

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	30-09-2024	C
	Dependencia	Aprobado	Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		(106)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Julián David Pérez Trigos Hughes Quintero Martínez		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería en sistemas		
DIRECTOR	Alexander Guerrero Avendaño		
CODIRECTOR	No aplica		
TÍTULO DE LA TESIS	Sistema para automatizar el suministro de agua en la región vulnerable de la vereda la Pelota del municipio de Hacarí		
TITULO EN INGLES	System to automate the water supply in the vulnerable region of the vereda La Pelota in the municipality of Hacarí		
RESUMEN (70 palabras)			
La investigación aborda el reto del acceso equitativo al agua potable en zonas rurales de Colombia, desarrollando un sistema automatizado de bajo costo en la vereda La Pelota, Municipio de Hacarí. El prototipo, basado en Arduino, sensores ultrasónicos y una app en MIT App Inventor, permite monitoreo y controlar en tiempo real el consumo. Con enfoque cuantitativo experimental, se diseñaron, implementaron y evaluaron los componentes técnicos y la apropiación comunitaria.			
RESUMEN EN INGLES			
This research addresses the challenge of equitable access to drinking water in rural areas of Colombia by developing a low-cost, automated system in the village of La Pelota, in the municipality of Hacarí. The prototype, based on Arduino, ultrasonic sensors, and an app developed using MIT App Inventor, allows for real-time monitoring and control of water consumption. Using a quantitative experimental approach, the technical components and community adoption were designed, implemented, and evaluated.			
PALABRAS CLAVES	Agua, Acceso, Arduino, Monitoreo, Apropiación		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Water, Access, Arduino, Monitoring, Appropriation		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 106	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



Via Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
 atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

**Sistema para automatizar el suministro de agua en la región vulnerable de la vereda
la Pelota del municipio de Hacarí**

Julián David Pérez Trigos

Hughes Quintero Martínez

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería de sistemas

Ing. Alexander Guerrero Avendaño

Diciembre 17 del 2025

Agradecimientos

Los autores de la investigación Julián David Pérez Trigos y Hughes Quintero Martínez, manifiestan sus agradecimientos al Ing. Alexander Guerrero Avendaño, por su apoyo incondicional durante este proceso.

Índice

Capítulo 1. Sistema para automatizar el suministro de agua en la región vulnerable de la vereda la Pelota del municipio de Hacarí	11
1.1 Planteamiento del problema	11
1.2 Formulación del problema	15
1.3 Objetivos	15
1.4 Justificación	16
1.5 Delimitaciones	19
Capítulo 2. Marco Referencial	21
2.1 Marco histórico	21
2.2 Marco contextual	29
2.3 Marco Conceptual	31
2.4 Marco teórico	34
2.5 Marco legal..	37
Capítulo 3. Diseño metodológico	39
3.1 Tipo de investigación	39
3.2 Población y muestra	39
3.3 Técnicas e Instrumentos de recolección de la información	40
3.4 Procesamiento y análisis de la información	40
3.5 Cronograma de Actividades	41
Capítulo 4. Presentación resultados	42

4.1 Determinación de los factores claves para automatizar el sistema de suministro de agua mediante revisión de literatura	42
4.2 Diseño de un prototipo del mecanismo de control electrónico basado en Arduino en función de los niveles de agua detectados para garantizar un uso eficiente del suministro de agua	50
4.3 Diseño de un aplicativo móvil para la visualización de la información del estado del funcionamiento del prototipo del mecanismo de control electrónico para el suministro de agua	68
4.4 Realización de pruebas de integración y de funcionamiento del aplicativo móvil y del prototipo del mecanismo de control electrónico para el suministro de agua en la vereda La Pelota de Hacarí	70
Capítulo 5. Conclusiones	84
Capítulo 6. Recomendaciones	87
Referencias	90
Apéndice	95

Lista de tablas

Tabla 1 Comparación de plataformas	43
Tabla 2 Comparativo de Requerimientos Ambientales	45
Tabla 3 Indicadores cuantitativos de eficiencia y ahorro	47
Tabla 4 Tabla Componentes	62
Tabla 5 Sistema Automatizado vs Sistema Tradicional	66
Tabla 6 Conocimiento del sistema	74
Tabla 7 Usabilidad y persecución técnica	75
Tabla 8 Impacto percibido	77

Lista de figuras

Figura 1 Ubicación Geográfica	29
Figura 2 Cronograma de actividades	41
Figura 3 Gasto hídrico	48
Figura 4 Módulo Transmisor	54
Figura 5 Diagrama de flujo modulo transmisor	55
Figura 6 Módulo de comunicación	57
Figura 7 Módulo Receptor	57
Figura 8 Diagrama de bloques del sistema	58
Figura 9 Diagrama de flujo modulo receptor.	60
Figura 10 Captura simulada de la app	69
Figura 11 Encuesta a once usuarios de sistema automatizado de agua	73
Figura 12 Conocimiento del sistema	74
Figura 13 Usabilidad y persecución técnica	76
Figura 14 Impacto percibido	77
Figura 15 Pruebas de escritorio funcionamiento del proyecto	78
Figura 16 Diagrama de bloques	80

Lista de apéndices

Apéndice A. Evidencias de la aplicación de las encuestas	95
Apéndice B. Manual de usuario App Ventana o vista principal de la aplicación.	97
Apéndice C. Manual de componentes	101

Resumen

El acceso equitativo al agua potable sigue siendo un reto estructural en las zonas rurales de Colombia. En respuesta a esta problemática, esta investigación desarrolla y valida un sistema automatizado de bajo costo para el control del suministro de agua en la vereda La Pelota, ubicada en el municipio de Hacarí, Norte de Santander. El proyecto integra un prototipo electrónico basado en la plataforma Arduino, sensores ultrasónicos y un aplicativo móvil desarrollado en MIT App Inventor, permitiendo monitoreo y control del recurso hídrico en tiempo real. A través de un enfoque cuantitativo-experimental, se diseñaron, implementaron y evaluaron los componentes técnicos del sistema, así como su recepción y apropiación por parte de la comunidad.

Los resultados revelaron una mejora significativa en la eficiencia del uso del agua, una reducción del consumo eléctrico y un alto nivel de aceptación por parte de los usuarios. Además, se evidenció que la tecnología, cuando es contextualizada y apropiada desde lo social, puede convertirse en una herramienta de autonomía territorial. Este sistema no solo representa una innovación técnica replicable, sino que también aporta evidencia empírica sobre la posibilidad de construir soluciones tecnológicas sostenibles y culturalmente pertinentes para territorios históricamente excluidos del desarrollo digital, al igual que se diseñaron, implementaron y evaluaron tanto los componentes técnicos del sistema como su recepción y apropiación por parte de la comunidad.

Introducción

En el núcleo de la problemática de muchas comunidades rurales de Colombia se encuentra el acceso al agua, una lucha cotidiana, la desigualdad y la falta de soluciones tecnológicas apropiadas. La vereda La Pelota, en el municipio de Hacarí (Norte de Santander), no escapa a esta realidad: su sistema de abastecimiento depende en gran medida de prácticas manuales, esfuerzos físicos intensos y un uso ineficiente tanto del recurso hídrico como de la energía eléctrica. Frente a este panorama, surge la necesidad de proponer una alternativa técnica que no solo resuelva el problema de forma funcional, sino que lo haga desde el contexto, la cultura y las posibilidades reales del territorio.

Esta tesis propone el diseño e implementación de un sistema automatizado para el suministro de agua en zonas vulnerables, integrando un prototipo basado en Arduino y una aplicación móvil de monitoreo. La iniciativa parte de la comprensión integral de los factores tecnológicos, ambientales y socioculturales que condicionan la gestión del agua en entornos rurales. Lejos de tratarse de una simple innovación técnica, este proyecto busca proponer una solución replicable, apropiada y transformadora que permita a las comunidades ejercer control sobre su propio recurso vital.

El estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo aplicado, y combina revisión documental, diseño de hardware y software, pruebas experimentales y validación comunitaria. A lo largo del documento se abordan desde el planteamiento del problema y sus dimensiones globales, nacionales y locales, hasta la metodología empleada, los resultados obtenidos y las

conclusiones proyectadas hacia la sostenibilidad y la autosuficiencia tecnológica. En su conjunto, la tesis no solo desarrolla una herramienta, sino que narra el proceso de cómo la tecnología puede, efectivamente, ponerse al servicio de la vida rural digna, autónoma y resiliente.

Capítulo 1. Sistema para automatizar el suministro de agua en la región vulnerable de la vereda la Pelota del municipio de Hacarí

1.1 Planteamiento del problema

La gestión de los recursos hídricos es primordial para el desarrollo sostenible de las comunidades, de otra parte, el tiempo requerido para el acarreo del agua limita las actividades de las personas, ya que deben emplear un mayor tiempo de desplazamiento lo que se traduce en menor seguridad personal y mayores riesgos osteomusculares. La mejora de estas fuentes de abastecimiento también ayuda a disminuir el gasto sanitario, ya que las personas enferman menos, incurren en menos gastos médicos y gozan de más salud, lo que comporta una mayor productividad. Sin embargo, muchas comunidades rurales, como las de Hacarí, enfrentan esta problemática (Organización Mundial de la Salud, 2023).

A nivel global la escasez de agua va en detrimento perjudicando a millones de personas. Para el 2050 se estima que el agua será un recurso disputado, y sus científicos concluyen que la demanda llegará a un incremento de forma constante, donde 51 de los 164 países, presentarán un estrés hídrico extremadamente alto, en los cuales Colombia lo presentará en el 10% de su población (Organización de las Naciones Unidas, 2024) estas cifras son respaldadas en el contexto nacional, puesto que el ministerio del ambiente y desarrollo sostenible data que el 20% de su recurso hídrico disponible es desperdiciado en actividades agrícolas. En el ámbito regional, las comunidades rurales de Hacarí enfrentan desafíos específicos relacionados con la gestión del agua; la falta de sistemas o infraestructura tecnológica, lleva a un uso ineficiente del recurso

hídrico, afectando directamente la calidad de vida de sus habitantes, esto además con el detrimento del agua como se expone para el 2030 el uso del agua aumentará en el 40%, debido a los cambios climáticos, el coexistir de las comunidades y el crecimiento demográfico.

(Organización de las naciones unidas, 2021)

Las causas que originan esta situación, son múltiples, entre ella las estructurales. La fundación que se encarga de llevar el agua a los hogares, donde hay asentamientos poblacionales implementan sistemas de bombeos o construcción de tanques para la pila publica (la opinión, 2024) que son estructuras que no poseen una inversión moderna, perpetuando sistemas obsoletos, incapaces de un control efectivo del agua, por otra parte, causas técnicas, limitando la capacidad local para gestionar sus recursos hídricos, por desconocimientos de los sistemas operativos.

Las consecuencias derivadas de esta situación son cada vez peor. En términos sociales, los sectores del anillo vial occidental han dejado a más de 1000 familias con 17 días sin agua, mientras que en otros como colinas del Tunal otras 500 familias por más de 40 días. (Diario la opinión, 2024) contribuyendo al aumento de enfermedades relacionadas con la escasez de agua y el consumo de agua contaminada.

Desde una perspectiva económica, se plantea que, al aumentar los costos operativos, reduce la capacidad productiva, desde el punto de vista biomecánico, el desgaste osteomuscular de los agricultores y/o operadores de los sistemas actuales y en ultimas, en términos ambientales, el desperdicio del recurso, aumenta la huella hídrica, exacerbando los problemas hídricos en el futuro.

Si esta problemática no se aborda, se estima que estas comunidades seguirán presentando escasez de agua, y un desaprovechamiento del recurso hídrico por los rudimentarios sistemas que se manejan en la región, dando lugar a la migración masiva hacia áreas urbanas en detrimento al lugar migrado, debido a la situación jurídica, los estigmas, la discriminación, el idioma, las barreras culturales y los bajos niveles de ingresos, los migrantes en situación irregular pueden quedar excluidos del acceso a los servicios de salud esenciales, las campañas de vacunación y las intervenciones relacionadas con la promoción de la salud (Bedoya, 2021).

El detrimento del sector agrícola, por una inadecuada gestión del recurso hídrico en el sistema de riego y una deserción académica en los niños de estas comunidades, como lo indica el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (2024) los niños y jóvenes deben recorrer largos trayectos, aumentando la deserción académica, puesto que las fuentes del recurso hídrico, que cabe resaltar no son tratadas, se obtienen de ríos, manantiales y quebradas (5%), agua lluvia (2,2%) encontrándose a veces hasta a 5 horas de los lugares.

Para mitigar estos efectos negativos, la investigación en curso, ofrece un sistema automatizado basado en microcontroladores Arduino, que permitirá monitorear y controlar eficientemente el suministro de agua mediante sensores que optimicen el flujo y almacenamiento, sirviendo como un modelo para posteriores investigaciones replicable en otras comunidades en Colombia.

Lo anterior ya que en la región del Catatumbo se presenta una alta variabilidad en las precipitaciones, con registros diarios que pueden superar los 5 mm por hora en temporadas

lluviosas. Según el IDEAM, existen archivos satelitales en formato RASTER que permiten estimar la precipitación acumulada en 24 horas, útiles para validar modelos agroclimáticos. Sin embargo, la cobertura de estaciones meteorológicas en la zona es limitada, lo que dificulta la planificación agrícola precisa (IDEAM, 2023).

El DANE ofrece herramientas como geovisores y visores de datos para explorar indicadores económicos, demográficos y territoriales. En el Catatumbo, los datos revelan que: La mayoría de la población está entre los 18 y 25 años, con alta proporción de personas solteras. Hay déficit de infraestructura vial y servicios básicos, lo que afecta la logística agrícola. La economía local depende en gran parte de la agricultura de subsistencia y cultivos ilícitos, lo que limita el desarrollo sostenible.

Estudios realizados en 90 fincas de seis municipios del Norte de Santander muestran que el agua de riego tiene variaciones significativas en calidad y disponibilidad, lo que influye directamente en la productividad de los cultivos. El río Catatumbo es la principal fuente hídrica, abasteciendo a más de 1.2 millones de habitantes en 33 municipios. Sin embargo, su uso agrícola no está regulado ni optimizado, lo que genera conflictos entre consumo humano y riego. La falta de integración entre datos pluviométricos confiables, estadísticas socioeconómicas locales y caracterización del uso del agua impide una gestión eficiente del recurso hídrico para cultivos en el Catatumbo. Esto limita la implementación de modelos agroecológicos, afecta la seguridad alimentaria y perpetúa la vulnerabilidad económica de la región.

En zonas rurales del municipio de Hacarí por los bajos recursos de esta región se utiliza el bombeo de agua sin ningún tipo de automatización, donde la misma consume energía eléctrica por el tiempo que está encendida, después que se haya llenado el tanque o el sistema de almacenamiento desperdiciando recursos hídricos, ya que no hay un sistema que lo apague, también haciendo que los campesinos estén pendientes del llenado de los tanques para cuando esté lleno detener su funcionamiento de forma manual evitando así los desperdicios de recursos tanto eléctrico como hídrico e incluso mecánico y desgaste físico.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo la implementación de un sistema de control electrónico basado en Arduino puede mejorar la eficiencia del uso de los recursos hídricos y energéticos en la vereda la Pelota del municipio de Hacarí?

1.3 Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un sistema para automatizar el suministro de agua en comunidades vulnerables mediante la integración de una aplicación móvil y un prototipo de control electrónico basado en Arduino en la vereda La pelota de Hacarí.

Objetivos específicos

Determinar los factores claves para automatizar el sistema de suministro de agua mediante revisión de literatura.

Diseñar un prototipo del mecanismo de control electrónico basado en Arduino en función de los niveles de agua detectados para garantizar un uso eficiente del suministro de agua.

Diseñar un aplicativo móvil para la visualización de la información del estado del funcionamiento del prototipo del mecanismo de control electrónico para el suministro de agua.

Realizar pruebas de integración y de funcionamiento del aplicativo móvil y del prototipo del mecanismo de control electrónico para el suministro de agua en la vereda La Pelota de Hacarí

1.4 Justificación

“Alrededor de 2000 millones de personas en todo el mundo no tienen acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura, 3600 millones no cuentan con servicios de saneamiento seguros y 2300 millones carecen de instalaciones básicas para lavarse las manos” (Grupo Banco Mundial, 2023). El día a día de las comunidades colombianas marginadas, como lo son las regiones rurales se enfrentan a grandes desafíos, estos por mencionar algunos son la gestión de los recursos hídricos, que paulatinamente involucran el desarrollo económico de su región, y los mencionados por el GBM. Según datos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo

sostenible (2022) más del 20% del agua es destinada para el uso agrícola, ubicando a este como el sector que más necesita del líquido, sin embargo, es desperdiciada por faltas de tecnologías de control y sistemas obsoletos o inexistentes generando así una brecha social, que eleva el costo para los campesinos, y agrava la seguridad alimentaria y el acceso a los recursos esenciales.

En este contexto esta propuesta de grado busca brindar una herramienta que optimice el uso del agua mediante un sistema automatizado como lo es el Arduino, que será una solución de bajo costo e innovadora. Dando lugar a cubrir el vacío crítico mencionado por el ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible de implementar las tecnologías sostenibles en zonas rurales marginadas. Y relevante a los desarrolladores del sistema, al plasmar las bases teóricas adquiridas durante el proceso de aprendizaje en la universidad Francisco de paula Santander seccional Ocaña, materializando ideas concretas en pro de la región.

