

**Sistema de Alerta Temprana, SAT, como herramienta para la prevención de desastres por
inundación**

Karen Yiseth Salas Asprilla

Asesor

Jorge Enrique Arboleda Puerta

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI
Ingeniería de Telecomunicaciones

2025

Resumen

El departamento del Chocó se caracteriza por tener la mayor pluviosidad de Colombia, con más de 8.000 mm anuales en zonas como Quibdó y Lloró (FAO, 2019). En gran parte del territorio central y sur, los días con lluvia superan los 200 al año, llegando a cerca de 300 en el suroccidente. Estas condiciones extremas generan un alto riesgo de inundaciones. Un ejemplo reciente ocurrió en noviembre de 2024, cuando lluvias torrenciales afectaron 22 de los 31 municipios del departamento, dejando alrededor de 25.000 familias damnificadas (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD], 2024).

La combinación de factores físicos y sociales incrementa la vulnerabilidad de la población, generando escenarios de pérdidas humanas y económicas ante eventos de origen natural. Frente a este panorama, como estudiante del programa de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional Abierta ya Distancia, propongo el diseño de un prototipo de Sistema de Alerta Temprana (SAT) orientado al monitoreo en tiempo real del nivel del río Atrato. El proyecto se fundamenta en la utilización de sensores de bajo costo y tecnologías accesibles, cuyos datos serán procesados y visualizados en una plataforma web, con el fin de facilitar la toma de decisiones oportunas por parte de autoridades y comunidades.

La metodología considera el diseño, prueba y validación de un prototipo en un entorno controlado. Este trabajo busca aportar a la reducción del riesgo por inundaciones, promover el uso de tecnologías de monitoreo y fortalecer las capacidades comunitarias en la gestión integral del riesgo, en coherencia con principios de sostenibilidad económica, ambiental y social.

Palabras clave: inundaciones, alerta, prototipo.

Abstract

The department of Chocó is recognized as the region with the highest rainfall in Colombia, with annual precipitation exceeding 7,000 mm in central and southern areas, and reaching more than 8,000 mm between the municipalities of Lloró and Quibdó. These extreme conditions result in more than 200 rainy days per year in most of the region, generating a high risk of flooding. A recent example occurred in November 2024, when torrential rains affected 22 out of 31 municipalities, leaving around 25,000 families affected (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD], 2024).

The combination of physical and social factors increases the population's vulnerability, leading to human and economic losses from natural events. In response, this study proposes the design of a prototype Early Warning System (EWS) for real-time monitoring of the Atrato River's water level. The project is based on the use of low-cost sensors and accessible technologies, with data processed and visualized through a web platform to support timely decision-making by authorities and communities.

The methodology involves the design, testing, and validation of the prototype in a controlled environment. This work seeks to contribute to flood risk reduction, promote the application of monitoring technologies, and strengthen community capacities in disaster risk management, in alignment with principles of economic, environmental, and social sustainability.

Keywords: Flooding, Early Warning, Prototype.

Tabla de Contenido

Introducción	12
Planteamiento del Problema.....	14
Pregunta Problemática.....	15
Justificación.....	16
Objetivo General	17
Objetivos Específicos	17
Marco Teórico	18
Estado del Arte.....	25
Metodología	27
Etapa 1 – Identificación de requerimientos técnicos y operativos	28
Etapa 2 – Implementación en entorno controlado.....	34
Etapa 3 – Pruebas de funcionamiento.....	56
Etapa 4 – Evaluación y mejoras	57
Diagrama de flujo.....	58
Encuesta y entrevista a la comunidad	59
Esquema de Solución	65
Componentes del Proyecto.....	69
Instalación y Configuración del Sistema “SAT”	70
Resultados	74

Lecturas simuladas del nivel de agua	86
Presupuesto.....	89
Discusión.....	90
Impactos	92
Conclusiones	94
Referencias Bibliográficas	98

