7749/>

- [21] E. Martínez y H. Darío, «Diseñar un prototipo de medición de consumo de agua en entornos residenciales mediante el uso de un sistema bajo el estándar IEEE 802.15.4, soportado por un sensor de caudal y registro de información en la nube para el municipio de San Juan de Pasto», dic. 2022, Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/54029>
- [22] C. A. Valenzuela ojeda, «Prototipo inteligente de control de riego tecnificado en cultivos de papa», *Intelligent prototype of technified irrigation control in potato crops*, ene. 2023, Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.umariana.edu.co//handle/20.500.14112/28112>
- [23] R. A. R. A. Mouha, «Internet of Things (IoT)», *J. Data Anal. Inf. Process.*, vol. 09, n.º 02, Art. n.º 02, abr. 2021, doi: 10.4236/jdaip.2021.92006.
- [24] redeweb, «Arquitectura básica de un dispositivo IoT: diseño y componentes esenciales». Accedido: 4 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.redeweb.com/articulos/arquitectura-basica-de-un-dispositivo-iot-diseno-y-componentes-esenciales/>
- [25] A. Ayerdi, «¿Qué es la automatización de procesos? | DocuWare». Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://start.docuware.com/es/blog/automatizacion-de-procesos>
- [26] J. Schneider y I. Smalley, «¿Qué es un microcontrolador? | IBM». Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/microcontroller>
- [27] G. Alsina, «Placa microcontroladora Wi-Fi/BT Arduino Nano ESP32», *industriaembebidahoy.com*. Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.industriaembebidahoy.com/placa-microcontroladora-wi-fi-bt-arduino-nano-esp32/>
- [28] Grant Maloy Smith, «¿Qué es un sensor y qué hace? | Dewesoft». Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dewesoft.com/es/blog/que-es-un-sensor>
- [29] A. Cruz, «Sensor De Flujo De Agua 1/2" 1 a 30L/min YF-S201», *Electronilab*. Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-flujo-de-agua-g12-1-30lmin/>
- [30] J. Pérez Porto, «Monitoreo - Definicion.de», *Definición.de*. Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://definicion.de/monitoreo/>

- [31] M. Uddin, «Sistema de monitoreo de uso de servicios públicos en tiempo real basado en IoT - Tecnología Humanizada». Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://humanizationoftechnology.com/sistema-de-monitoreo-de-uso-de-servicios-publicos-en-tiempo-real-basado-en-iot/revista/sensorica/11/2022/>
- [32] «Recursos hídricos - Qué son, tipos y ejemplos», <https://concepto.de/>. Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://concepto.de/recursos-hidricos/>
- [33] C.-12 Foundation, «Distribución del agua | CK-12 Foundation». Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-tierra-grados-6-8-en-espanol/section/6.5/primary/lesson/distribuci%C3%B3n-del-agua/>
- [34] MinAmbiente, «Gestión Integral del Recurso Hídrico | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible». Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico>
- [35] E. Works, «¿Qué es la gestión inteligente del agua?» Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/que-es-la-gestion-inteligente-del-agua-EDcz>
- [36] AQUAe FUNDACIÓN, «¿Cuánta agua dulce hay en el planeta?», Fundación Aquae. Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fundacionaquae.org/que-cantidad-de-agua-dulce-hay-en-el-planeta/>
- [37] ESG Innova Group, «Sostenibilidad de Recursos Hídricos: Perspectivas para la Gestión Responsable del Agua - ESG Innova Group». Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.esginnova.com/sostenibilidad/sostenibilidad-de-recursos-hidricos-perspectivas-para-la-gestion-responsable-del-agua/>
- [38] A. Caballero, «Desarrollo sostenible: definición, objetivos y ejemplos». Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://climate.selectra.com/es/que-es/desarrollo-sostenible>
- [39] AWS, «¿Qué es IoT? - Explicación del Internet de las cosas», Amazon Web Services, Inc. Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://aws.amazon.com/es/what-is/iot/>
- [40] A. Pedrozo Acuña, «Equidad hídrica: distribución justa del agua por comunidad | Instituto Mexicano de Tecnología del Agua | Gobierno | gob.mx». Accedido: 8 de mayo de 2025. [En

- línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/imta/articulos/equidad-hidrica-distribucion-justa-del-agua-por-comunidad?idiom=es>
- [41] Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, «Gestor Normativo de la CRA - Concepto 15621 de 2011 CRA». Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/concepto_cra_0015621_2011.htm?utm_source=chatgpt.com
- [42] (INSST), «NTP 177: La carga física de trabajo: definición y evaluación - PDF - Portal INSST - INSST», Portal INSST. Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.insst.es/documentacion/coleccion-tes-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/5-serie-ntp-numeros-156-a-190-ano-1986/ntp-177-la-carga-fisica-de-trabajo-definicion-y-evaluacion>
- [43] LinkedIn, «¿Cómo se mide el rendimiento de los dispositivos y sistemas IoT?» Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/advice/0/how-do-you-measure-iot-device-system-performance?lang=es>
- [44] C. García, «Uso eficiente del agua en la industria», www.cursosfemxa.es. Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cursosfemxa.es/blog/uso-eficiente-agua>
- [45] Y. S. Park, L. Konge, y A. R. Artino, «The Positivism Paradigm of Research», *Acad. Med. J. Assoc. Am. Med. Coll.*, vol. 95, n.º 5, pp. 690-694, may 2020, doi: 10.1097/ACM.0000000000003093.
- [46] S. Flores y F. Anselmo, «Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: consensos y disensos», *Rev. Digit. Investig. En Docencia Univ.*, vol. 13, n.º 1, pp. 102-122, ene. 2019, doi: 10.19083/ridu.2019.644.
- [47] UNIR, «Método Científico: ¿Qué es y cuáles son los pasos? | UNIR México». Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://mexico.unir.net/noticias/derecho/metodo-cientifico/>
- [48] Appinio, «¿Qué es la investigación aplicada? Definición, tipos, ejemplos | Appinio». Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.appinio.com/es/blog/investigacion-de-mercados/investigacion-aplicada>

- [49] A. Parra, «¿Qué es la investigación cuasi experimental?», QuestionPro. Accedido: 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-cuasi-experimental/>
- [50] J. E. Borjas García, «Validez y confiabilidad en la recolección y análisis de datos bajo un enfoque cualitativo», *Trascender Contab. Gest.*, vol. 5, n.º 15, pp. 79-97, dic. 2020, doi: 10.36791/tcg.v0i15.90.
- [51] A. Soetedjo, M. R. Abdilah, F. Y. Limpraptono, y E. Hendriarianti, «Implementation of Wastewater Monitoring System using Low-Cost Water Sensor and IoT-based SCADA», *ALINIER J. Artif. Intell. Appl.*, vol. 5, n.º 2, pp. 165-172, nov. 2024, doi: 10.36040/alinier.v5i2.12091.
- [52] M. Aktas y E. Gultekin, «Real-Time Anomaly Detection Business Process for Industrial Equipment Using Internet of Things and Unsupervised Machine Learning Algorithms», en *Lecture Notes in Computer Science*, ene. 2023, pp. 16-31. doi: 10.1007/978-3-031-37117-2_2.
- [53] «Google Maps», Google Maps. Accedido: 20 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.google.com/maps/@1.1095246,-77.6691981,13397m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI2MDQxOS4wIKXMDSOA SAFQAw%3D%3D

ANEXOS

Anexo A. Entrevista a miembro de la Junta de Agua

Entrevista a miembro de la Junta de Agua del Corregimiento de Olaya Margarita Arciniegas, en el siguiente enlace se encuentra disponible la grabación en formato de audio.

<https://drive.google.com/file/d/1flz4bXViO5M5CGPAnH-Q7rOXo6HsMr64/view?usp=sharing>

Preguntas y respuestas

1. ¿Recibe quejas constantes de la comunidad por falta de agua en las temporadas de siembra o sequía?

Si, por surtidores y mangueras en tiempo de verano

2. ¿En qué tiempo se vuelve insostenible entre riego y consumo doméstico?

Entre los meses de agosto y septiembre que son los meses de verano

3. ¿Cuántas familias reportan o han reportado dificultades para acceder al servicio de agua?

No hay cifra

4. Existe un reglamento escrito sobre el uso de agua para riego

No, porque el agua es de uso doméstico

5. ¿Existen turnos de riego establecidos oficialmente y sanciones para quienes desperdicien agua?

No existen

6. ¿Tiene un censo poblacional de cuantas familias y viviendas hay en total? Un aproximado

Un aproximado de entre 100 y 150 familias

7. ¿Cuántas de estas casas son fincas con actividades de riego?