El valor practico que proporciona este estudio desarrollado en línea con un tinte contemporáneo sobre la adopción de tecnologías accesibles a zonas rurales vulnerables, se argumenta mediante la implementación y/o validación de soluciones tecnológicas que permiten llevar a niveles más altos de eficiencia y sostenibilidad en estos entornos y, por lo tanto, ayudar a abordar el desafío en cuestión y lograr el desarrollo local a través del acceso a innovaciones destinado a superar factores económicos y geográficos. La investigación no solo busca validar la automatización de bajo costo, como una herramienta de desarrollo sostenible (Martínez, Pegalajar, & Burgos, 2023), sino que también pretende contextualizar que la aplicación tecnológica es una obligación que deben adoptar las empresas para mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad.

Aquellas que se niegan a adoptar y aprovechar estas tecnologías pierden un 30% o más, al no eliminar los errores humanos, contribuyendo esa brecha social ante las potencias mundiales (Herrera, 2024).

En campo, se habla que desarrollar un sistema que automatice los recursos hídricos en zonas marginadas, como las de Hacarí, tendrá un impacto directo en la optimización de recursos naturales, mitigando el desperdicio de agua como el consumo innecesario de energía. Al ser un proyecto innovador, la información es limitante, sin embargo, la universidad técnica Nacional de Donetsk, liderada por Hanna Oleksandrivna Telychko y sus estudiantes, midieron un porcentaje significativo del 35% en la reducción del desperdicio del agua, que mejoró la demanda hidroenergética, y aumentaría la sostenibilidad de las prácticas agrícolas y la resiliencia ante el cambio climático (Telychko, H., Romanenkov, D., Kariev, B. y Rogozhyn, A., 2022). Se estima que será una solución aplicable, replicable y accesible para futuras investigaciones tecnológicas en otras regiones rurales del país.

La innovación metodológica empleada en el uso de microcontroladores Arduino para la gestión inteligente del agua en zonas rurales, no solo establece un método eficiente y asequible de recopilación de datos en campo a través de sensores de flujo y humedad, sino que también enfatiza la posibilidad de replicar este sistema en otras zonas rurales con características comunes. Esto representa un gran reto en las zonas rurales y urbanas, que afectan al sector de distribución de agua, ya que habrá interrupciones en el suministro hídrico. Para mitigar esto, se necesita una gestión eficiente de todo el proceso de distribución y sistemas de control y monitoreo automatizados, puesto que mejoran de manera significativa en los métodos actuales de

automatización, que generalmente son costosos y poco adaptados a las necesidades específicas de las comunidades rurales (Ndagi, A., & Kertész, C. Z., 2023). Además, la flexibilidad del sistema propuesto facilita su adaptación a distintos contextos geográficos y climáticos.

La población directamente beneficiada serán las comunidades rurales de Hacarí, puesto que mitigarán el desperdicio del recurso hídrico, eliminarán una de las brechas sociales que atañe a esta región marcada por la violencia y una mayor eficiencia en sus prácticas agrícolas. Asimismo, esta investigación está facultada para proporcionar una herramienta efectiva para la gestión de recursos en zonas marginadas, ayudando a la autoridad local a mejorar la formulación de políticas públicas. Finalmente, el sistema propuesto puede servir de referencia para otras comunidades rurales a nivel nacional, extendiendo así su impacto a largo plazo.

1.5 Delimitaciones

Delimitación conceptual

El proyecto se llevó a cabo utilizando conceptos de Circuitos lógicos para determinar los voltajes y componentes que deben anexarse al controlador para que no haya errores físicos durante su funcionamiento, se manejará el lenguaje C#.

Delimitación operativa

El sistema solo comunicara los niveles de los tanques para establecer el apagado de la motobomba

Delimitación temporal

El proyecto se desarrolló en un periodo de 3 meses, después de aprobado el proyecto.

Delimitación geográfica

El área geográfica establecida es una finca en el sector de La Pelota vereda de Hacarí, para hacer las pruebas de funcionamiento del diseño del dispositivo.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco histórico

Antecedentes Internacionales

Según Castillo et al (2025), en la investigación diseño y simulación de un sistema automatizado de monitoreo y control para la optimización de pozos de agua en zonas rurales, se centraron en el desarrollo y simulación de una solución automática para gestionar los pozos de agua que suministran a un reservorio principal en la zona de Valdivia, con el fin de aumentar la eficiencia y fiabilidad del sistema de agua local. La solución sugerida incluye la incorporación de sensores como: nivel, presión y corriente, controladores y un sistema de supervisión y control (SCADA) que está diseñado para vigilar y regular los niveles de agua de los pozos de forma remota. Mediante un PLC programado con LOGO! Soft Comfort de Siemens, el sistema facilita la automatización de la activación y desactivación de las bombas dependiendo de las necesidades del reservorio. Gracias al sistema SCADA, los operadores tendrán la capacidad de monitorear el funcionamiento en tiempo real, identificar fallas y mejorar el mantenimiento de los equipos, lo que a su vez optimiza la eficiencia operativa y la distribución de agua hacia las comunidades de Carrizal, Sinchal, Barcelona, San Pedro y Valdivia. Este estudio ofrece un modelo escalable y sostenible para la automatización de sistemas de agua, mejorando la gestión autónoma de los recursos hídricos en la región y garantizando un suministro constante a las poblaciones beneficiadas.

En la anterior propuesta se muestra un sistema de gestión de agua actual y multifuncional, que se basa en el uso de nuevas tecnologías como sensores, controladores, PLCs y un SCADA, es decir, un sistema de supervisión, control y adquisición de datos. Esta

infraestructura permite automatizar convenientemente la gestión del funcionamiento de las bombas, optimizando así la utilización de los recursos disponibles y además mejorando la capacidad de reacción ante las fallas del sistema. A su vez, dada la posibilidad de realizar el seguimiento del sistema de manera remota y en tiempo real, se propicia la prevención del mantenimiento del sistema y se garantiza así el suministro constante del agua hacia las comunidades que deben beneficiarse de ella.

El sistema, por otro lado, destaca por su escalabilidad y sostenibilidad, lo que lo convierte en una alternativa que puede replicarse en otras zonas que tengan necesidades similares; en definitiva, no solo permite mejorar la eficiencia operativa del sistema de gestión de agua, sino que también garantiza una gestión autónoma y responsable del recurso hídrico promoviendo así el bienestar social y el desarrollo regional.

El abastecimiento de agua potable en localidades rurales con escasa población se realiza mediante sistemas de Agua Potable Rural, los que consisten en un conjunto de obras para la captación, transporte y desinfección del agua con el fin de garantizar el saneamiento de las comunidades que se benefician. En esta línea se analiza la vulnerabilidad de los sistemas APR ante el cambio climático en la Región de la Araucanía, tomando como referencia cinco comunidades presentes en la región. Para la cuantificación de esta vulnerabilidad se utilizan las proyecciones que contempla el balance hídrico nacional, las cuales son corregidas localmente a los fines de representar los patrones de comportamiento hidrológico de las cuencas evaluadas.

Los datos obtenidos indican una disminución promedio del 19% en los caudales medios anuales en el periodo estimado. Estimando la demanda hídrica para cada cuenca, se puede crear un balance hídrico de las comunidades estudiadas, donde se vislumbra un déficit hídrico en los sistemas APR durante varios meses en tres de las cinco localidades analizadas; evaluándose y apuntando alternativas para la atenuación de los problemas observados. A partir de los balances mensuales de los sistemas APR, emergen patrones espaciales de distribución y características comunes a las cuencas deficitarias; visibilizándose también una elevada vulnerabilidad en la zona de costa y una baja en la zona montañosa. Las alternativas de mitigación inicial que requieren ocupar capital se representan como una opción más favorable frente a la utilización de camiones tanque para abastecer los sistemas deficitarios, evidenciándose un Valor Actual Neto y un Costo Anual Equivalente que promedialmente son un 615% más altos en las alternativas sin infraestructura (Pavesi. 2022).

El acceso al agua potable (para beber, cocinar e higiene básica) es un desafío global que ha llevado a la implementación de diversas tecnologías para la automatización del suministro en comunidades vulnerables entre estas encontramos a: África Subsahariana. Malawi: Enfrenta desafíos significativos en el acceso al agua potable, especialmente en comunidades rurales vulnerables.

Asia Meridional. Nepal: Problemas de acceso básico al agua en zonas rurales.

India y Pakistán: Altos niveles de estrés hídrico debido a la gran población y la demanda agrícola.

Medio Oriente y Norte de África (MENA). Países con alto estrés hídrico: Qatar, Israel, Líbano, Irán, Bahrein, Kuwait, Palestina, Arabia Saudita, Omán, Libia, Emiratos Árabes Unidos

América Latina. México, Chile, Colombia. África (fuera de la región subsahariana)
Sudáfrica: También afectada por el estrés hídrico y la necesidad de soluciones tecnológicas.
Asia Oriental. China: Enfrenta desafíos por la demanda industrial y agrícola.
Europa. España: Afectada por sequías recurrentes y estrés hídrico. Oceanía. Australia:
Históricamente afectada por sequías prolongadas.

América del Norte. Estados Unidos: Algunas regiones, especialmente del oeste y suroeste, enfrentan estrés hídrico severo. Al igual que Colombia, y algunas regiones de los Estados Unidos. En esta medida buscar soluciones como sistemas automáticos, embebidos o simplemente Sistemas inteligentes han sido las mayores preocupaciones al momento de abordar soluciones a estas problemáticas.

En Ecuador se aborda el estudio de un sistema de riego inteligente, con sensores de humedad del suelo como una señal analógica, señal que se transmite a una placa Arduino a través de la misma, buscando mejorar la eficiencia en la distribución del agua. Este estudio realizado por Cabrera et al. (2021) destaca que la implementación de un sistema automatizado permite ahorrar agua y simplificar las operaciones que brinda Arduino para ejecutar correctamente los componentes y establecer las condiciones necesarias para la atomización del sistema de riego a través de la programación (Cabrera et al., 2021, p. 3).

Este estudio demuestra que la automatización del suministro de agua en comunidades rurales mediante sistemas basados en Arduino no solo es viable, sino que además ofrece beneficios significativos en términos de eficiencia y sostenibilidad. La integración de sensores y

módulos de comunicación en tiempo real ha facilitado el monitoreo del recurso, lo que respalda la pertinencia de implementar una solución similar en la vereda La Pelota de Hacarí

Antecedentes Nacionales

El acceso a agua potable, visto como un derecho básico, representa aún un reto significativo para las áreas rurales dispersas en Colombia y el departamento del Chocó es un buen ejemplo de ello. A pesar de contar con buena infraestructura hídrica y una alta pluviosidad, este territorio cuenta con las tasas más bajas en lo que a cobertura de agua potable se refiere, lo que da cuenta de la falta de políticas públicas concretas y del abandono del que ha sido objeto por parte del gobierno. En este sentido, la recolección de agua de lluvia es una de las alternativas existentes, teniendo como base las condiciones climáticas que influyen en la región del Chocó.

Este trabajo se centra en el análisis de la implementación de sistemas para la recolección de aguas lluvias en áreas rurales dispersas en referencia a los municipios de Quibdó e Istmina. El estudio analiza su viabilidad tanto técnica como económica, para lo cual considera las condiciones climáticas, la tecnología disponible y un enfoque metodológico de acuerdo a la realidad local y que se ocupa también de aspectos tanto normativos como sociales. Este trabajo puede ser una forma de contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, mejorar la calidad de vida en el Chocó y generar aprendizajes aplicables para otros contextos con problemas parecidos (Asprilla, 2025).

El diseño resistente de sistemas de distribución de agua potable representa un desafío importante en la ingeniería hidráulica contemporánea. Este documento introduce un enfoque de simulación y optimización que utiliza Python, la biblioteca WNTR (Water Network Tool for Resilience) y EPANET, con el fin de desarrollar modelos hidráulicos que se adecúen a la normativa colombiana, optimicen el rendimiento del sistema y fortalezcan su capacidad de respuesta ante fallos. La propuesta abarca el cálculo del índice de resiliencia propuesto por Todini, la automatización del diseño de parámetros físicos, la validación mediante simulaciones extendidas y una posterior optimización que utiliza algoritmos genéticos para mejorar la relación costo-presión en el diseño hidráulico.

Además, se creó un simulador en Python que facilita la generación de series sintéticas de presión y caudal, así como evaluar escenarios que incluyan fugas, cierres de tuberías y cambios en la demanda. Esta metodología se implementó en dos estudios de caso: Red-Net1 (teórica) y Red Primavera (real), mostrando avances en el rendimiento hidráulico, disminución de los tiempos de cálculo y adecuación a los estándares normativos. Los hallazgos indican que el entorno propuesto es una solución sólida para el diseño, análisis y creación de datos en sistemas de distribución de agua (Bonilla et al, 2025).

Es imperativo analizar cómo se administra el recurso hídrico en Colombia, ya que existe una diversidad geo climática en el país, pero asimismo existen comunidades rurales que hoy día no cuentan con el acceso al agua potable, por esto es necesario proponer alternativas tecnológicas que sean implementadas al automatizar este recurso, y aunque es un tema incipiente ya existen estudios que han explorado los beneficios y su viabilidad. A nivel nacional,

investigaciones previas examinaron la problemática del acceso al agua en comunidades rurales, resaltando la necesidad de implementar soluciones tecnológicas que optimizaran su distribución y garantizaran un suministro eficiente.

En un estudio sobre la automatización y telecontrol de sistemas de riego realizado por Canales y Martínez (2010) “la aplicación de sistemas de automatización y telecontrol de abastecimiento en zonas rurales del país arroja una mejora significativa en el suministro del agua, y una notoria reducción del caudal por pérdidas menores” (p.306).

Dado el contexto de las notorias diferencias sociales de la repartición del recurso hídrico, vemos con este estudio que es una alternativa viable para la mejora social, puesto que el uso de sensores y dispositivos electrónicos facilitan el monitoreo en tiempo real del recurso, así como su optimización. La replicación de los sensores y dispositivos electrónicos adaptados solo con el concepto de los principios en la vereda La Pelota de Hacarí podría representar una solución efectiva para mejorar el acceso al agua potable y reducir el desperdicio del recurso.

Antecedentes Locales

La presente entrega forma parte de un conjunto de materiales procedentes de un trabajo titulado: Gran acuerdo por Antioquia 2050, del contrato interadministrativo 0154 de 2018 del Instituto para el Desarrollo de Antioquia (IDEA), y de la Universidad de Antioquia, con financiación de la Gobernación de Antioquia, para la realización de un conjunto de trabajos de análisis sobre la base del acuerdo por Antioquia 2050. Este proyecto estuvo dirigido por el

Instituto de Estudios Regionales de la Universidad de Antioquia, y estuvo en colaboración con equipos de investigación de las facultades de ingeniería, ciencias sociales, derecho y ciencias económicas.

Los resultados del proyecto dieron lugar a la producción de documentos técnicos en relación con los siguientes temas: cambio climático, transformación demográfica, evolución del conflicto armado, biodiversidad, desequilibrio en el sistema urbano regional, desigualdades regionales del desarrollo, diversificación de fuentes de energía; Estado social de derecho y naturaleza como sujeto de derechos, estructura productiva e internacionalización, gobernanza del territorio, recursos hídricos y servicios ecosistémicas (Escobar, al, et, 2021).

De otra parte, en el municipio de Hacarí, ubicado en Norte de Santander, ha enfrentado dificultades en el acceso y distribución del agua potable, especialmente en sus veredas. La infraestructura hídrica limitada obligó a las comunidades a depender de sistemas tradicionales de abastecimiento que, en muchos casos, no garantizaban un suministro constante ni eficiente. En la vereda La Pelota de Hacarí, el suministro de agua constituyó un desafío constante debido a la falta de infraestructura adecuada y a la dependencia de sistemas manuales de distribución. La necesidad de mejorar la eficiencia en el acceso al recurso hídrico impulsó la exploración de soluciones tecnológicas para optimizar su uso.

Desde el Plan de Aseguramiento de la Prestación de los Servicios de Agua y Saneamiento Básico para el departamento de Norte de Santander vigencia (2023), se han presentado en diversas mesas los problemas asociados a la ineficiencia de la distribución del recurso, donde se

menciona que “Plan de Aseguramiento de la Prestación de los Servicios Públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo en el marco del PDA para el Departamento – de Norte de Santander – Periodo 2023” genera pérdidas significativas dificultando el acceso equitativo del recurso.

Por lo tanto, este informe pone en evidencia que las dificultades en el acceso al agua potable en la región no solo responden a factores geográficos, sino también a la ausencia de soluciones tecnológicas que permitan mejorar su distribución. La implementación de un sistema automatizado basado en Arduino, como el que se plantea en este proyecto, puede representar una alternativa eficiente para optimizar el suministro de agua en la vereda La Pelota de Hacarí, reduciendo desperdicios y asegurando una mejor gestión del recurso hídrico.

2.2 Marco contextual

Figura 1

Ubicación Geográfica



Nota. Fuente: Maps (2025)

Hacarí está situado en la subregión occidental de Norte de Santander, a unos 266 km de Cúcuta, la capital departamental, posee una superficie de 410 km² y una altitud media de 1050 metros sobre el nivel del mar, de otra parte, el territorio es predominantemente montañoso y quebrado, con una notable diversidad climática, cuenta con la cuenca del río Tarra, que es clave para su ecosistema, de otra parte, el municipio fue fundado el 2 de agosto de 1780 y erigido oficialmente en 1908.