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Ubicación del lugar a implementar el SAT.</i>	27
Figura 2 <i>ESP32 para implementar el SAT.</i>	29
Figura 3 <i>Sirena utilizada para la emisión de alertas sonoras.</i>	30
Figura 4 <i>Sensor de nivel de agua tipo flotador para detectar el nivel de agua.</i>	30
Figura 5 <i>Jumpers macho macho utilizados para la conexión entre los componentes electrónicos del sistema.</i>	31
Figura 6 <i>Jumpers macho hembra utilizados para la conexión entre los componentes electrónicos del sistema.</i>	31
Figura 7 <i>Proceso de ensamblaje del prototipo del Sistema de Alerta Temprana utilizando un tubo de PVC como estructura base, donde se integran los sensores y el cableado eléctrico.</i>	32
Figura 8 <i>Rele del prototipo del Sistema de Alerta Temprana.</i>	32
Figura 9 <i>Cable Conector para Batería 9V</i>	33
Figura 10 <i>Pila de 9V como fuente de alimentación del sistema.</i>	33
Figura 11 <i>Conexión del prototipo del Sistema de Alerta Temprana (SAT) en Fritzing.</i>	34
Figura 12 <i>Simulación del Sistema de Alerta Temprana (SAT) en Tinkercad.</i>	35
Figura 13 <i>Montaje de los sensores de nivel de agua y conexiones eléctricas sobre el tubo pvc del prototipo de Sistema de Alerta Temprana.</i>	38
Figura 14 <i>Montaje de los sensores de nivel de agua y conexiones eléctricas sobre el tubo pvc del prototipo de Sistema de Alerta Temprana.</i>	39
Figura 15 <i>Programación sitio Web del prototipo de Sistema de Alerta Temprana</i>	40
Figura 16 <i>Programación sitio Web del prototipo de Sistema de Alerta Temprana.</i>	41
Figura 17. <i>Página Web</i>	42

Figura 18 <i>Montaje de los sensores de nivel de agua y conexiones eléctricas sobre el tubo pvc del prototipo de Sistema de Alerta Temprana.</i>	47
Figura 19 <i>Montaje de los sensores de nivel de agua y conexiones eléctricas sobre el tubo pvc del prototipo de Sistema de Alerta Temprana.</i>	48
Figura 20	49
Figura 21 <i>Montaje de los sensores de nivel de agua y conexiones eléctricas sobre el tubo pvc del prototipo de Sistema de Alerta Temprana.</i>	50
Figura 22 <i>Prototipo listo para la prueba</i>	51
Figura 23 <i>Visualización en la plataforma propia del Sistema de Alerta Temprana (SAT), mostrando nivel normal el 0%.</i>	53
Figura 24 <i>Visualización en la plataforma propia del Sistema de Alerta Temprana (SAT), mostrando nivel normal el 10%.</i>	53
Figura 25 <i>Visualización en la plataforma propia del Sistema de Alerta Temprana (SAT), mostrando Alto 50%.</i>	54
Figura 26	55
Figura 27 <i>Diagrama de flujo</i>	58
Figura 28	63
Figura 29 <i>Entrevista realizada a habitante del barrio Bahía Solano sobre el Sistema de Alerta Temprana.</i>	64
Figura 30 <i>Diagrama de bloques del Sistema de Alerta Temprana (SAT), mostrando el tubo de PVC con sensores, el microcontrolador ESP32, la batería de 9V, el relé con la sirena y la conexión WiFi hacia un smartphone para visualización del nivel de agua.</i>	70
Figura 31 <i>Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana.</i>	74

Figura 32 Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: la mayoría de los encuestados tienen entre 18 y 30 años (43,9%).	75
Figura 33 Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: donde la mayoría son mujeres con un 56,1%.	76
Figura 34 Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde la mayoría llevan viviendo más de 10 años con un 48,8%.	77
Figura 35 Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde el 100% han sido afectado por las inundaciones.	78
Figura 36 Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde la mayoría de pérdidas con Materiales con un 63,4%.	79
Figura 37 Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde el 100% respondió que las inundaciones ocurren muy frecuentes.	79
Figura 38 Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde el 82,9% respondió que la causa principal es la creciente del río Atrato.	80
Figura 39 Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde la mayoría dicen que ha sido daño de vivienda con un 97,6%.	80
Figura 40 Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: el 63,4% respondió que si han escuchado hablar de un sistema de alerta temprana.	81
Figura 41 Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde el 56,1 responde que les parece excelente el funcionamiento de mi sistema.	81
Figura 42 Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde 78% dice que el STA puede ayudar a prevenir pérdidas.	82
Figura 43 Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde el 73,2% considera útil contar con alarmas y señales de anticipación.	82