Entre 5 a 10 viviendas

8. ¿Cuál es el consumo de agua, ya sea por vivienda y/o por persona?

No se ha hecho un seguimiento

9. ¿Cómo opera el sistema de autorregulación comunitario en el tema de pagos?

50.000 pesos anuales para manejo de fontanero, lo que es lavado de tanques

Anexo B. Entrevista a miembro Fontanero de Corregimiento

Entrevista a miembro Fontanero de Corregimiento de Olaya Bolivar Mora, en el siguiente enlace se encuentra disponible la grabación en formato de audio.

<https://drive.google.com/file/d/1D2sR1P8Od3ZW9xH5H5OdEnIphDjyT2V6/view?usp=s>
[haring](#)

Preguntas y respuestas

1. ¿Cuál es la causa principal del desabastecimiento de agua que vive Olaya?

Es cuando las fincas se extienden mangueras y conectan surtidores a sus cultivos

2. ¿En qué época suele verse afectada la comunidad?

Especialmente en tiempo de verano

3. ¿En qué momentos del día suelen perder el suministro de agua?

En horas de la madrugada

4. ¿Cuánto tiempo dura este desabastecimiento?

De 4 a 5 horas

5. ¿Qué suele hacer la comunidad para afrontarlo?

Se preparan con tanques de almacenamiento en algunas familias y en otras familias recolectan durante el día

6. ¿En qué sectores del corregimiento se pierde el agua primero cuando los agricultores activan el riego?

En el centro de Olaya

7. ¿En qué momento los agricultores suelen utilizar los aspersores y en qué momento estima usted que hay un desperdicio?

En horas de la noche

8. ¿En qué momento estima usted que hay un desperdicio?

Después de las 3 horas donde empieza el desperdicio

9. ¿Cuánto tiempo estima usted que los agricultores riegan sus cultivos en total?

Hay agricultores que sí son conscientes cuando ya terminan de mojar todos sus cultivos desconectan, pero hay otros que si los dejan conectados.

10. ¿Cuántos aspersores hay en promedio por finca?

2 a 3 aspersores por finca

11. ¿Cuántas veces debe ir usted personalmente a una finca a pedir que cierren un riesgo porque el tanque se vació?

Las veces que sea necesario

12. ¿Cuánto tiempo suele tardar en realizar los recorridos para identificar y cerrar el suministro de agua excesivo en las parcelas?

Este recorrido si es un poco tedioso porque uno se demora de 2 a 3 horas ya que las fincas se encuentran muy alejadas

13. ¿Se siente presionado o intimidado por los agricultores cuando tiene que ir a cerrarles el agua?

En algunas veces si

14. ¿Existen turnos de riego oficiales y si se cumplen?

No

15. ¿Hay sanciones para quien deje el agua abierta?

Si, existen multas de unos 300.000 a 500.000 pesos

16. ¿Cómo funciona el tanque?

El tanque funciona con el abastecimiento que tenemos en la hidrocuena

17. ¿Cuántos litros almacena y cuánto tiempo tarda en llenarse por completo?

Almacena uno 5000 litros y no se ha hecho un estudio para medir el tiempo

18. ¿El tanque logra llenarse completamente?

En época de verano no

19. ¿Cuál es la altura del tanque?

De unos 3 metros

20. ¿Cuál es el consumo diario de agua por vivienda o persona?

Una estimación de 50 litros por familia

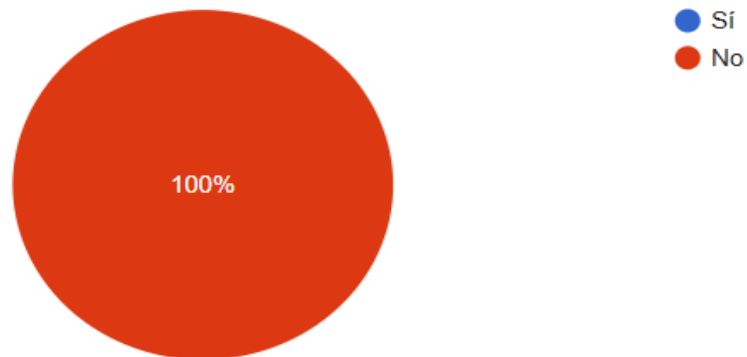
Anexo C. Encuestas realizadas miembros de la comunidad