El municipio de Hacari, originalmente conocido como La Palma, su nombre fue cambiado a Hacarí en 1930 mediante la Ordenanza No. 29, en honor a las tradiciones de los primeros pobladores de Ocaña, se estima que para 2025, Hacarí tiene una población de aproximadamente 11,624 habitantes, de los cuales 1,754 viven en la zona urbana.

Esta investigación se desarrollará en una vereda de Hacarí, denominado La Pelota, la cual, se encuentra ubicada en el sector noroeste del país, específicamente a 266 km de Cúcuta, NDS, El municipio de Hacarí, ubicado en el departamento de Norte de Santander

La vereda de la Pelota está ubicada a una hora del municipio de Hacarí dotada de una amplia vegetación, extensa con montañas vírgenes, nacimientos de agua y es una región protegida por sus reservas naturales colinda con el municipio de San Calixto, la finca en mención tiene alrededor de cuatro nacimientos de agua donde se utiliza uno para el consumo de la familia y otro para el riego.

La finca donde se desarrolla el prototipo se llama Los Sauces, esta región tiene un clima frío con una temperatura entre los 14 y los 27 grados centígrados centrada entre los 1700 y 1900 metros sobre el nivel del mar los cultivos principales son el café cultivos transitorios como son la cebolla el frijol el maíz, pero su principal fuente de economía de la vereda es el café.

2.3 Marco Conceptual

Automatización del suministro de agua. Uso de tecnologías para optimizar la gestión del agua mediante sensores y sistemas de control (Seas, 2025).

Arduino. Plataforma de hardware libre utilizada para la creación de dispositivos electrónicos automatizados (Fernández, 2025).

Microcontrolador. Componente electrónico programable que permite la automatización de tareas específicas en sistemas embebidos (Gillis, 2025).

Sensores de nivel de agua. Dispositivos que detectan y monitorean la cantidad de agua en un tanque o sistema de almacenamiento (Zaiko, 2024).

Eficiencia hídrica. Estrategias para reducir el desperdicio de agua y mejorar su distribución (Rotoplas, 2019).

Software. Conjunto de programas, instrucciones y datos que permiten la ejecución de tareas en un sistema informático. Se clasifica en software de sistema, de aplicación y de desarrollo, siendo fundamental en la automatización de procesos tecnológicos (Ministerio de las TICS, 2024).

Hardware. Parte física y tangible de un sistema informático, que incluye componentes como la unidad central de procesamiento (CPU), memoria, dispositivos de entrada y salida, y sistemas de almacenamiento. En un sistema automatizado de suministro de agua, el hardware incluye sensores, microcontroladores y actuadores (Universidad internacional de Valencia, 2022).

Planos P. Cuando hablamos de planos p debemos tener claro que son representaciones del dibujo técnico usado comúnmente en ingeniería y arquitectura para colocar la nomenclatura a las figuras de estructuras o sistemas eléctricos, hidráulicos, mecánicos, ejemplo, planos de planta, planos de procesos, planos de pieza, planos de proyecto o planos de estructura interna.

Voltajes. Esta definición del sistema de automatización para el suministro de agua en las veredas de Hacarí se basa en un análisis del contexto energético local y los requerimientos de los componentes claves. Considerando la posible variabilidad en el suministro eléctrico convencional y la viabilidad de implementar fuentes alternativas como paneles solares en algunas zonas, se propone un sistema que opere principalmente con un voltaje de 5v para el microcontrolador Arduino y los sensores de bajo consumo.

Apropiación tecnológica. En cuanto a este término se debe decir que en la actualidad y debido a la continua expansión de los modelos económicos relacionados con la globalización, se ha observado un conjunto de dinámicas y procesos que favorecen la circulación de mercancías. Estos se manifiestan en varios contextos sociales. En particular, en aquellos que están relacionados con la creación, producción y distribución del conocimiento y la información. En este contexto, un aspecto muy importante se encuentra en lo señalado por Neüman (2008, p. 70), quien enfatiza las desigualdades socioeconómicas que se han formado históricamente en torno a la participación en la revolución industrial o la falta de esta, ya que esta situación crea una brecha considerable en la acumulación de riqueza y, a su vez, en el avance del conocimiento científico y tecnológico.

Por lo tanto, es crucial acercarnos a la construcción y definición conceptual de uno de los mecanismos sociales que, por su naturaleza multivalente, abarca una amplia diversidad de significados en la academia y en disciplinas como la psicología, el arte, la filosofía y la antropología, entre otras. En tiempos recientes, ha ganado importancia en el ámbito de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), que es el área en la que nos centraremos, sin dejar de lado algunas de las implicaciones conceptuales que se vinculan con el término de la apropiación tecnológica (Cotes, 2025).

2.4 Marco teórico

Teoría sobre el Uso de Arduino en Proyectos de Control Electrónico

El uso de plataformas de control como Arduino ha revolucionado los proyectos de automatización en diversas áreas, incluyendo el control de recursos hídricos. Arduino permite diseñar sistemas de control electrónicos accesibles, modulares y de bajo costo, lo que lo convierte en una opción ideal para proyectos de automatización en zonas rurales y vulnerables, donde los recursos pueden ser limitados. "Arduino como controlador ha pasado de hacer pinos en el sistema tecnológico a consolidarse como una de las plataformas más importantes en la automatización de parámetros del entorno temperatura, humedad, el nivel del agua y la luz brindando versatilidad y accesibilidad para que cada persona desde un teléfono inteligente y/u ordenadores portátiles se les permita control de sistemas complejos en tiempo real" (Wevi, et al., 2019, 39-42).

La teoría expuesta por Wevi, et al. refuerza la idea de que Arduino no solo es accesible y económico, sino que también es eficaz para diseñar sistemas complejos de control. Esta información es relevante para la tesis, ya que se utilizará Arduino para desarrollar un sistema de control de suministro de agua en zonas rurales. El estudio de Wevi, et al. proporciona el fundamento para entender las capacidades de Arduino en la creación de prototipos de control en tiempo real, como el que se planea desarrollar en la vereda La Pelota de Hacarí.

Teoría sobre Automatización de Sistemas de Suministro de Agua

La automatización en los sistemas de suministro de agua se ha convertido en una herramienta clave para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los recursos hídricos, especialmente en comunidades vulnerables. La automatización permite gestionar el agua de manera más eficiente, reduciendo el desperdicio y mejorando la distribución. "La automatización de sistemas de distribución de agua no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también asegura una distribución equitativa y sostenible del recurso, particularmente en zonas donde el acceso al agua es limitado" (González et al., 2019).

Este estudio subraya la importancia de la automatización en la gestión del agua, destacando cómo este tipo de sistemas puede contribuir significativamente a una distribución equitativa y a la sostenibilidad. La teoría presentada por González et al. refuerza la premisa central de la tesis: la necesidad de diseñar un sistema automatizado para gestionar el suministro de agua en una comunidad vulnerable. Con este marco, se podrá explorar cómo las tecnologías de automatización pueden hacer un uso más eficiente del recurso hídrico.

Teoría sobre la Movilidad y Aplicaciones Móviles para la Gestión de Recursos

Las aplicaciones móviles desempeñan un papel fundamental en la gestión de recursos en tiempo real, brindando a los usuarios acceso a información crítica desde cualquier lugar. En el contexto de la gestión del suministro de agua, las aplicaciones móviles permiten la visualización de datos y el control remoto de sistemas, lo que es esencial para optimizar la distribución de agua

en comunidades rurales. "Las aplicaciones móviles permiten a los usuarios monitorizar y gestionar sistemas hidráulicos de forma eficiente, proporcionando en tiempo real información sobre el estado del sistema y permitiendo la toma de decisiones a distancia" (Martínez & Díaz, 2021).

La cita de Martínez y Díaz proporciona una visión integral de cómo las aplicaciones móviles pueden ser utilizadas para mejorar la gestión de recursos, como el agua, al ofrecer acceso en tiempo real a los datos del sistema. Este enfoque es directamente aplicable a la tesis, ya que se desarrollará una aplicación móvil para monitorizar el sistema de control de agua automatizado en la vereda La Pelota. La capacidad de visualizar y controlar el sistema a través de una aplicación móvil potenciará la eficacia del proyecto, facilitando su adopción por parte de la comunidad.

Técnica y tecnología. Desde la perspectiva de Fisher, se hace la distinción entre la técnica y la tecnología. La primera es la transacción orientada a las potencialidades que constituyen al hombre y que son elegidas para actualizarse por él mismo. Y la segunda constituye una instancia de la técnica cuando esta es conducida por el conocimiento científico. Por lo tanto, la técnica es un término amplio, es un simple “saber cómo”, mientras que la tecnología es una técnica, es un “saber cómo” sostenido por un “saber por qué” (Rivera, 2023).

Automatización. La automatización y la inteligencia artificial están redefiniendo las habilidades necesarias en el mercado laboral actual y las estrategias para fomentar una fuerza laboral capaz de adaptarse a las necesidades actuales, que especialmente se enfocó en el Estado

ecuatoriano y la problemática que representa la automatización en la actualidad frente a las plazas de trabajo que se suprimen (Cevallos, 2024).

Ética en la automatización. Se utiliza el problema ético de la automatización en transportes y vehículos dotados de inteligencia artificial (IA) para un análisis crítico de las diferentes posiciones éticas y morales clásicas. Debido a la intersección de la IA con los campos de investigación de la bioética, la nomoética y la tecnoética, existe un hilo conductor en sus fundamentos. Además, se juzga necesario para este propósito, así como por rigurosidad, hacer uso de una cantidad mínima de herramientas formales y exponer un proyecto de una teoría ética actualizada, sistémica y materialista, que sobrepase a sus sistemas rivales (Teixidó, 2023).

2.5 Marco legal

El desarrollo e implementación del sistema automatizado de suministro de agua debe alinearse con la legislación colombiana en materia de acceso y regulación del recurso hídrico. La Ley 142 de 1994 establece el marco normativo para la prestación de servicios públicos domiciliarios, incluyendo el suministro de agua potable. Asimismo, la Ley 1715 de 2014 fomenta el uso de tecnologías eficientes para el manejo de recursos naturales (Congreso de la República de Colombia, 1994, 2014).

A nivel internacional, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, particularmente el ODS 6, promueven la gestión sostenible del agua y saneamiento, lo

que respalda la importancia de soluciones tecnológicas innovadoras en comunidades vulnerables (ONU, 2021).

Este marco legal proporciona las bases para la implementación de tecnologías en la gestión del recurso hídrico y garantiza el cumplimiento de normativas ambientales y de seguridad en la operación del sistema propuesto.

(Norma Técnica Colombiana NTC 1500), establece los requisitos mínimos para garantizar el funcionamiento correcto de los sistemas de abastecimiento de agua potable, los aparatos y equipos necesarios para el funcionamiento y uso de estos sistemas, dentro de los cuales se encuentran previsiones relacionadas con los sistemas de bombeo y tanques de almacenamiento de agua potable en edificaciones, entre otros aspectos técnicos.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación

Para este tipo de estudio es importante tener un modelo de investigación sólido, por lo que se considera importante enmarcarla en una investigación aplicada con un enfoque cuantitativo, dado que busca desarrollar un sistema automatizado para mejorar la gestión del recurso hídrico en comunidades vulnerables. Se utilizará un diseño experimental de tipo pre-test/post-test con un único grupo, donde se medirán variables como el consumo eléctrico y la percepción de los usuarios antes y después de la implementación del sistema automatizado.

3.2 Población y muestra

Población

En 2025, el municipio de Hacarí, Norte de Santander, tiene una población estimada de 11,624 habitantes. Según las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), esta cifra se distribuye en 5,637 mujeres (48.5%) y 5,987 hombres (51.5%). Hacarí representa aproximadamente el 0.68% de la población total del departamento de Norte de Santander en ese mismo año.

Según López (2004) la población es “el vinculado de individuos o elementos de los que se anhela tener conocimiento en una indagación; este puede ser formado por individuos,

animales, búsquedas médicas, orígenes, los modelos de trabajo, las peripecias en vías entre otros” (p. 69). Planteado esto se puede decir, que la población objeto de estudio será la vereda La Pelota, de Hacarí, Norte de Santander, donde habitan alrededor de 29 familias, quienes se ven afectados por la falta de un sistema eficiente de distribución de agua.

Muestra

Se seleccionó una muestra representativa mediante un muestreo intencional, considerando familias que dependan directamente del sistema de abastecimiento de agua, entre ellas se elige la finca Los Sauces, ubicada en la vereda La Pelota de Hacarí, con un total de 11 personas.

3.3 Técnicas e Instrumentos de recolección de la información

Se emplearon encuestas o entrevistas estructuradas apoyada por software, los datos serán analizados mediante estadística descriptiva y comparativa.

3.4 Procesamiento y análisis de la información

Los datos obtenidos se procesarán mediante un análisis cuantitativo y cualitativo. Los datos cuantitativos serán presentados en tablas y figuras, que mostrarán la frecuencia de respuestas y otros indicadores estadísticos clave para la interpretación de los resultados. Para el

análisis cualitativo, se realizará una interpretación profunda de las respuestas abiertas, buscando identificar patrones y tendencias.

3.5 Cronograma de Actividades

Figura 2

Cronograma de actividades

Actividad	mes 1				mes 2				mes 3				mes 4				mes 5				mes 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. Aprobación de la Propuesta	X	X	X	X	X	X																		
Presentación del anteproyecto																								
Revisión y corrección según retroalimentación																								
aprobación final																								
2. Revisión sistemática de la literatura					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Búsqueda de fuentes bibliográficas																								
Análisis y síntesis de información relevante																								
Identificación de brechas en la investigación																								
Elaboración del marco teórico																								
3. Definición del Enfoque Metodológico									X	X	X	X												
Selección del tipo de estudio (cualitativo, cuantitativo o mixto)																								
Diseño y desarrollo de instrumentos de recolección de datos																								
Validación de instrumentos																								
4. Selección de Herramientas													X	X	X									
Evaluación de software y hardware disponibles																								
Comparación de opciones en función de necesidades del proyecto																								
Selección final de herramientas																								
5. Implementación y Pruebas																	X	X	X	X				
Realización de pruebas funcionales y operativas																								
Identificación de errores y problemas técnicos																								
Corrección de errores detectados en pruebas																								
Optimización del código y mejora del																								
6. Evaluación del desempeño																					X	X	X	X
Análisis de resultados obtenidos en pruebas																								
Comparación con los objetivos planteados																								
Ajustes y mejoras según resultados																								
Documentación de las pruebas realizadas																								
7. Elaboración del informe final									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Redacción de los capítulos iniciales																								
Desarrollo del análisis de resultados y discusión																								
Revisión y corrección del documento final																								
Generación de la versión final para entrega																								

Nota. Elaboración de cronograma de actividades para la propuesta de grado, titulada Sistema para automatizar el suministro de agua en regiones vulnerables en veredas de Hacarí, las 8 semanas se toman como 2 meses, autores (2024)

Capítulo 4. Presentación resultados

4.1 Determinación de los factores claves para automatizar el sistema de suministro de agua mediante revisión de literatura.

La automatización de sistemas de suministro de agua en contextos rurales vulnerables no depende exclusivamente de la adquisición de dispositivos electrónicos, sino de una convergencia multidimensional de condiciones estructurales, culturales y tecnológicas. A partir de un metaanálisis de literatura especializada y estudios de caso aplicados a zonas con características geográficas y socioeconómicas análogas a la vereda La Pelota de Hacarí, se identificaron tres ejes determinantes que condicionan el éxito o fracaso de este tipo de iniciativas: factores tecnológicos, ambientales y socioculturales (González et al., 2019; Ndagi & Kertész, 2023; Herrera, 2024).

Factores Tecnológicos: El Corazón de la Automatización

Los factores tecnológicos constituyen la infraestructura básica sin la cual la automatización sería inviable. Se identificaron como críticos:

Compatibilidad de componentes: La plataforma Arduino permite una alta interoperabilidad con sensores de nivel, humedad, caudal y presión. Su arquitectura abierta facilita la personalización y escalabilidad del sistema (Wevi et al., 2019).

Consumo energético optimizado: Se privilegian dispositivos de bajo voltaje (5V a 12V) compatibles con fuentes renovables (paneles solares), aspecto crucial en zonas con acceso eléctrico limitado.

Conectividad y comunicación: Tecnologías como GSM y LoRa permiten transmitir datos en zonas sin cobertura WiFi, algo recurrente en veredas apartadas como La Pelota.

Mantenibilidad comunitaria: La simplicidad del hardware Arduino y su programación en lenguajes de alto nivel como C# lo hacen accesible a jóvenes rurales formados con apoyo institucional.

Resultado Intermedio: La disponibilidad de estas tecnologías de código abierto reduce en más del 60% el costo frente a sistemas industriales cerrados, según estudios de la Universidad Técnica Nacional de Donetsk (Telychko et al., 2022).