Figura 44 <i>Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde la mayoría sugiere que se dé a conocer más a toda la comunidad.</i>	83
Figura 45 <i>Resultados de respuesta sobre las sugerencias.</i>	84
Figura 46 <i>Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde la mayoría con un 95,1% estaría dispuesta a participar en actividades para mejorar la prevención.</i>	85
Figura 47 <i>Evolución del nivel de agua (simulación).</i>	86

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Distribución por rangos de edad</i>	62
Tabla 2 <i>Análisis comparativo de sensores de agua</i>	65
Tabla 3 <i>Comparación de precios</i>	67
Tabla 4 <i>Análisis comparativo de arduino</i>	68
Tabla 5 <i>Componentes del proyecto del laboratorio</i>	69
Tabla 6 <i>Lecturas simuladas del nivel de agua</i>	86
Tabla 7 <i>Presupuesto para la elaborar el prototipo</i>	89

Lista de Apéndices

Apéndice A. Código fuente del microcontrolador ESP32	102
Apéndice B. Código de la plataforma web desarrollada para visualización de datos	104

Introducción

El cambio climático es un problema de orden mundial causado por diferentes factores tanto naturales como antropogénicos tales como el incremento de la demanda y del consumo energético, la deforestación, la actividad industrial y la producción agrícola con controlada, proporcionando así un incremento de las emisiones a la atmósfera y metano, los cuales son los principales gases de efecto invernadero causantes del cambio climático.

En especial en los últimos años, Colombia ha sido uno de los países más afectados por el incremento de los efectos de la presencia de fenómenos hidrometeorológicos, siendo así un país altamente vulnerable debido al deterioro de las condiciones sociales, ambientales, económicas e institucionales.

Sumado a esto, desde el 8 de noviembre de 2024 y hasta la fecha, en el departamento del Chocó, al menos 215,000 personas que habitan en 27 de los 31 municipios que lo conforman reportaron afectaciones por la ola invernal. Esta situación generó inundaciones a gran escala y crecientes súbitas por el desbordamiento de los ríos Atrato, San Juan, Baudó y sus afluentes (ver SitRep No. 01). Por su parte, la Gobernación del Chocó, por medio del Decreto 0282 de 2024, declaró situación de calamidad pública, conforme a las afectaciones producto de las fuertes lluvias e inundaciones en el departamento.

Este proyecto de investigación aplicada plantea el diseño y desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para el monitoreo de variables hidrológicas en tiempo real en el municipio de Quibdó. Mediante el uso de sensores económicos y accesibles, se busca fortalecer las capacidades locales de prevención y respuesta ante inundaciones. El proyecto tiene como objetivo principal diseñar un prototipo funcional que permita alertar tempranamente a la población en riesgo y mitigar los impactos negativos asociados a los desbordamientos del río Atrato.

A través de la implementación de esta solución tecnológica, se espera contribuir al cierre de brechas en gestión del riesgo, fomentar la sostenibilidad y mejorar la resiliencia de comunidades vulnerables.

Planteamiento del Problema

Las inundaciones son un riesgo recurrente en el municipio de Quibdó, ubicado en el departamento del Chocó en Colombia. Debido a su geografía y clima, la región es vulnerable a eventos climáticos extremos, como lluvias intensas y desbordamientos de ríos. Estos eventos han causado pérdidas humanas y materiales en el pasado y representan una amenaza para la seguridad y el bienestar de la población local.

Pregunta Problemática

¿Cómo diseñar un sistema de alerta temprana, basado en la recopilación y análisis de datos hidrológicos y meteorológicos en tiempo real, que permita mejorar la capacidad de respuesta ante posibles inundaciones en el municipio de Quibdó?