Encuestas realizadas miembros de la comunidad del Corregimiento de Olaya

[Prestación del Servicio de Agua en Olaya](#)

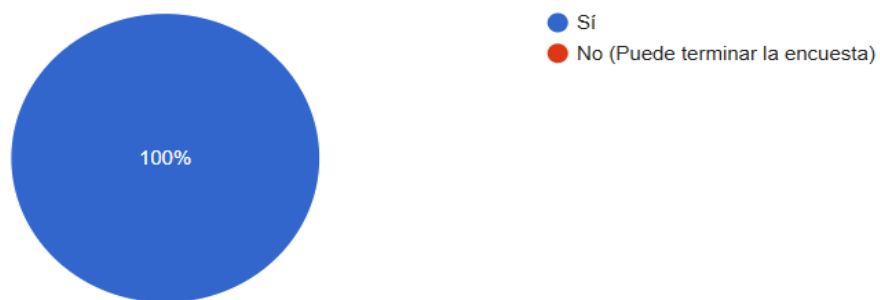
¿Considera usted que el suministro de agua en su hogar es constante y suficiente durante todo el año?

10 respuestas



¿Ha experimentado usted o su familia situaciones de desabastecimiento de agua en los últimos meses?

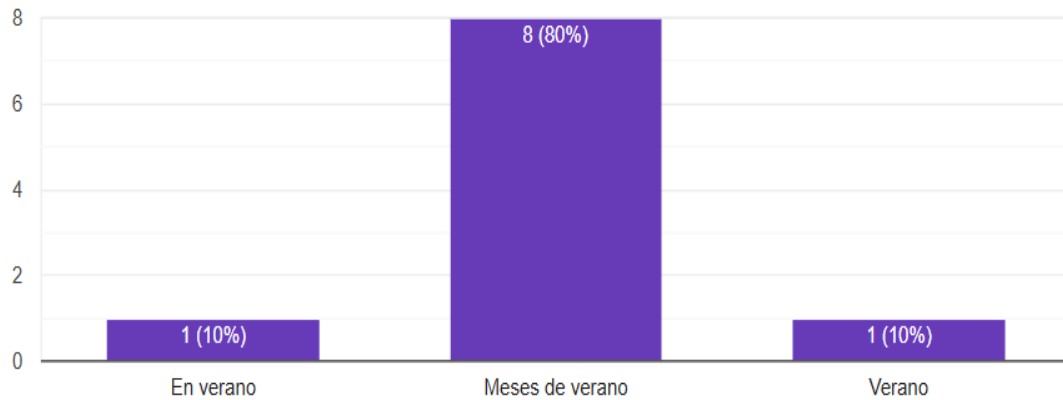
10 respuestas



¿En qué momentos del año ocurre este desabastecimiento con mayor frecuencia?

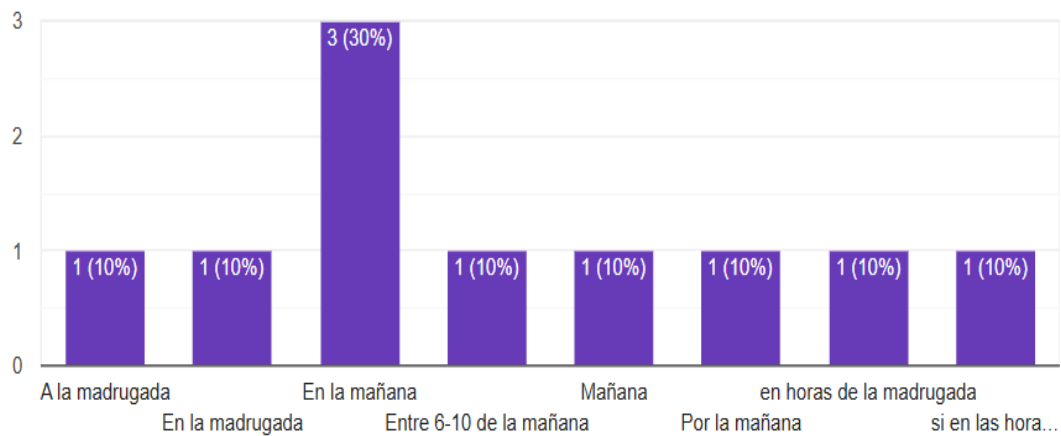
(Ej: Meses de verano, todo el año)

10 respuestas



¿A qué hora empieza a notar que sale menos agua o no sale agua por el grifo?