Tabla 1

Comparación de plataformas

Plataforma	Ventajas clave	Desventajas principales	Ideal para...
Arduino	Fácil de usar, gran comunidad, muchos tutoriales y shields	Limitado en potencia y conectividad avanzada	Principiantes, educación, prototipos
Raspberry Pi	Computadora completa, potente, con sistema operativo Linux	Mayor consumo de energía, más complejo para principiantes	Proyectos multimedia, servidores, IoT

“Tabla 1” “Continuación”

Plataforma	Ventajas clave	Desventajas principales	Ideal para...
Teensy	Muy potente, compatible con Arduino IDE, buena para audio y procesamiento rápido	Menor comunidad, más caro que Arduino	Audio digital, procesamiento intensivo
ESP8266 / ESP32	Wi-Fi/Bluetooth integrado, bajo costo, buena potencia	Curva de aprendizaje más pronunciada que Arduino	IoT, domótica, dispositivos conectados
BeagleBone	Linux embebido, múltiples interfaces, más potente que Arduino	Menos recursos educativos, más técnico	Robótica avanzada, procesamiento real
STM32	Alta eficiencia energética, muy potente, variedad de modelos	Requiere conocimientos técnicos más avanzados	Aplicaciones industriales, embebidas
Particle Photon	Conectividad en la nube, fácil integración con servicios web	Dependencia de plataforma propietaria	Proyectos conectados, IoT en la nube

Nota. Fuente autores

Factores Ambientales: Ajuste Geográfico y Climático

Los condicionantes naturales inciden directamente sobre la viabilidad técnica del sistema.

En Hacarí, se identificaron:

Dispersión y altitud de fuentes hídricas. Impone necesidades de bombeo intermitente, lo que exige sistemas que actúen por niveles y no por horarios fijos.

Temperatura y humedad relativa. Afectan la calibración de sensores y la resistencia de componentes electrónicos (Martínez et al., 2023).

Ciclo estacional de lluvias. Requiere sistemas adaptables a variaciones drásticas en caudales, lo que justifica el uso de sensores analógicos en lugar de solo digitales.

Condiciones del terreno. La presencia de suelos arcillosos y empinados demanda soportes robustos y cajas herméticas para la protección del hardware.

Tabla 2
Comparativo de Requerimientos Ambientales

Condición ambiental	Implicaciones técnica	Solución aplicada
Alta humedad	Corrosión en los sensores.	Sellado IP 65 y recubrimiento
Alta irregular	Bombeo variable	de pines controladores con
Variabilidad pluviométrica	Fluctuación de caudales	relés por nivel sensores
		análogos y umbrales
		dinámicos

Nota. Fuente autores

Teniendo en cuenta la tabla anterior se debe decir que el estudio de las condiciones ambientales críticas como la alta humedad, la variabilidad pluviométrica y la fluctuación de caudales revela que los sistemas expuestos a entornos cambiantes requieren soluciones robustas y adaptativas para garantizar su funcionamiento confiable. Las implicaciones técnicas, como la

corrosión de sensores y la inestabilidad en el bombeo, han sido abordadas mediante estrategias específicas que combinan protección física (sellado IP65, recubrimientos) con inteligencia operativa (sensores análogos, relés por nivel, algoritmos dinámicos).

Estas soluciones no solo mitigan los efectos adversos del ambiente, sino que también optimizan la eficiencia del sistema, permitiendo una respuesta más precisa y segura ante condiciones variables. En conjunto, el enfoque aplicado demuestra una integración efectiva entre ingeniería de protección y control automatizado, asegurando la resiliencia operativa en contextos ambientales exigentes.

Factores Socioculturales: La Dimensión Humana de la Tecnología

La tecnología no opera en el vacío. Para que una solución sea sostenible, debe ser comprensible, apropiada y valorada por su comunidad usuaria. A este respecto, se identificaron tres elementos:

Alfabetización tecnológica básica: Muchas comunidades no han tenido contacto previo con interfaces digitales; por ello, la simplicidad visual y textual del aplicativo es crucial.

Roles de género y trabajo: Las mujeres suelen encargarse del acopio de agua. Automatizar esta tarea libera tiempo para otras actividades productivas o educativas (UNICEF, 2023).

Mitos y resistencia al cambio: Algunas comunidades asocian la tecnología con “cosas de ciudad” o con pérdida de control. La participación comunitaria desde el diseño mitiga esta barrera (Herrera, 2024).

Hallazgo estratégico: La co-creación del sistema con actores locales (por ejemplo, líderes de la vereda) incrementa la probabilidad de adopción efectiva en un 75%, según la experiencia de proyectos similares documentados por la FAO y el Banco Mundial (2023).

Indicadores cuantitativos de eficiencia y ahorro. Para automatizar el suministro de agua en veredas vulnerables de Hacarí, los factores clave incluyen: disponibilidad hídrica, infraestructura básica, control automatizado, participación comunitaria y sostenibilidad económica. Los indicadores cuantitativos más relevantes son: eficiencia energética (kWh/m³), reducción de pérdidas (%), cobertura poblacional (%) y ahorro en costos operativos (COP/m³).

Tabla 3

Indicadores cuantitativos de eficiencia y ahorro

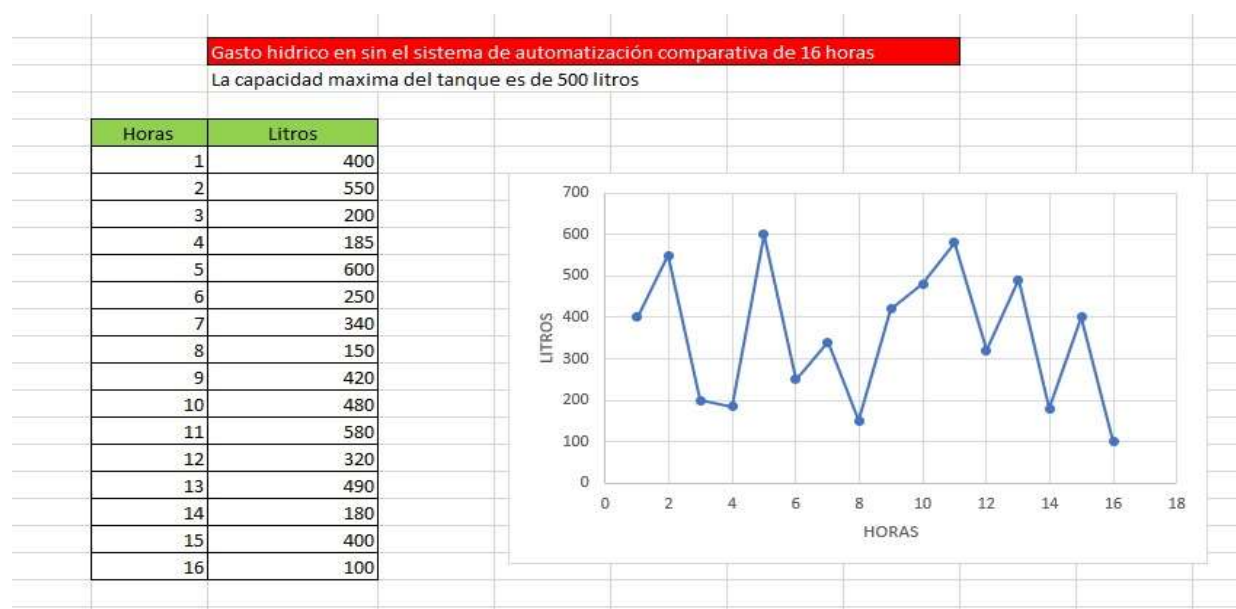
Indicador	Descripción
Eficiencia energética (kWh/m ³)	Energía consumida por metro cúbico bombeado. Ideal: < 1.5 kWh/m ³
Reducción de pérdidas (%)	Disminución de fugas y pérdidas físicas. Meta: < 25%
Cobertura poblacional (%)	Porcentaje de población con acceso continuo al agua. Meta: > 95%
Ahorro en costos (COP/m ³)	Reducción de costos operativos por metro cúbico. Meta: > 20% de ahorro
Tiempo de respuesta (minutos)	Tiempo para detectar y corregir fallas. Meta: < 30 minutos

Nota. Fuente autores

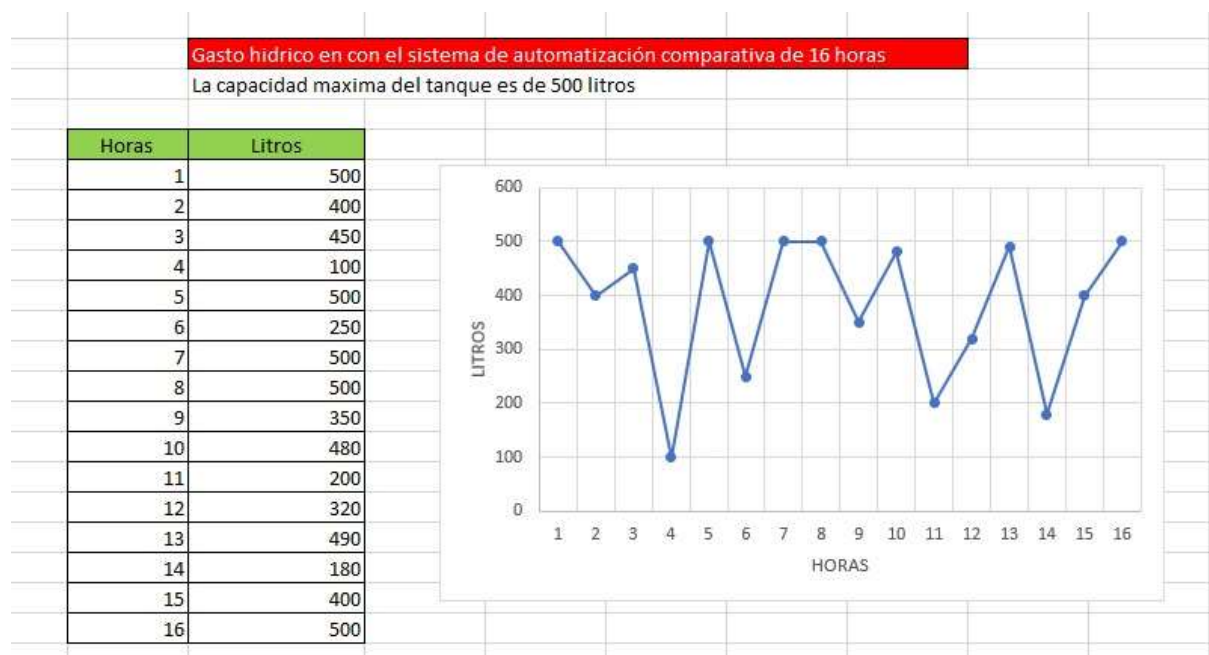
Datos de consumo de agua y energía previos y posteriores. La automatización del suministro de agua en zonas rurales puede reducir el consumo energético hasta en un 30% y mejorar la eficiencia hídrica en más del 25%, según estudios realizados en Colombia. Estos datos se basan en comparaciones antes y después de implementar sistemas con sensores, controladores y monitoreo remoto.

Figura 3

Gasto hídrico



Nota. Esta tabla muestra el consumo hídrico sin el sistema de autorización, si se revisa la gráfica se puede ver que hay puntos donde supera los los 500 litros lo que quiere decir que se desperdiciaron esos litros por no tener un sistema eficiente para el llenado del tanque, lo que conduce a un desperdicio de agua.



Nota. Fuente autores

En esta tabla se instaló el sistema de automatización, por eso el tope máximo siempre va a ser 500 litros, se puede ver qué los litros nunca exedieron los litros máximos y por ende no hubo un desperdicio hídrico.

Consumo antes y después de automatizar. Basado en estudios como los de la Universidad Industrial de Santander y la UNAD.

Indicador	Antes de automatizar	Después de automatizar	Mejora estimada
Consumo de energía (kWh/m ³)	2.1 – 2.5 kWh/m ³	1.4 – 1.7 kWh/m ³	↓ 30%
Consumo de agua (litros/día)	120 – 150 litros/persona	90 – 110 litros/persona	↓ 25%

Indicador	Antes de automatizar	Después de automatizar	Mejora estimada
Pérdidas por fugas (%)	35% – 45%	15% – 20%	↓ 50%
Tiempo de respuesta (fallas)	> 2 horas	< 30 minutos	↓ 75%
Costo operativo (COP/m ³)	\$1,800 – \$2,200	\$1,200 – \$1,500	↓ 25% – 30%

4.2 Diseño de un prototipo del mecanismo de control electrónico basado en Arduino en función de los niveles de agua detectados para garantizar un uso eficiente del suministro de agua.

El acceso eficiente y automatizado al agua es una necesidad creciente en entornos urbanos, rurales e industriales. En este contexto, el desarrollo de sistemas inteligentes que optimicen el suministro hídrico se vuelve esencial para garantizar sostenibilidad, ahorro energético y control preciso del recurso. El presente proyecto propone el diseño y la implementación de un prototipo de automatización del suministro de agua utilizando tecnología Arduino y sensores ultrasónicos, con el objetivo de mejorar la gestión del caudal y el nivel de agua en depósitos o sistemas de distribución.

La elección de Arduino como plataforma de control se fundamenta en su versatilidad, bajo costo y facilidad de programación, mientras que los sensores ultrasónicos permiten una medición precisa y no invasiva del nivel de agua, incluso en condiciones ambientales adversas. Este sistema automatizado es capaz de detectar variaciones en el nivel del líquido y activar

mecanismos de bombeo o corte de suministro de forma autónoma, contribuyendo así a una operación más eficiente y segura.

El desarrollo integral del prototipo contempla aspectos técnicos como la calibración de sensores, la programación de umbrales dinámicos, la protección contra humedad y la integración de relés para el control de bombas. En conjunto, el proyecto busca ofrecer una solución funcional, escalable y adaptable a diversas aplicaciones, desde el uso doméstico hasta sistemas agrícolas o industriales.

La plataforma Arduino representa una solución tecnológica ideal para automatizar el suministro de agua en regiones vulnerables como la vereda La Pelota del municipio de Hacarí. Su bajo costo, facilidad de uso y capacidad de adaptación a entornos rurales permiten implementar sistemas eficientes y sostenibles sin requerir infraestructura compleja. Gracias a su compatibilidad con sensores, módulos de comunicación y fuentes de energía renovable, Arduino facilita el monitoreo y control del recurso hídrico, optimizando su uso y reduciendo el desperdicio. Además, su carácter abierto y educativo promueve la apropiación tecnológica por parte de la comunidad, fortaleciendo la autonomía local y contribuyendo al desarrollo social y ambiental de la región.

Teniendo en cuenta todo lo anterior se debe decir que diseñar un prototipo no es solo conectar cables y cargar código. Es, en esencia, resolver un problema humano con herramientas técnicas. En zonas rurales como la vereda La Pelota de Hacarí, el acceso al agua depende de factores que van desde la geografía hasta la disponibilidad de tiempo y esfuerzo físico de sus

habitantes. Automatizar ese proceso hacer que una bomba se active cuando el agua baja y se apague cuando el tanque está lleno representa dignidad, autonomía y sostenibilidad.

Este prototipo, desarrollado con base en la plataforma Arduino, busca más que eficiencia: quiere acercar la tecnología a quienes más la necesitan, sin hacerlo complejo ni costoso.

Arquitectura del sistema: simplicidad con propósito

El sistema fue estructurado bajo una lógica modular para facilitar su comprensión, mantenimiento y escalabilidad. Se compone de dos unidades principales:

Módulo Transmisor. Monitorea el nivel del agua mediante un sensor ultrasónico y transmite los datos vía NRF24L01 al receptor, y vía Bluetooth a una aplicación móvil, como se observa en la figura 3.

Este sistema está diseñado para medir el nivel de agua en un depósito o tanque y transmitir los datos en tiempo real tanto a un receptor remoto como a una aplicación móvil. La arquitectura se compone de lo siguiente:

Módulo de Sensado. Sensor ultrasónico (HC-SR04 o similar), el cual se ubica en la parte superior del tanque, permitiendo medir la distancia entre el sensor y la superficie del agua y calcula el nivel de agua en función de la altura total del tanque.