10 respuestas



¿A qué hora del día o la noche deja de salir agua en su casa por completo?

10 respuestas

Entre las 6 a 10 de la mañana

5 de la mañana

6 am

A las 5 Am

En la madrugada

En la mañana

tipo 4 o 5 de la mañana

En la Mañana

Entre las 5 y 9 de la mañana

4 o 5 de la mañana

¿A qué hora vuelve a tener suministro de agua en su casa?

10 respuestas

A medio día

Al mediodia

Como a las 11

10:Am

Antes de medio día

Medio día

10 de la mañana

Normalmente a medio día

10 Am

¿cuánto suele durar este desabastecimiento cada vez que ocurre?

10 respuestas

Más o menos 4 y 5 horas

6 horas

5 horas

Entre 5 y 7 horas

4 horas aproximadamente

Entre 2 y 4 horas

4 o 5 horas

Entre 3-5 horas

entre 4 o 5 hpras aproximadamente

¿Qué actividades del hogar se ven interrumpidas por el desabastecimiento?

10 respuestas

Todas las labores diarias

Las del hogar

Todas las cosas del hogar

Cocinar, lavar, y actividades domesticas

Todo tipo de actividades diarias

Lavar , cocinar , bañarse.

el no poder realizar actividades domesticas

Las actividades domésticas

Labores y actividades domesticas

¿Cuál es el impacto de este desabastecimiento en su día a día?

10 respuestas

No poder realizar las actividades domésticas

No se puede realizar las labores diarias

No puedo iniciar mi día a día con normalidad

No sé puede realizar las actividades diarias

No tener agua para avanzar en las labores diarias

Que no se puede realizar las labores diarias

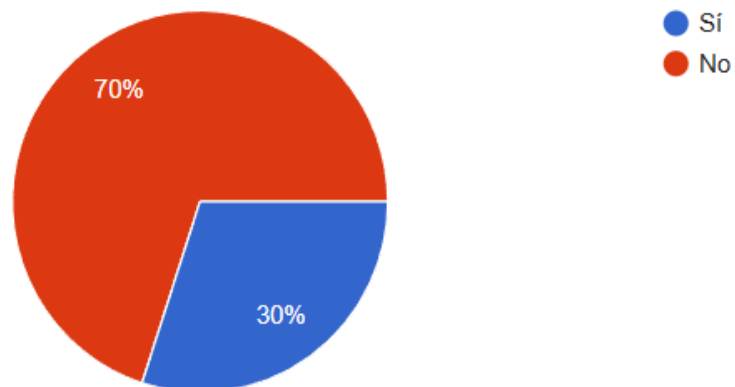
estrés y enojo al no poder realizar mis actividades diarias con normalidad

No se puede hacer labores diarias con normalidad

No poder hacer las actividades de la casa

¿Tiene tanques de almacenamiento propios en su vivienda?

10 respuestas



¿Qué suele hacer para afrontar la falta de agua?

10 respuestas

Almacenar agua la noche anterior

Almacenar agua desde antes

Tener agua desde antes

Tanque de abastecimiento

Almacenar agua en baldes

Almacenar agua durante la noche

ajuntar agua el día anterior

Almaceno agua en galones

Tanque de almacenamiento

Anexo D. Aval fontanero corregimiento Olaya**CARTA DE AVAL PARA DESARROLLO DEL PROYECTO AGUASMART**

Yo, Segundo Bolívar Mora, en calidad de fontanero del corregimiento de Olaya, certifico que autorizo a los estudiantes de Ingeniería de sistemas de la universidad Cesmag: **Cristian Camilo Hernandez Mora y Fernando José Yampuesan Narvaez**.

para llevar a cabo el desarrollo del proyecto denominado **"AguaSmart: sistema IoT para la gestión inteligente del recurso hídrico en sistemas de riego en el corregimiento de Olaya"**.