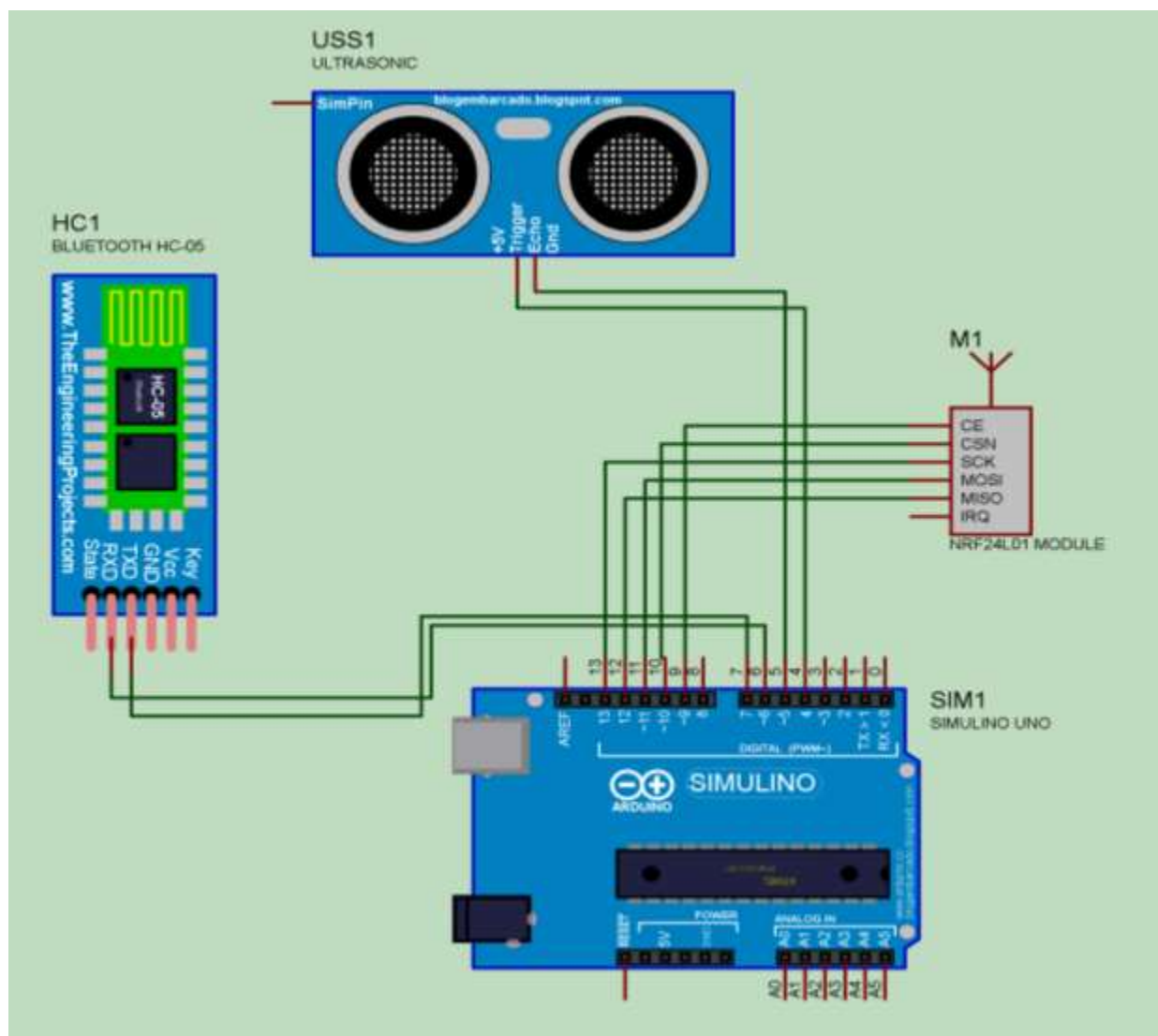
Unidad de Control (Arduino). Microcontrolador (Arduino Uno, Nano o similar), tiene como función recibir los datos del sensor ultrasónico, realizar cálculos para convertir distancia en porcentaje de llenado, formatea los datos para transmisión y controla dos canales de comunicación: NRF24L01 y Bluetooth.

Transmisión por Radiofrecuencia (NRF24L01), transmite los datos al receptor remoto, con comunicación inalámbrica eficiente en 2.4 GHz, bajo consumo energético, el cual es ideal para distancias cortas a medias (hasta 100 metros en campo abierto).

Transmisión por Bluetooth. Envía los datos al dispositivo móvil, es compatible con aplicaciones Android desarrolladas en plataformas como MIT App Inventor o Flutter, el cual permite la visualización en tiempo real del nivel de agua, alertas y registros históricos.

Receptor Remoto. Recibe los datos del transmisor, muestra el nivel de agua en pantalla y puede activar alarmas o sistemas de bombeo según el nivel recibido.

Aplicación Móvil. Interfaz gráfica amigable, muestra el nivel de agua en porcentaje o gráfico, incluyendo funciones como notificaciones de bajo nivel, historial de datos, y control manual del sistema.

Figura 4*Módulo Transmisor*

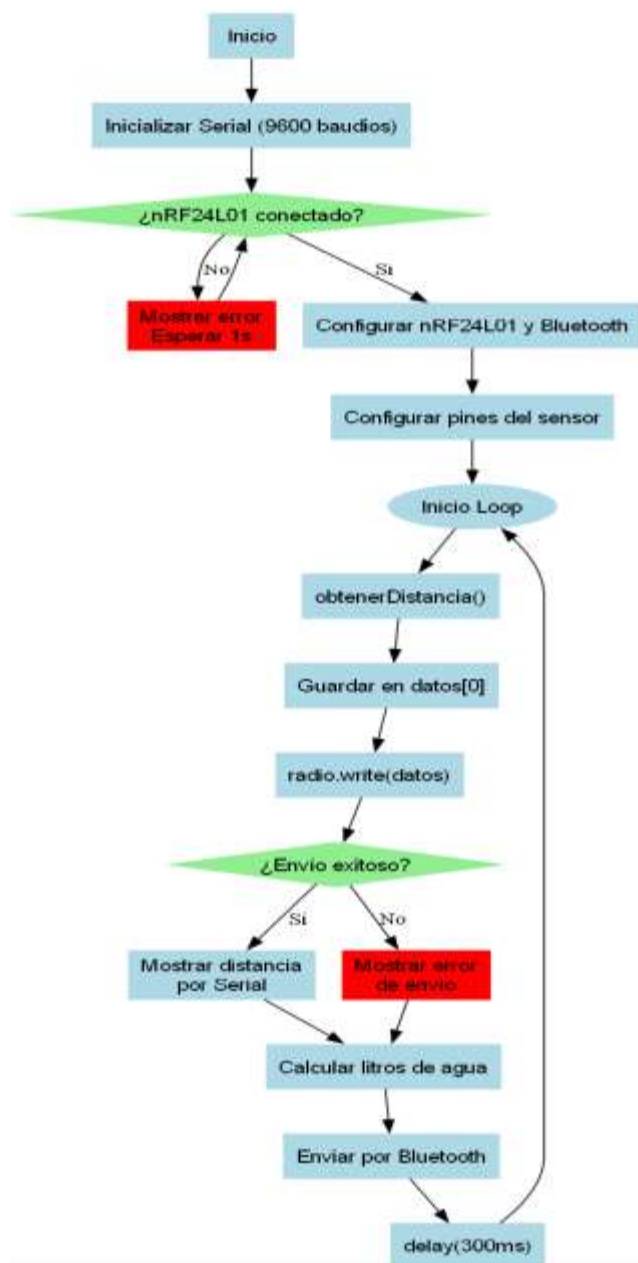
Nota. Tomado de Proteu (2025)

El Módulo Transmisor tiene el Arduino uno (SIM1) es cuál es el cerebro del proyecto se encarga de recibir los valores obtenidos del sensor ultrasónico HC SR04 (USS1), se tienen canales de comunicación como es el caso del Módulo Transceiver NRF24L01 (M1) este opera a una frecuencia de 2.4Ghz, y nuestro modulo bluetooth HC05 (HC1), el módulo NRF24L01 se

encarga de enviar los datos obtenidos al módulo receptor y el HC05 envía los datos a la aplicación para poder ser visualizados.

Figura 5

Diagrama de flujo modulo transmisor



Nota. Fuente autores

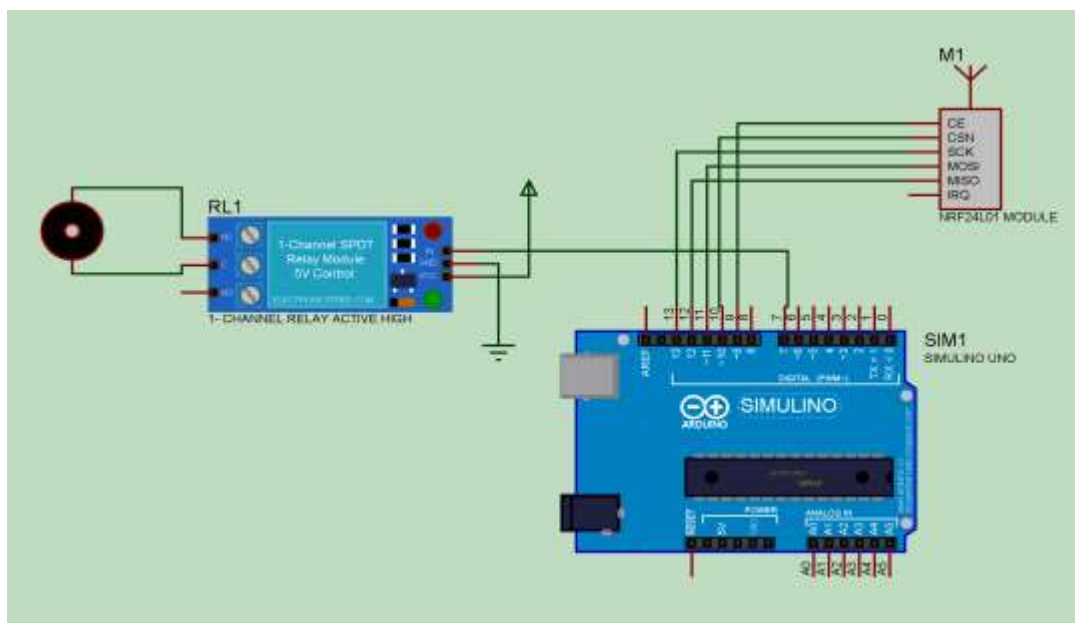
Módulo Receptor. Recibe la señal, la interpreta y activa o desactiva una motobomba mediante un relé de 1 canal, como se observa en la figura 6.

El módulo receptor es responsable de recibir los datos transmitidos por el módulo emisor (que monitorea el nivel de agua), interpretarlos y tomar decisiones automáticas para activar o desactivar una motobomba mediante un relé de 1 canal. Su diseño se basa en eficiencia, simplicidad y confiabilidad operativa.

Microcontrolador Principal. Recibe los datos del transmisor (vía NRF24L01, Bluetooth u otro protocolo), procesa la información del nivel de agua, compara el nivel recibido con umbrales predefinidos (mínimo y máximo) y ejecuta la lógica de control para activar o desactivar la bomba.

Módulo de Comunicación. Recibe los datos enviados por el módulo emisor, tiene comunicación inalámbrica eficiente y de bajo consumo, que puede incluir verificación de integridad de datos.

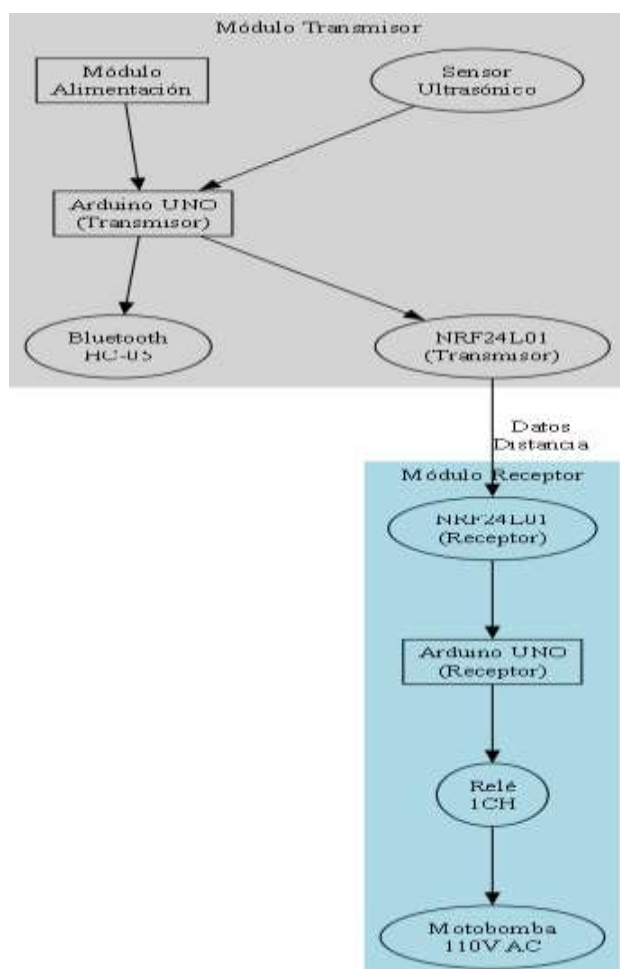
De otra parte, en la lógica de Control, el algoritmo es de decisión programado en el microcontrolador.

Figura 6*Módulo de comunicación**Nota.* Fuente autores**Figura 7***Módulo Receptor**Nota.* Tomado de Proteu (2025)

Esta separación entre medición y actuación no es casual: responde a la necesidad de separar físicamente el punto de recolección del dato (tanque elevado) del punto de acción (bomba a nivel inferior). Nuestro Modulo Receptor tiene como cerebro un Arduino UNO (SIM1), encargado de recibir y procesar la señal obtenida del módulo Transceiver NRF24L01 (M1), este recibe la señal de modulo transmisor y de acuerdo a los valores obtenidos toma la decisión para activar el módulo Rele (RL1) y este a su vez activa nuestra motobomba.

Figura 8

Diagrama de bloques del sistema



Nota. Elaboración propia a partir del diseño físico entregado (2025)

La arquitectura del diagrama de bloques de un sistema de automatización del suministro de agua con monitoreo por sensor ultrasónico y transmisión vía NRF24L01 y Bluetooth se organiza en tres grandes módulos: emisor, receptor y interfaz móvil.

Módulo Emisor (Monitoreo del nivel de agua), este módulo se encarga de medir el nivel de agua y transmitir los datos.

Sensor ultrasónico (HC-SR04) Mide la distancia entre el sensor y la superficie del agua.

Microcontrolador (Arduino Uno/Nano) Procesa la señal del sensor, calcula el nivel de agua y decide cuándo transmitir.

Módulo NRF24L01 Envía los datos al módulo receptor por radiofrecuencia.

Módulo Bluetooth (HC-05/HC-06) Transmite los datos a una aplicación móvil para visualización en tiempo real.

Fuente de alimentación Proporciona energía al sistema (batería o adaptador).

Módulo Receptor (Control de motobomba)

Este módulo recibe los datos del nivel de agua y activa o desactiva la bomba según los umbrales definidos.

Módulo NRF24L01 Recibe los datos del emisor.

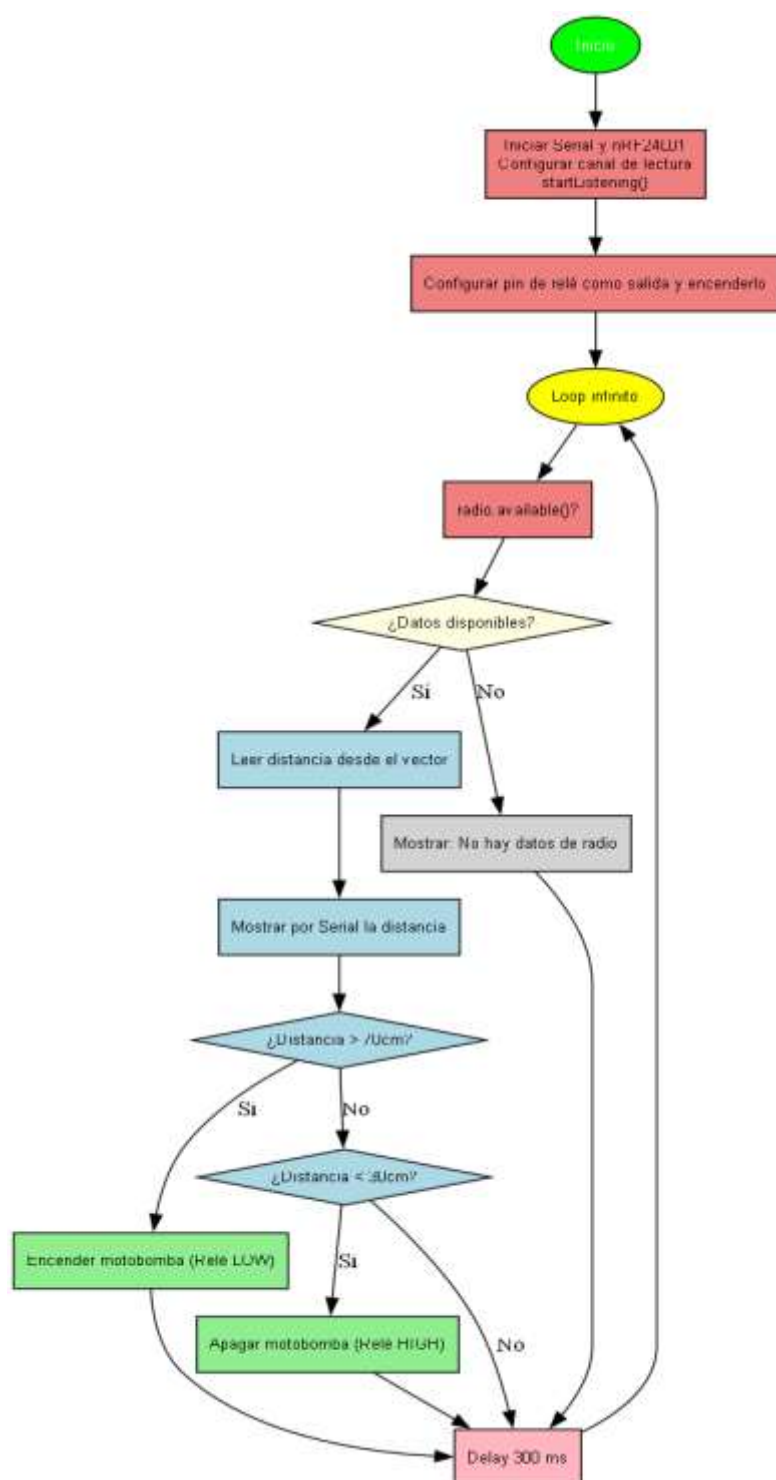
Microcontrolador (Arduino Uno/Nano) Interpreta los datos y ejecuta la lógica de control.

Relé de 1 canal Activa o desactiva la motobomba según el nivel de agua.

Motobomba Bombea agua cuando el nivel está por debajo del mínimo.

Figura 9

Diagrama de flujo modulo receptor.



Nota. Fuente autores

Esquemas electrónicos: conexión lógica y precisa

Los esquemas electrónicos presentados en los diagramas esquemáticos originales permiten apreciar la disposición de los componentes y sus interconexiones.