El presente aval permite la realización de actividades relacionadas con:

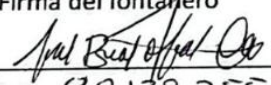
- Levantamiento de información sobre el servicio de agua
- Estudios técnicos en campo
- Pruebas piloto del sistema IoT propuesto
- Instalación temporal de dispositivos de monitoreo (sensores de caudal u otros)

Estas actividades se desarrollarán con fines académicos e investigativos, garantizando el respeto por la comunidad, la infraestructura existente y el uso adecuado de la información recolectada.

Se deja constancia de que el proyecto contribuirá al análisis y mejoramiento en la gestión del recurso hídrico en la comunidad.

En constancia, se firma en el corregimiento de Olaya, a los 29 días del mes de abril del año 2025.

Firma del fontanero


C.C. 98138355
Teléfono: 3225452483

Nombre del estudiante

Cristian Camilo Hernandez Mora

C.C. 1087423369

Nombre del estudiante

Fernando José Yampuesán Narváez

C.C. 1193034447

Anexo E. Formato de validación AguaSmart

<https://drive.google.com/file/d/1AvoJui2HbvINKNoEHGebrXiA-qYSXIWQ/view?usp=sharing>

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DEL SISTEMA IoT AGUASMART

Proyecto: AguaSmart: Sistema IoT para la Gestión Inteligente del Recurso
Hídrico en el corregimiento de Olaya

Autores: Cristian Camilo Hernandez - Fernando José Yampuesan

Institución: Universidad CESMAG - Ingeniería de Sistemas

I. INFORMACIÓN DEL EVALUADOR

Nombre: Edwin Daniel Benavides Mora

C.C: 1087427118

Rol: Ingeniero Electrónico

Fecha: 23/04/2026

II. VALIDACIÓN TÉCNICA (BASADO EN ISO/IEC 25010)

Evalúe los siguientes criterios considerando la funcionalidad y usabilidad de la aplicación.

a. Arquitectura y Funcionamiento del Sistema

Criterio	Descripción	1	2	3	4	5
Adquisición de datos	El sensor de caudal realiza mediciones precisas y continuas del flujo de agua en tiempo real, permitiendo una captura confiable de datos para su procesamiento.					X
Integración hardware	La interacción entre sensores, microcontrolador y actuadores es estable, garantizando un funcionamiento continuo sin interrupciones en la adquisición y ejecución de acciones.					X

Transmisión de datos	Los datos recolectados son enviados de manera correcta y oportuna desde el dispositivo IoT hacia la API, sin pérdidas significativas de información.					X
Procesamiento en backend	La API recibe, valida, procesa y almacena los datos de forma eficiente, permitiendo su disponibilidad para análisis y toma de decisiones.					X
Control de actuadores	La API registra y permite visualizar en tiempo real el estado de la válvula y los eventos asociados a su activación.					X

b. Plataforma de Monitoreo y Control

Criterio	Descripción	1	2	3	4	5
Visualización de datos	La plataforma presenta de forma clara e intuitiva los datos de consumo de agua, facilitando su interpretación por parte del usuario.					X
Actualización en tiempo real	Los datos visualizados en la plataforma se actualizan con baja latencia respecto a su captura en el dispositivo IoT.					X
Interfaz de usuario	La plataforma cuenta con una interfaz amigable que permite al usuario interactuar fácilmente con las funcionalidades del sistema sin requerir conocimientos técnicos avanzados.					X
Alertas y notificaciones	El sistema genera alertas automáticas ante consumos excesivos, permitiendo una respuesta oportuna por parte del usuario o del sistema.					X

c. Eficiencia y Escalabilidad

Criterio	Descripción	1	2	3	4	5
Consumo energético	El sistema optimiza el uso de energía del dispositivo IoT, garantizando un funcionamiento eficiente en entornos con recursos limitados.					X
Tolerancia a fallos	El sistema gestiona adecuadamente errores de conexión, fallos del sensor o interrupciones, manteniendo la estabilidad operativa.					X
Escalabilidad	La arquitectura del sistema permite su implementación en múltiples hogares o comunidades sin afectar su rendimiento.					X

Mantenibilidad	El sistema permite realizar actualizaciones, ajustes o mejoras de manera sencilla sin afectar su funcionamiento general.					X
-----------------------	--	--	--	--	--	---

d. Métricas de Desempeño del Sistema IoT

Criterio	Descripción	1	2	3	4	5
Tiempo de detección (MTTD)	El sistema detecta de manera oportuna anomalías en el flujo de agua desde el momento en que ocurren.					X

Las métricas de desempeño fueron evaluadas a partir de pruebas experimentales, en las cuales se realizaron 10 mediciones del tiempo de detección y respuesta del sistema ante eventos de consumo anómalo.