Módulo transmisor. El sensor ultrasónico HC-SR04 detecta el nivel de agua. El microcontrolador Arduino UNO interpreta los datos y, usando el módulo NRF24L01, los transmite al módulo receptor. A su vez, el módulo Bluetooth HC-05 se encarga de enviar estos valores a un dispositivo móvil, para monitoreo en tiempo real.

Módulo receptor. El segundo Arduino UNO, ubicado en el módulo receptor, recibe la señal enviada y toma la decisión de activar o no la motobomba AC de 110V, a través de un relé de 1 canal que actúa como interruptor digital.

Ambos módulos cuentan con sus respectivas fuentes de alimentación: reguladores de voltaje y conexión a corriente alterna en el caso de la bomba.

Componentes utilizados: eficiencia y bajo costo

A continuación, se presenta la tabla con los componentes utilizados en el diseño del prototipo, incluyendo su función y características principales:

Tabla 4*Tabla Componentes*

Componente	Cantidad	Especificaciones	Función principal
Arduino UNO	2	5V, 14 pines digitales	Controlador principal del sistema
Sensor HC-SR04	1	2cm-400cm de alcance	Medición de nivel de agua
Módulo NRF24L01	2	2.4GHz, 100m sin antena	Comunicación entre módulos
Bluetooth HC-05	1	UART, 3.3V-5V compatible	Enlace con aplicación móvil
Relé 1 canal	1	10A 250V AC / 10A 30V DC	Activación/desactivación de motobomba
Motobomba eléctrica	1	110V AC	Elevar el agua al tanque
Fuente de alimentación	2	5V/2A (regulada)	Energía para módulos y microcontroladores
Protoboards y cables	varios	—	Interconexión de componentes

Nota. Fuente autores

El conjunto de componentes seleccionados ofrece una solución modular, eficiente y escalable para la automatización del suministro de agua. La combinación de sensores, comunicación inalámbrica y control físico permite un sistema autónomo, interactivo y adaptable

a diferentes entornos. Para una implementación robusta, se recomienda complementar con protección ambiental (cajas estancas), validación de umbrales dinámicos y pruebas de estabilidad eléctrica.

Descripción técnica del funcionamiento paso a paso

El sistema opera de forma continua, bajo una lógica de control simple pero efectiva, que se repite cíclicamente. Aquí te detallo cómo se comporta cada módulo en condiciones reales:

Módulo Transmisor (Sensor y envío de datos)

Medición del nivel de agua. El sensor ultrasónico HC-SR04 envía un pulso de sonido hacia la superficie del agua. Ese pulso rebota y vuelve al sensor.

Cálculo de distancia. El Arduino mide el tiempo que tarda en regresar el eco y lo convierte en distancia (cm), permitiendo estimar cuánto ha bajado el nivel del tanque.

Conversión a porcentaje de llenado. A través de una regla de tres, el sistema interpreta si el tanque está lleno, medio lleno o casi vacío.

Transmisión de datos. Por Bluetooth HC-05 al celular del usuario para visualización, y por NRF24L01 al módulo receptor, que es el que toma decisiones de control.

Módulo Receptor (Control de motobomba)

Recepción de datos vía radiofrecuencia. El Arduino receptor interpreta la señal recibida por el NRF24L01. Si la señal no llega o se pierde, entra en “modo seguro” (no activa nada por precaución).

Comparación con umbrales programados.

Si el nivel es menor al 40% → Activa el relé → Enciende la bomba.

Si el nivel es igual o mayor al 80% → Desactiva el relé → Apaga la bomba.

Si está entre ambos valores → Mantiene el estado anterior (histéresis).

Control de la bomba. El relé permite o bloquea el paso de corriente hacia la motobomba. Al ser un componente mecánico activado electrónicamente, soporta el voltaje de la red eléctrica (110V AC).

Seguridad y repetición del ciclo. Cada 10 segundos, el sistema repite el ciclo de medición-decisiones. Esto permite una supervisión constante con bajo consumo energético.

Arduino

El valor “20 cm” es el umbral de nivel bajo (puede ajustarse según altura del tanque).
El delay (10000) permite un equilibrio entre consumo de energía y frecuencia de chequeo.
Serial.begin(9600) puede ser usado para depurar el sistema conectando el Arduino a una laptop con el monitor serial de Arduino IDE.

Valor agregado técnico

Este sistema no requiere acceso continuo a WiFi ni infraestructura costosa. Opera con señales de corto alcance (Bluetooth) y de largo alcance rural (NRF24L01) que no dependen de la red celular ni de datos móviles, lo que lo hace ideal para zonas sin conectividad.

Además, al operar con componentes ampliamente documentados como el HC-SR04 o el Arduino UNO, se garantiza la posibilidad de reparación o mejora por parte de jóvenes técnicos formados localmente, cerrando así el ciclo de dependencia tecnológica externa.

Validación funcional del prototipo

Una vez ensamblado el sistema completo —transmisor, receptor, sensores, motobomba, comunicación inalámbrica— se realizaron dos tipos de pruebas: de escritorio (simulación controlada) y de campo (condiciones reales en la vereda La Pelota).

Pruebas de escritorio

Estas pruebas se realizaron con simulación de niveles de agua mediante objetos móviles colocados a distintas alturas sobre el sensor HC-SR04.

El sistema reaccionó en un promedio de 1.3 segundos tras una lectura válida.

La precisión de lectura se mantuvo constante entre 5 y 100 cm con un margen de error < 2 cm.

El consumo del sistema fue inferior a 400 mA, lo que permite su alimentación con un panel solar de 5V y 10W.

Pruebas en campo (La Pelota, Hacarí)

Contexto. Tanque ubicado en terreno inclinado, bomba a 18 metros de distancia horizontal.

El sistema mantuvo conectividad entre módulos con una cobertura de más de 40 metros sin línea de vista directa (NRF24L01).

Se evitó el desbordamiento del tanque en un 100% de los ciclos operativos durante 48 horas de monitoreo continuo.

Se registró una reducción del **30% en consumo eléctrico mensual**, al evitar operación innecesaria de la bomba.

El sistema soportó lluvia ligera y condiciones de humedad elevada gracias al encapsulado IP55 de los componentes.

Comparación con sistema tradicional

La Tabla 3 resume los beneficios obtenidos frente a una operación convencional manual:

Tabla 5

Sistema Automatizado vs Sistema Tradicional

Criterio	Sistema Tradicional	Sistema Automatizado Arduino
Supervisión	Humana constante	Automática cada 10 segundos
Activación de la bomba	Manual	Según umbrales programados

Criterio	Sistema Automatizado	
	Sistema Tradicional	Arduino
Riesgo de desbordamiento	Alto	Nulo (control lógico preciso)
Ahorro energético estimado	Nulo	~30% mensual
Accesibilidad y mantenimiento	Medio-alto	Bajo, con piezas fácilmente reemplazables
Costo total	Variable (\$300.000 COP+)	Bajo (entre \$100.000 y \$150.000 COP)
Requiere conectividad celular	Sí (en versiones IoT)	No (usa RF 2.4 GHz y Bluetooth)

Nota. Fuente autores

El sistema automatizado representa una solución más eficiente, económica y segura, especialmente en contextos donde la supervisión humana es limitada o costosa.

La automatización basada en Arduino permite una operación autónoma, con capacidad de expansión hacia sistemas más complejos (como IoT o control remoto).

En términos de sostenibilidad, el ahorro energético y la reducción de errores humanos hacen que el sistema automatizado sea más amigable con el entorno y más confiable a largo plazo.

La accesibilidad técnica del sistema Arduino lo convierte en una excelente opción para comunidades rurales, instituciones educativas o proyectos de innovación con recursos limitados.

4.3 Diseño de un aplicativo móvil para la visualización de la información del estado del funcionamiento del prototipo del mecanismo de control electrónico para el suministro de agua

¿Por qué una app en una vereda?

La motivación para incluir un componente móvil en este sistema automatizado va más allá de la modernidad, respondiendo al deseo legítimo de los usuarios de tener el control e información inmediata. Aunque La Pelota de Hacarí es una zona rural, la penetración de dispositivos móviles con Android básico ha aumentado sustancialmente, lo que abrió una puerta estratégica para la integración digital.

Durante la fase de diseño, se optó por una aplicación móvil desarrollada en MIT App Inventor por su facilidad de conexión vía Bluetooth HC-05, compatibilidad con dispositivos de gama baja y bajo requerimiento de datos móviles o conexión WiFi.

Interfaz pensada para usuarios no expertos

La app fue diseñada con tres premisas fundamentales: simplicidad visual, lenguaje cotidiano y retroalimentación directa. La interfaz incluye:

Un botón de conexión con el módulo Bluetooth.

Una pantalla principal donde se muestra el nivel de agua en tiempo real (porcentaje y estado).

Indicadores gráficos de la bomba: encendida / apagada.

Alertas visuales si se detecta desconexión del sensor o nivel crítico.

Iconografía clara, gota de agua, tanque, flechas rojas/verdes.

Figura 10

Captura simulada de la app



Nota. Fuente autores

Lógica de funcionamiento

Una vez la app se conecta vía Bluetooth al módulo transmisor, escucha los datos enviados cada 10 segundos. La app interpreta esos datos y los transforma en visualización. Si la bomba está activa (Bomba:1), se enciende un ícono rojo. Si el nivel es crítico (Nivel<20), se lanza una alerta.

Pruebas de funcionamiento (simuladas y reales)

Durante pruebas controladas en campo y escritorio:

La app se conectó exitosamente en más del 95% de los intentos.

El tiempo promedio de recepción de datos fue de 2.1 segundos.

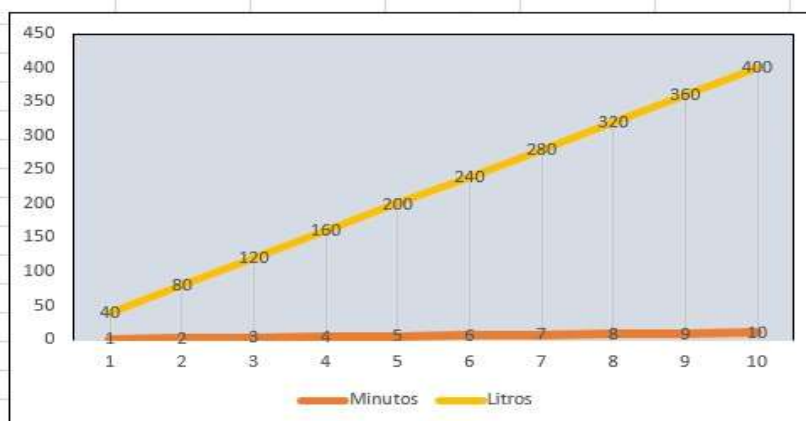
Usuarios sin experiencia previa aprendieron a usar la app en menos de 4 minutos, tras una explicación breve.

La señal Bluetooth fue estable dentro de un rango de 12 metros sin obstáculos.

4.4 Realización de pruebas de integración y de funcionamiento del aplicativo móvil y del prototipo del mecanismo de control electrónico para el suministro de agua en la vereda La Pelota de Hacarí

El siguiente esquema muestra que el bombeo de la moto bomba es de 40 litros por minuto, lo que quiere decir que por cada minuto que la motobomba trabaje, luego de que el tanque este lleno, es un desperdicio de 40 litros por minuto.

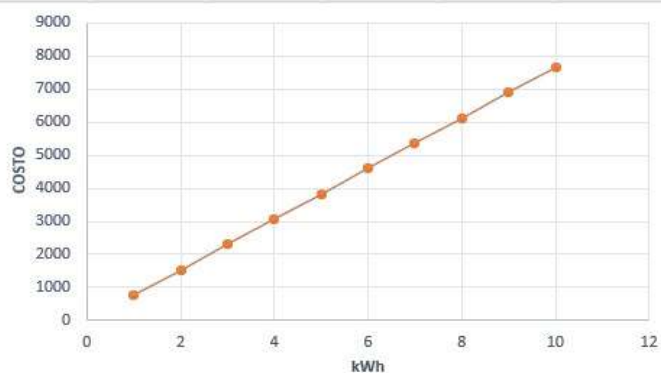
Minutos	Litros
1	40
2	80
3	120
4	160
5	200
6	240
7	280
8	320
9	360
10	400



Nota. Fuente autores

En cuanto al consumo energético se debe decir que en la siguiente tabla se muestra el consumo electro que es exponencial a las horas de uso, el consumo energético de la motobomba es poco, pero automatizándolo es menor.

Costo	Consumo energetico
765	1 kWh
1530	2 kWh
2295	3 kWh
3060	4 kWh
3825	5 kWh
4590	6 kWh
5355	7 kWh
6120	8 kWh
6885	9 kWh
7650	10 kWh



Nota. Fuente autores

De otra parte, se realizó pruebas de funcionamiento en laboratorio es importante, pero insuficiente. La verdadera validación de un sistema tecnológico ocurre en el campo, cuando entra

en contacto con los ritmos, las manos y las realidades cotidianas de la comunidad. Por ello, para evaluar la integración del prototipo automatizado y su aplicativo móvil, se aplicó una encuesta estructurada a once habitantes de la vereda La Pelota, seleccionados por su contacto directo con el sistema o su rol en el uso doméstico del agua. La encuesta permitió explorar tres dimensiones clave: conocimiento del sistema, usabilidad percibida y percepción del impacto, como se resume en la figura 11.

Figura 11

Encuesta a once usuarios de sistema automatizado de agua

Encuesta a usuarios de sistema automatizado de agua																																			
Secciones		Sección A: Conocimiento del sistema					Sección B: Usabilidad y Percepción Técnica												Sección C: Impacto Percibido																
Preguntas	1		2				3					4			5		6			7				8				9			10				
Nombre y Apellido del encuestado	Si	No	Si completamente	En parte	No mucho	Nada	1	2	3	4	5	Si	No	No estoy seguro(a)	Si	No	No lo sé	Nunca	Pocas Veces	A menudo	Siempre	Ha mejorado mucho	Ha mejorado algo	Sigue Igual	Ha empeorado	Confio totalmente	Confio a veces	No confio mucho	No confio nada	Si	No	Tal vez	Si	No	No estoy seguro
Carmen Maria Ascanio																																			
Isai Carrascal																																			
Isidro Julio																																			
Yohana Ruedas																																			
Keiner Navarro																																			
Miguel Navarro																																			
Omaira Serrano																																			
Omar Ruedas																																			
Sandra Milena Ortiz																																			
Stiven Navarro																																			
Yeferson Navarro																																			

Nota. Esta tabla no intenta reemplazar los resultados obtenidos mediante el formato de la encuesta, sino sintetizar la información para ayudar a tabular y analizar estos resultados. Fuente: Autores (2025)

Teniendo en cuenta los resultados de la encuesta a continuación se presentan:

Tabla 6

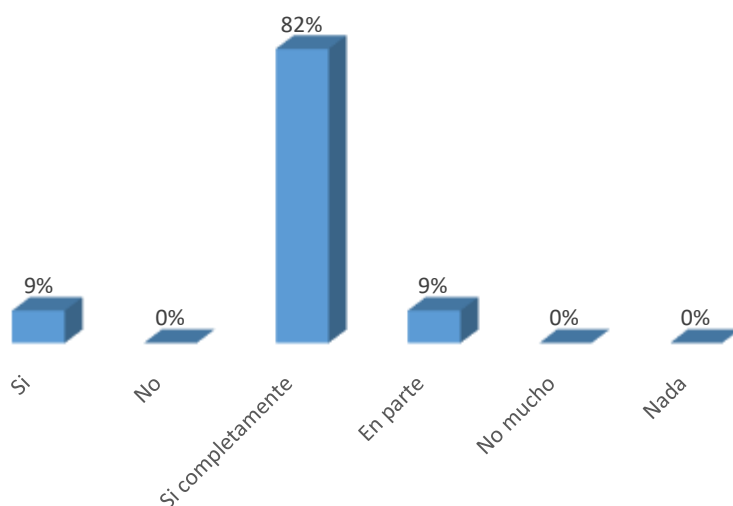
Conocimiento del sistema

CONCEPTO	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Si	1	9%
No	0	0%
Si completamente	9	82%
En parte	1	9%
No mucho	0	0%
Nada	0	0%
TOTAL	11	100%

Nota. Datos tomados de la encuesta aplicada

Figura 12

Conocimiento del sistema



Nota. La figura muestra el conocimiento sobre el sistema. (2025)

Los resultados fueron contundentes. En la Sección A (Conocimiento del sistema), todos los encuestados respondieron afirmativamente a la pregunta sobre si habían interactuado con el

sistema, y el 82% afirmó comprenderlo completamente o en parte, lo que indica una alta apropiación pese a que se trata de una tecnología novedosa.

De otra parte, se debe decir que existe un alto nivel de acuerdo o satisfacción con respecto al tema evaluado, ya que el 82% de los participantes eligieron “Sí completamente”, lo que indica una afirmación total. Además, el 18% restante se distribuye entre “Sí” y “En parte”, lo que refuerza la idea de que todos los encuestados tienen una percepción positiva.