III. VALIDACIÓN FUNCIONAL EN CONTEXTO REAL

Impacto en la Gestión del Agua

Pregunta Orientadora	1	2	3	4	5
¿El sistema contribuye a reducir el desperdicio de agua?					X
¿Permite tomar decisiones basadas en datos de consumo?					X
¿El control automático de válvulas optimiza la distribución del recurso hídrico?					X
¿Es viable su implementación en zonas rurales como el corregimiento de Olaya?					X

IV. OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS

Espacio para comentarios sobre mejoras técnicas o pedagógicas:

- La arquitectura propuesta es adecuada y replicable en contextos rurales con limitaciones de infraestructura.
- Para una implementación definitiva del sistema, se recomienda reemplazar el uso de protoboard por conexiones soldadas (PCB o placa perforada), con el fin de mejorar la estabilidad eléctrica, reducir interferencias y evitar fallos asociados a falsos contactos o ruido en la señal. El uso de protoboard se considera adecuado únicamente en etapas de prototipado y validación inicial.

Escala: 1: Total desacuerdo | 5: Total acuerdo

Anexo F. Participación congreso Safari Tech Cristian Hernandez

Anexo G. Participación congreso Safari Tech Fernando Yampuesán



UNIVERSIDAD
CESMAG

NIT: 800.109.367-7
TOLATA EDUCACIÓN

**CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O
TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)**

CÓDIGO: AAC-BL-FR-032

VERSIÓN: 1

FECHA: 09/JUN/2022

San Juan de Pasto, 10 de agosto del 2026

Biblioteca

REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.

Universidad CESMAG

Pasto

Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado AGUASmart: SISTEMA IOT PARA LA GESTIÓN INTELIGENTE DEL RECURSO HÍDRICO EN EL CORREGIMIENTO DE OLAYA, presentado por los autores CRISTIAN CAMILO HERNANDEZ MORA, y FERNANDO JOSÉ YAMPUESÁN NARVÁEZ del Programa Académico Ingeniería de sistemas al correo electrónico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,

JOHAN CARLOS AYALA BENAVIDES

87067598

Ingeniería de sistemas

3005910463

jcalaya@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG NIT. 800.109.317-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: CRISTIAN CAMILO HERNANDEZ MORA	Documento de identidad: 1087423369
Correo electrónico: Cchernandez.3369@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3136399504
Nombres y apellidos del autor: FERNANDO JOSÉ YAMPUESÁN NARVÁEZ	Documento de identidad: 1193034447
Correo electrónico: Fjyampuesan.4447@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3157415104
Nombres y apellidos del asesor: JOAH CARLOS AYALA BENAVIDES	Documento de identidad: 87067598
Correo electrónico: jcayala@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3005910463
Título del trabajo de grado: AGUASMART: SISTEMA IOT PARA LA GESTIÓN INTELIGENTE DEL RECURSO HÍDRICO EN EL CORREGIMIENTO DE OLAYA	
Facultad y Programa Académico: Facultad de ingeniería, ingeniería de sistemas	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve (mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje (mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.
- Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.

 UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031 VERSIÓN: 1 FECHA: 09/JUN/2022
---	--	--

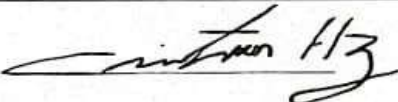
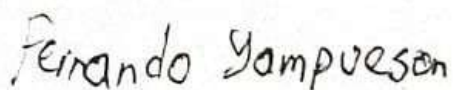
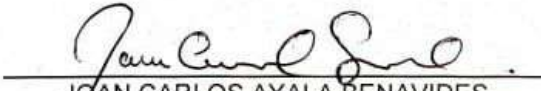
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndose indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permito(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG, por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 10 días del mes de agosto del año 2026

	
CRISTIAN CAMILO HERNANDEZ MORA	FERNANDO JOSÉ YAMPUESÁN NARVÁEZ
 JOAN CARLOS AYALA BENAVIDES	