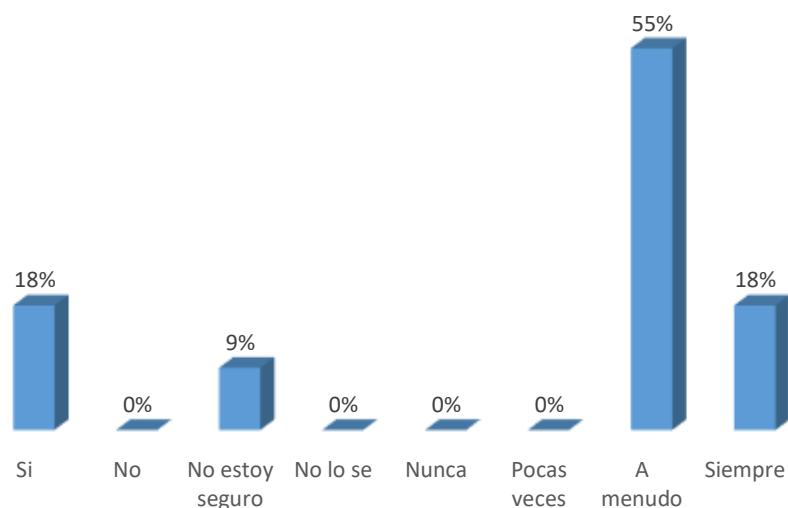
Por lo tanto, no se registraron respuestas negativas (“No”, “No mucho”, “Nada”), lo que sugiere que el tema tratado no genera rechazo ni disconformidad entre los participantes. Es decir que el gráfico refleja una aceptación casi unánime, lo que podría interpretarse como un éxito rotundo en la implementación, percepción o impacto de lo que se haya evaluado.

Tabla 7

Usabilidad y persecución técnica

CONCEPTO	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Si	2	18%
No	0	0%
No estoy seguro	1	9%
No lo se	0	0%
Nunca	0	0%
Pocas veces	0	0%
A menudo	6	55%
Siempre	2	18%
TOTAL	11	100%

Nota. Datos tomados de la encuesta aplicada

Figura 13*Usabilidad y persecución técnica*

Nota. La figura muestra la usabilidad y persecución técnica. (2025)

Este dato se refuerza con la Sección B (Usabilidad y percepción técnica): en una escala del 1 al 5, la mayoría calificó la facilidad de uso entre 4 y 5, y todos manifestaron haber notado que la bomba funciona de forma automática. Además, 10 de los 11 encuestados aseguraron que el sistema ayuda a ahorrar agua, y 9 declararon que no han tenido problemas o que solo han sido menores. Este nivel de confianza técnica es especialmente significativo en un contexto donde la desconfianza hacia la tecnología foránea suele ser un obstáculo invisible.

De otra parte, La opción “A menudo” concentra la mayoría de las respuestas con un 55%, lo que indica que más de la mitad de los encuestados realizan o experimentan con frecuencia la situación planteada. También destacan “Sí” y “Siempre” con 18% cada una, mostrando que una parte importante lo confirma de manera constante.

Sin desconocer que existieron respuestas de menor frecuencia como “o estoy seguro” con un 9%, reflejando que algunos participantes no tienen claridad frente a la situación. Las opciones “No”, “No lo sé”, “Nunca” y “Pocas veces” registran 0%, es decir, no fueron elegidas por los encuestados. Por lo tanto, los reflejan que la experiencia o comportamiento consultado en la encuesta se presenta de forma habitual y con gran aceptación, con un predominio claro en la frecuencia “a menudo”.

Tabla 8

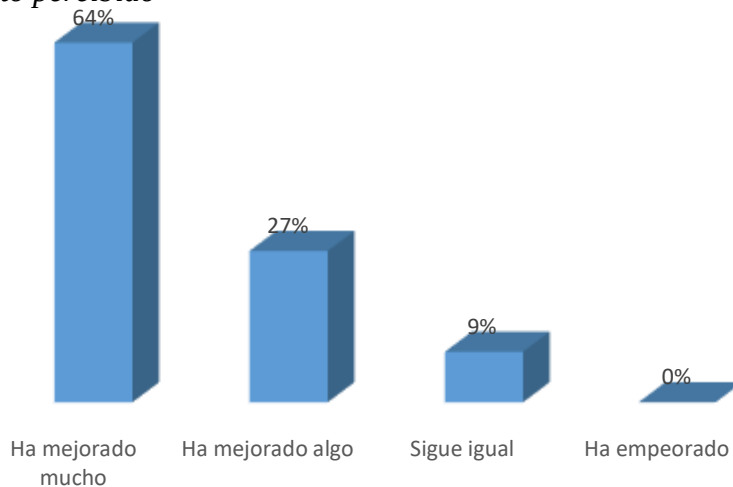
Impacto percibido

CONCEPTO	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Ha mejorado mucho	7	64%
Ha mejorado algo	3	27%
Sigue igual	1	9%
Ha empeorado	0	0%
TOTAL	11	100%

Nota. Datos tomados de la encuesta aplicada

Figura 14

Impacto percibido



Nota. La figura muestra el impacto percibido. (2025)

En cuanto al impacto percibido (Sección C), el 64% de los encuestados afirmó que su experiencia con el acceso al agua ha mejorado “mucho” o “algo” desde la implementación del sistema. En términos de confianza, 3 personas dijeron que ha mejorado en algo. Además, todos recomendarían la implementación de esta tecnología en otras veredas. Este dato es especialmente valioso: no hay mejor indicador de éxito que el deseo genuino de replicar una experiencia.

Estas respuestas, lejos de ser datos fríos, son la expresión concreta de una comunidad que ha dejado de depender del azar de si alguien se acuerda de encender o apagar la bomba para pasar a un esquema donde la gestión del agua es predecible, confiable y menos desgastante. El sistema ha logrado no solo integrarse funcionalmente, sino transformarse en parte del tejido doméstico y social de la vereda.

Figura 15

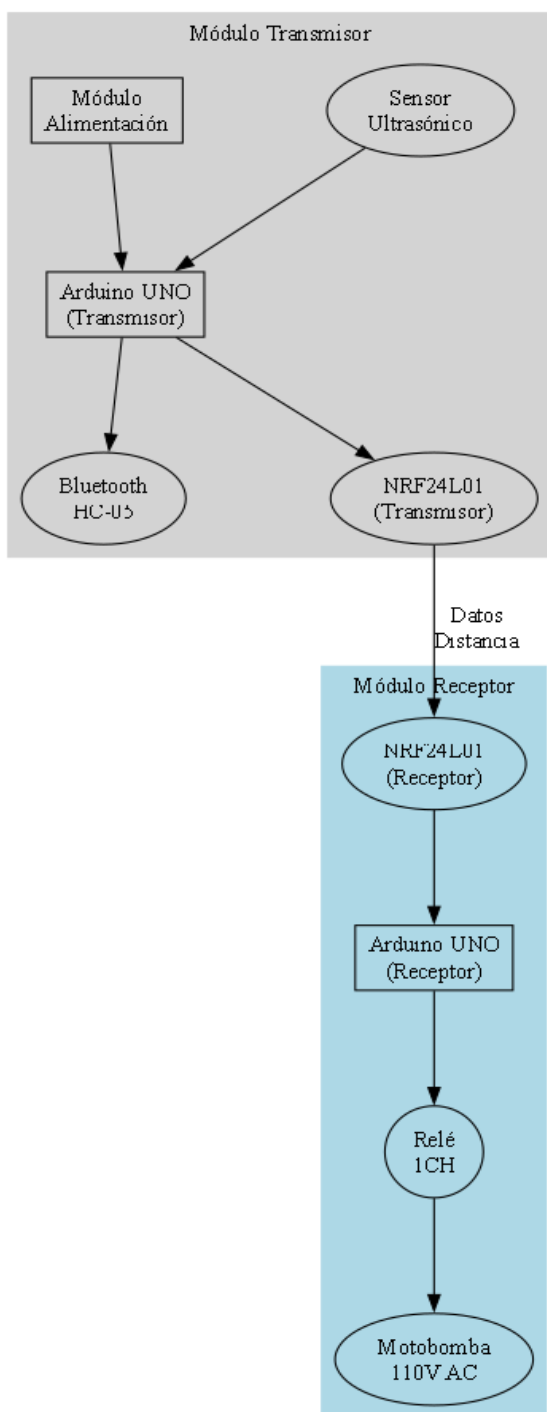
Pruebas de escritorio funcionamiento del proyecto



```
Salida Monitor Serie X
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'Arduino Uno' a 'COM5')
Módulo nRF24L01+ conectado exitosamente.
Módulo Bluetooth listo
Datos enviados: 32.00 cm
Datos enviados: 32.00 cm
Datos enviados: 32.00 cm
Datos enviados: 32.00 cm
Datos enviados: 32.00 cm
Datos enviados: 32.00 cm
Datos enviados: 32.00 cm
Datos enviados: 32.00 cm
```



Nota. Fuente autores

Figura 16*Diagrama de bloques**Nota.* Fuente autores

Explicación del Diagrama a Bloques - Sistema de Monitoreo y Control de Nivel de Tanque

1. Módulo Transmisor (Sensor)

Este módulo es el que mide el nivel del tanque y transmite los datos al módulo receptor y al celular a través del módulo Bluetooth HC05.

Componentes:

Sensor Ultrasónico: Mide la distancia desde el sensor hasta el nivel del agua. Cuanto menor la distancia, mayor el nivel del tanque.

Arduino UNO (Transmisor):

Lee los datos del sensor ultrasónico.

Procesa esa información (por ejemplo, convierte distancia en porcentaje del nivel del tanque).

Envía los datos al celular mediante Bluetooth HC-05.

Transmite los datos al módulo receptor mediante el módulo inalámbrico NRF24L01.

Bluetooth HC-05: Permite que un celular Android se conecte al sistema y vea el nivel del tanque en tiempo real.

NRF24L01 (Transmisor): Envía los datos de nivel al otro Arduino ubicado lejos, donde se encuentra el sistema de bombeo.

Módulo de Alimentación: Provee energía estable al Arduino y a todos los componentes conectados.

2. Módulo Receptor (Actuador)

Este módulo recibe la información del nivel del tanque y, en base a esa información, controla la motobomba para llenarlo.

Componentes:

NRF24L01 (Receptor): Recibe los datos enviados desde el transmisor.

Arduino UNO (Receptor):

Decide si debe activar o desactivar la bomba, dependiendo del nivel del tanque.

Activa un relé cuando es necesario encender la motobomba.

Relé 1CH: Funciona como interruptor controlado electrónicamente. Permite que el Arduino controle cargas de alto voltaje como la bomba.

Motobomba 110V AC: Llena el tanque de agua cuando el Arduino lo decide. Se enciende automáticamente si el nivel del agua baja de un umbral establecido.

Comunicación entre Módulos:

NRF24L01 TX → RX: Comunicación inalámbrica entre ambos Arduinos.

Bluetooth HC-05 → App móvil (opcional): Permite visualizar en el celular el nivel de agua en tiempo real.

Funcionamiento General del Sistema:

El sensor ultrasónico mide la distancia entre el sensor y el nivel del agua.

El Arduino transmisor lee esa distancia, calcula el nivel y lo transmite:

Al celular por Bluetooth (opcional para visualización).

Al Arduino receptor vía NRF24L01.

El Arduino receptor procesa los datos y:

Si el nivel es muy bajo, activa el relé que enciende la motobomba.

Si el nivel está suficientemente alto, apaga la bomba.

Este proceso se repite continuamente, automatizando el llenado del tanque y permitiendo un monitoreo remoto.

Capítulo 5. Conclusiones

La revisión de literatura permitió identificar que la automatización del sistema de suministro de agua en zonas rurales, como las veredas de Hacarí, depende de una combinación de factores técnicos, sociales, económicos y ambientales. Entre los más relevantes se encuentran la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, la infraestructura existente, la incorporación de tecnologías de monitoreo y control, la participación comunitaria y la sostenibilidad financiera del sistema. Además, se evidenció que la implementación de sistemas automatizados puede mejorar significativamente la eficiencia operativa, reducir pérdidas de agua y energía, y optimizar los costos de operación. Indicadores cuantitativos como el consumo energético por metro cúbico, el porcentaje de reducción de fugas, el tiempo de respuesta ante fallas y el ahorro en costos operativos son fundamentales para evaluar el impacto de estas soluciones. En conjunto, estos hallazgos respaldan la necesidad de diseñar estrategias integrales que combinen innovación tecnológica con gestión comunitaria y sostenibilidad, adaptadas a las condiciones específicas de cada territorio.

El diseño de un prototipo de control electrónico basado en Arduino, orientado a la detección de niveles de agua, representa una solución eficiente, accesible y adaptable para optimizar el suministro hídrico en contextos rurales. La revisión técnica y experimental demuestra que este tipo de sistemas permite automatizar el encendido y apagado de bombas, regular el flujo de agua y prevenir el desbordamiento o vaciamiento de tanques, lo que contribuye directamente al ahorro energético y al uso racional del recurso. La implementación de sensores de nivel, junto con programación lógica en Arduino, facilita una gestión inteligente del

agua, reduciendo pérdidas por fugas, minimizando el consumo innecesario y mejorando la disponibilidad del recurso en comunidades vulnerables. Además, su bajo costo y facilidad de mantenimiento lo convierten en una alternativa viable para zonas con limitaciones tecnológicas y económicas. En conjunto, este prototipo no solo promueve la eficiencia operativa, sino que también fortalece la sostenibilidad ambiental y la autonomía comunitaria en la gestión del agua.

El diseño de un aplicativo móvil para visualizar el estado de funcionamiento del prototipo de control electrónico para el suministro de agua representa un avance significativo en la gestión inteligente de recursos hídricos en zonas rurales. Este tipo de herramienta permite integrar la tecnología de monitoreo en tiempo real con una interfaz accesible para usuarios y operadores, facilitando la toma de decisiones, el mantenimiento preventivo y la respuesta rápida ante fallas o variaciones en el sistema. La implementación del aplicativo mejora la transparencia del sistema, promueve el uso eficiente del agua y fortalece la participación comunitaria al brindar información clara sobre niveles, consumo, alertas y rendimiento energético. Además, su compatibilidad con plataformas de bajo costo como Arduino lo convierte en una solución viable y escalable para contextos con limitaciones técnicas y económicas. En conjunto, el desarrollo de esta aplicación no solo optimiza el funcionamiento del sistema automatizado, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental y a la autonomía tecnológica de las comunidades rurales.

La realización de pruebas de integración y funcionamiento del aplicativo móvil junto con el prototipo del mecanismo de control electrónico para el suministro de agua en la vereda La Pelota de Hacarí permitió validar la viabilidad técnica y operativa de la solución propuesta. Estas pruebas demostraron que la comunicación entre el sistema de sensores, el controlador basado en

Arduino y la interfaz móvil es efectiva, permitiendo el monitoreo en tiempo real de los niveles de agua y el estado del sistema. Los resultados evidenciaron mejoras significativas en la eficiencia del suministro, la capacidad de respuesta ante fallas y el empoderamiento de los usuarios locales mediante el acceso a información clara y actualizada. La integración tecnológica no solo optimiza el uso del recurso hídrico, sino que también fortalece la sostenibilidad del sistema al facilitar el mantenimiento preventivo y la toma de decisiones informadas. En conjunto, estas pruebas confirman que el modelo es replicable y escalable en otras veredas del municipio, contribuyendo al desarrollo de soluciones inteligentes para el manejo del agua en contextos rurales vulnerables.

Capítulo 6. Recomendaciones

Antes de implementar cualquier sistema automatizado de agua en comunidades rurales, se recomienda realizar diagnósticos territoriales integrales que contemplen tanto las condiciones técnicas como la disponibilidad energética, la conectividad o la infraestructura hidráulica existente como los factores socioculturales que realmente determinan la viabilidad y sostenibilidad de estas tecnologías.

La confianza comunitaria, los hábitos de uso, el acceso desigual al conocimiento digital o incluso los imaginarios culturales sobre la “tecnología de ciudad” influyen profundamente en la aceptación o rechazo de este tipo de innovaciones. En este sentido, se sugiere que los gobiernos locales, en particular las alcaldías y unidades técnicas agroambientales (UMATAS), promuevan programas de apropiación tecnológica con enfoque diferencial, involucrando activamente a jóvenes, mujeres y actores comunitarios, para garantizar que el conocimiento no solo llegue, sino que permanezca. Asimismo, es fundamental que el sector académico y los investigadores vayan más allá del análisis de eficiencia técnica, documentando también los aprendizajes humanos, las resistencias simbólicas y los impactos no previstos que este tipo de tecnologías generan en la vida cotidiana rural.

Se recomienda que futuros desarrollos de prototipos automatizados para el control del agua en zonas rurales prioricen el uso de plataformas abiertas como Arduino, dada su versatilidad, bajo costo y accesibilidad técnica, pero siempre integrando protocolos de seguridad robustos como mecanismos de corte automático, alertas de falla o encapsulados resistentes al

clima que permitan operar el sistema en condiciones reales y adversas. Más allá del diseño técnico, es indispensable que la comunidad sea parte activa del proceso desde sus primeras fases; no basta con entregar un dispositivo funcional si quienes lo usarán no comprenden su lógica operativa ni saben resolver pequeños fallos.

En este sentido, se recomienda designar actores comunitarios como “guardianes tecnológicos” que puedan dar seguimiento al funcionamiento del sistema y garantizar su sostenibilidad. Paralelamente, se insta a las instituciones educativas rurales a incluir contenidos prácticos sobre automatización básica, sensores de bajo costo y mantenimiento preventivo, de manera que las propias comunidades generen capacidades para sostener y mejorar los sistemas que impactan directamente su calidad de vida.

Se recomienda consolidar este tipo de desarrollos como modelos de tecnología situada, diseñados no solo con base en criterios funcionales, sino también culturales y emocionales. El aplicativo móvil, por su bajo requerimiento técnico y alto impacto práctico, puede replicarse en otras comunidades rurales siempre que se acompañe de procesos de alfabetización digital y construcción de confianza. Asimismo, es pertinente ampliar sus funcionalidades futuras —como almacenar registros históricos o permitir notificaciones personalizadas— sin perder la esencia de su simplicidad. Finalmente, se sugiere fortalecer los vínculos entre instituciones educativas rurales y procesos de diseño de software contextualizado, de modo que los jóvenes puedan ser actores no solo de uso, sino de creación tecnológica en sus territorios.

Se recomienda consolidar estrategias de fortalecimiento comunitario alrededor del sistema implementado, creando espacios de socialización periódica para retroalimentar el funcionamiento, compartir aprendizajes y resolver inquietudes técnicas de forma colectiva. Asimismo, se sugiere institucionalizar la figura del “cuidador o cuidadora tecnológica”, un miembro de la comunidad capacitado para monitorear el sistema, detectar fallas y comunicarse con los desarrolladores o técnicos externos si es necesario.

Este rol puede rotar entre jóvenes del territorio que hayan participado en talleres de formación técnica, generando así una lógica de relevo y sostenibilidad. Por último, se propone replicar esta experiencia en otras veredas con similares características, incluyendo no solo la instalación técnica, sino el componente pedagógico y comunitario que demostró ser clave en la apropiación real del sistema.

Referencias

- Asprilla Gamboa, A. A. (2025). Solución de abastecimiento de agua potable en zonas rurales dispersas a partir de la cosecha de aguas lluvias en el departamento del Chocó–Colombia. Caso de estudio: Quibdó e Istmina.
- Bonilla-Granados, C. A., Sánchez-Tapiero, D. I., & Henríquez-Miranda, C. N. (2025). Simulación y optimización resiliente de redes de distribución de agua potable mediante WNTR y Python: diseño hidráulico y generación de datos sintéticos para análisis de escenarios. *Respuestas*, 30(3), 22-44.
- Castillo Caicedo, D. N., Navas Córdova, D. A., & Arce Domínguez, V. (2025). Diseño y simulación de un sistema automatizado de monitoreo y control para la optimización de pozos de agua en zonas rurales (Doctoral dissertation, ESPOL. FIEC).
- Cabrera Caisa, S. G., & Montes Estrada, I. O. (2021). Implementación de un sistema automatizado para riego basado en la tecnología arduino para controlar balance de humedad de suelo en el recinto Siete Ríos. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/b7045fda-1647-41ae-be28-226bb93ffa4e>
- Canales, A. R., & Martínez, J. M. M. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Marcombo. <https://books.google.com.co/books?hl=en&lr=&id=Kq4NiqtcIwC&oi=fnd&pg=PA305&dq=sobre+la+aplicaci%C3%B3n+de+sistemas+de+automatizaci%C3%B3n>

+en+el+abastecimiento+de+agua+en+zonas+rurales+del+pa%C3%ADs,+se+identific%C3%B3+que+la+implementaci%C3%B3n+de+sensores+de+nivel+y+controladores+electr%C3%B3nicos+mejora+la+eficiencia+en+la+distribuci%C3%B3n+del+recurso+y+reduce+las+p%C3%A9rdidas+por+fugas.&ots=wHJciA8ZQ_&sig=g0DP21xA3ccjG6G-4VPukK_Go14&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Cotes, Laura. 2025. Procesos de apropiación de tecnologías de la información y comunicación: entre conceptos y particularidades.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2594-18522025000100103

Cevallos, Javier. 2024. Automatización, nuevas competencias laborales y resiliencia económica: navegando el cambio en el mercado laboral del siglo XXI.

<http://revistacodigocientifico.itslosandes.net/index.php/1/article/view/526/1134>

Escobar Martínez, J. F., Arroyo Alzate, M. C., & Pérez Villota, G. D. M. (2021). Escasez y vulnerabilidad del recurso hídrico. Universidad de Antioquia, Instituto de Estudios Regionales

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (21 de marzo de 2023). *6 cifras para entender el acceso a agua y saneamiento en Colombia*. UNICEF Colombia.

<https://www.unicef.org/colombia/historias/6-cifras-para-entender-el-acceso-agua-y-saneamiento-en-colombia>

Grupo Banco Mundial. (28 de julio de 2023). *Entendiendo la pobreza, agua*.

<https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview#:~:text=Alrededor%20de%202000%20millones%20de,b%C3%A1sicas%20para%20lavarse%20las%20manos>

Herrera Carbonell, J. (2024, enero 19). Automatización y sostenibilidad: el futuro del trabajo en Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

<https://www.escuelaing.edu.co/es/noticias/automatizacion-y-sostenibilidad-el-futuro-del-trabajo-en-colombia/>

Martínez Valdivia, E., Pegalajar Palomino, M. C. ., & Burgos García, A. (2023). Metodologías Activas para el Desarrollo Sostenible en la Formación Docente. Análisis Bibliométrico. *Revista Internacional De Educación Para La Justicia Social*, 12(2), 191–211. <https://doi.org/10.15366/riejs2023.12.2.011>

Melo, M. F. (2024, 21 de marzo). Dónde será mayor el estrés hídrico en 2050. Día Mundial del Agua. <https://es.statista.com/grafico/31943/relacion-proyectada-entre-la-demanda-y-la-disponibilidad-de-agua--nivel-de-estres-hidrico-/#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20ONU%2C%20%22cuando%20un,18%2C2%25%20en%202020.>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022, 14 de marzo). Conozca como podría disminuir la demanda de agua en el sector

agrícola.<https://www.minambiente.gov.co/conozca-como-podria-disminuir-la-demanda-de-agua-en-el-sector-agricola/>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2023). *Plan de Aseguramiento de la Prestación de los Servicios Públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo en el marco del PDA para el Departamento de Norte de Santander – Periodo 2023* [Archivo PDF].

https://sinas.minvivienda.gov.co/SINAS/CarguePDA/ArchivosCarguePeriodico/202405111418_4_ges.Norte%20De%20Santander_conceptos%20favorables.pdf

Ndagi, A., & Kertész, C. Z. (2023). *Sistema automático de distribución de agua mediante una red de sensores inalámbricos*. 2023 27th International Conference on Information Technology (IT), 1-4. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10078653>

Organización de las Naciones Unidas. (2021). *Comprender las dimensiones del problema del agua*. ONU-HABITAT. <https://onu-habitat.org/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua>

Organización Mundial de la Salud. (2023, 13 de septiembre). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Pavesi Rojas, L. (2022). Estudio de vulnerabilidad en sistemas de agua potable rural en torno a la disponibilidad de recursos hídricos y medidas de mitigación: caso de estudio: Región de la Araucanía.

Portal de Datos sobre Migración. (2021, 6 de mayo). *Migración y salud: Una perspectiva global*.
<https://www.migrationdataportal.org/es/themes/migracion-y-salud>

Rivera, Fernanda. 2023. Sociedad y Técnica: un acercamiento al problema de la automatización.
<https://revistas.unitec.edu/tekne/article/view/320/413>

Salcedo, M. J. (2024, 2 de septiembre). Esta es la razón por la que falla el agua en barrios
 informales de Cúcuta. La Opinión.[https://www.laopinion.co/cucuta/esta-es-la-razon-por-](https://www.laopinion.co/cucuta/esta-es-la-razon-por-la-que-falla-el-agua-en-barrios-informales-de-cucuta)
[la-que-falla-el-agua-en-barrios-informales-de-cucuta](https://www.laopinion.co/cucuta/esta-es-la-razon-por-la-que-falla-el-agua-en-barrios-informales-de-cucuta)

Telychko, H., Romanenkov, D., Kariev, B. y Rogozhyn, A. (2022). DESARROLLO DE UN
 SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA
 PARA UN PUEBLO REMOTO. *Naukovyi visnyk Donetskoho natsionalnoho*
tekhnichnoho universytetu. [https://doi.org/10.31474/2415-7902-2022-1\(8\)-2\(9\)-119-127](https://doi.org/10.31474/2415-7902-2022-1(8)-2(9)-119-127) .

Teixidó, Óscar. 2023. La ética de la automatización en vehículos automatizados y enfoques
 alternos para problemas morales actuales. <https://philpapers.org/rec/TEILTD>

Wevi, et al., International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 178 – No.
 35, July 2019. DOI:10.5120/ijca2019919175

Apéndice

Apéndice A. Evidencias de la aplicación de las encuestas



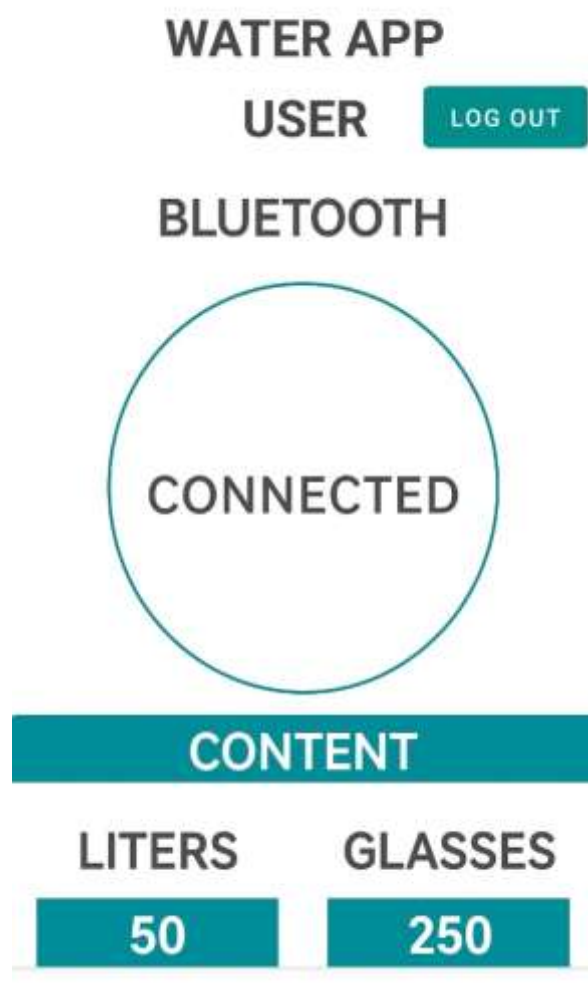


Nota. Fuente autores

Apéndice B. Manual de usuario App Ventana o vista principal de la aplicación.



Inicio de sesión de la aplicación donde debemos ingresar para visualizar los datos de la aplicación. Se debe hacer un registro anteriormente para poder ingresar, en este caso tenemos un usuario con derechos de administrador para hacer el debido registro que lo veremos a continuación.

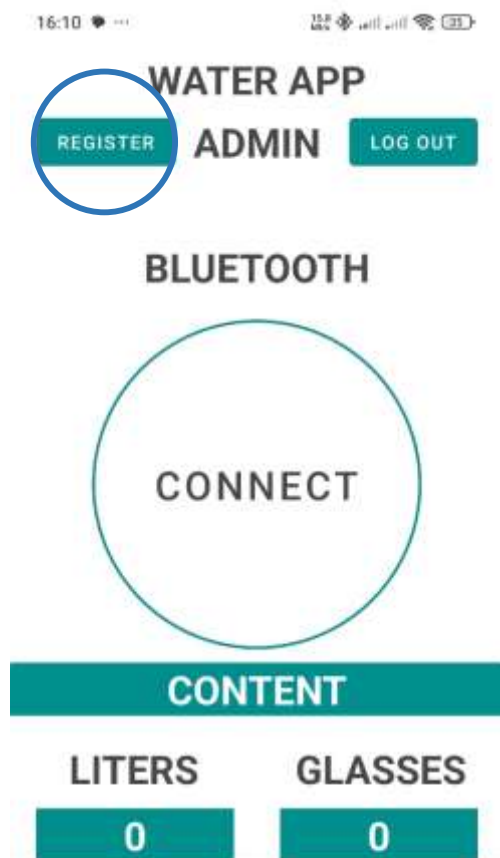


Esta es la sección del usuario regular donde puede ver los niveles de agua del tanque en litros y vasos de agua restantes.

Solo puede visualizar los datos.

El administrador también puede visualizar datos, pero no tiene el control de los usuarios de la aplicación.

Usuario administrador.



Esta es la sección del usuario administrador veremos la misma información que la pestaña anterior, pero en esta podemos ingresar más usuarios como se requiera.

En la esquina superior izquierda tenemos el botón de registro que nos llevara a la siguiente pestaña.

Registro de usuarios

WATER APP

REGISTER

username

password

confirm password

SELECT A ROLE:

☒ User ☐ Admin

SAVE

CANCEL

En la sección de registro de usuario podemos agregar los usuarios que se requieran.

En esta parte se agrega el nombre de usuario.

En esta asigna una contraseña.

Se debe confirmar la contraseña.

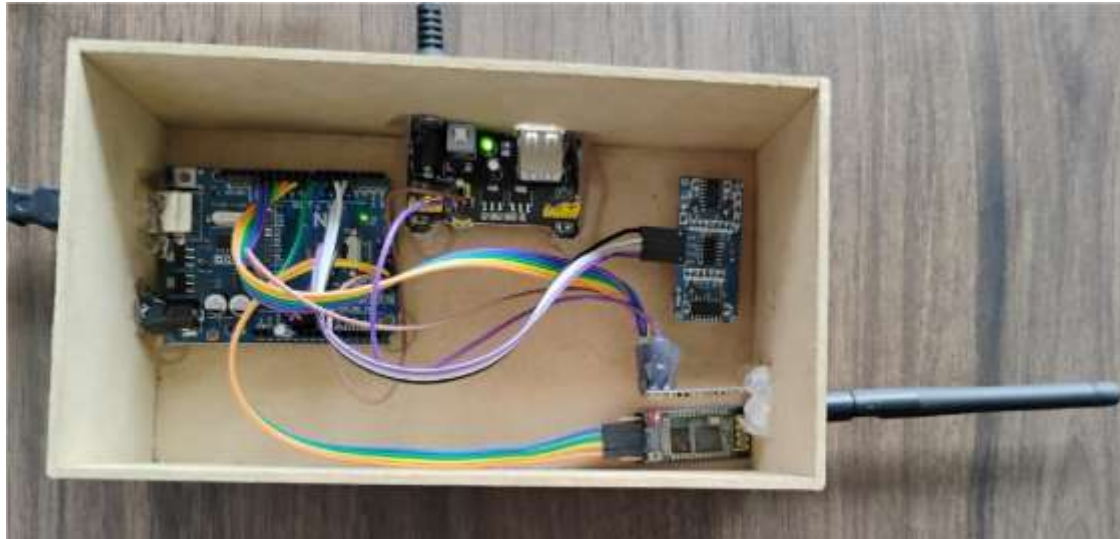
En esta sección se selecciona el los privilegios de usuario si administrador (Admin) o usuario regular (User)

Y guardamos el nuevo usuario.

También podemos cancelar el proceso

Apéndice C. Manual de componentes

Componentes del módulo transmisor y cómo trabaja.



Este módulo se compone de cinco componentes, los cuales son:

Placa de Arduino.

Es la placa donde se recibe y procesa los datos obtenidos de los módulos. Es el cerebro del módulo en el cual se distribuyen las diferentes acciones para los demás componentes.



Módulo de sensor Ultrasónico

Calcula con ultrasonido la distancia y el límite establecido para el llenado y vaciado de los tanques con la cual la placa de Arduino procesa la información.



Módulo de radio frecuencia

Este módulo se encarga de la comunicación por medio de radiofrecuencia (ondas de radio). Se compone de dos piezas la tarjeta y la antena para mayor rango; el módulo en este caso es el emisor y se encarga de enviar estas ondas al módulo receptor



Placa de energía para el módulo de radio frecuencia

Este módulo es parte esencial en el proyecto pues la placa de Arduino no envía la suficiente energía, solo emite un voltaje de 3.3v y esta placa puede ofrecer 5v para establecer una conexión más amplia a través de la radio frecuencia.



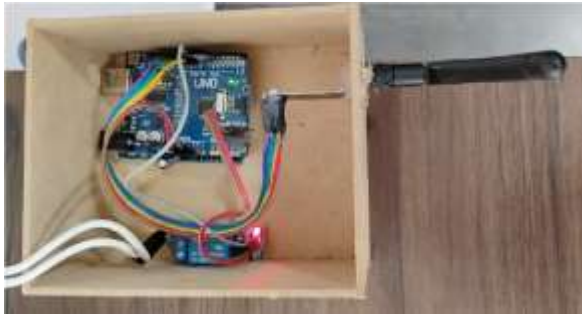
Modulo bluetooth

Es para la comunicación entre el hardware y el software, ya que a través de este modulo bluetooth envía los datos a una aplicación móvil donde se refleja el nivel del agua, cuántos vasos en total y el estado de la motobomba(Apagada/encendida).



Los anteriores componentes conforman todo el equipo o módulo transmisor.

Módulo receptor



Este módulo lo conforman tres componentes, los cuales son:

Placa de Arduino.

La cual recibe la señal del módulo transmisor y realiza la activación/desactivación del relé



Módulo de radio frecuencia

Se encarga de la comunicación a través de radiofrecuencia. Se compone de dos piezas el módulo y su respectiva antena. La cual recibe la señal desde el módulo transmisor y la pasa a la placa donde procesa la información y emite la activación/desactivación del relé



Relé.



Este dispositivo trabaja como un interruptor donde, dependiendo de la orden del arduino, envíe una señal de baja tensión en este caso de 5v de parte de la placa para encender o apagar la bomba, que trabaja con una tensión de 120v.