Justificación

Quibdó, al igual que la mayoría de los municipios del departamento del Chocó, se ubica en las llanuras de inundación de los ríos en sitios donde varias quebradas y ríos emergen de las cordilleras (ríos Atrato, Cabí, Tanandó, Tutunendó, Samurindó, Ichó, Pando, cano Caraño, Quebradas La Yesca, La Cascorva, etc.). Dada la alta pluviosidad que presenta la zona y los impactos generados por las explotaciones mineras y madereras sobre la regularidad de los caudales, el municipio presenta alto riesgo por inundación. La población más pobre en este municipio es la que sufre las mayores consecuencias como resultado de las subidas y crecientes repentinas del río Atrato, ya que sus viviendas se encuentran apostadas al lado y lado de su cauce, debido a que este gran porcentaje de la población se dedica a la pesca y la minería.

En las comunidades ubicadas en zonas ribereñas, el acceso a servicios básicos, información oportuna y tecnologías de monitoreo es limitado debido a condiciones geográficas, económicas y de seguridad pública. Esta situación impide que dichas comunidades puedan beneficiarse de soluciones tecnológicas que mejorarían su calidad de vida.

Este proyecto surge como una alternativa viable para estas poblaciones, mediante el diseño y desarrollo de un prototipo funcional que permita monitorear variables ambientales o comunicar alertas, simulando condiciones reales. El sistema se desarrollará en entorno de pruebas, con miras a una futura implementación a escala real. De esta manera, se contribuye al cierre de brechas tecnológicas y se fomenta el desarrollo de soluciones apropiadas, sostenibles y replicables en contextos similares. La importancia de los sistemas de alerta temprana radica en su capacidad para fortalecer la resiliencia comunitaria, reduciendo la vulnerabilidad social y ambiental (Cruz Roja Colombiana, 2017). Además, la implementación de estos sistemas se alinea con lineamientos internacionales que promueven la gestión comunitaria (BID, 2019).

Objetivos

Objetivo General

Diseñar y desarrollar un prototipo experimental de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para el monitoreo en tiempo real del nivel de agua del río Atrato, en el municipio de Quibdó, que permita identificar niveles de riesgo por inundación y apoyar la toma de decisiones preventivas por parte de la comunidad.

Objetivos Específicos

Identificar los requerimientos técnicos y operativos necesarios para el funcionamiento del sistema bajo las condiciones hidrológicas del río Atrato.

Diseñar el esquema electrónico del prototipo (diagrama en Fritzing/Proteus) y simular su funcionamiento (Tinkercad o Proteus) usando componentes de bajo costo, con el fin de validar la lógica de detección de niveles y la activación de alarmas.

Implementar el prototipo en un entorno controlado que permita evaluar su funcionamiento y desempeño en condiciones similares a las que se podrían presentar en el contexto real.

Definir los lineamientos técnicos, operativos y comunitarios para escalar el sistema a una implementación piloto en campo.

Marco Teórico

Sistema De Alerta Temprana (SAT):

Un Sistema de Alerta Temprana (SAT) puede entenderse como un conjunto de herramientas, procesos y tecnologías que trabajan de manera integrada para anticiparse a una posible amenaza. Su propósito es vigilar el entorno, detectar cambios que representen un riesgo y emitir una alerta oportuna que permita reducir los impactos negativos sobre las comunidades y el medio ambiente. En contextos como el Chocó, donde las inundaciones son recurrentes, los SAT se convierten en aliados esenciales porque facilitan el monitoreo de variables críticas y ayudan a que las comunidades estén preparadas para responder de forma rápida (Ocampo Toro, Alzate Sánchez, Chancy Villa, & Valencia Cardona, 2017).

De acuerdo con la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2015), para que un SAT funcione de manera efectiva debe basarse en cuatro componentes que se complementen entre sí:

Conocimiento del riesgo: recopilación y análisis de datos históricos y actuales para comprender amenazas y vulnerabilidades. Incluye mapeo de zonas de riesgo, identificación de poblaciones expuestas y evaluación de la infraestructura crítica.

Monitoreo y predicción: observación continua de fenómenos naturales y capacidad de prever su evolución, apoyado en sensores y sistemas de procesamiento de datos.

Difusión y comunicación de alertas: transmisión de información clara, oportuna y comprensible a autoridades y comunidades.

Capacidad de respuesta: preparación de la población e instituciones mediante planes de evacuación, capacitación y coordinación de equipos de emergencia (UNDRR, 2015).

Clasificación De Los SAT

Los SAT pueden clasificarse en diferentes tipos según la naturaleza del riesgo o el enfoque del sistema:

SAT Hidrometeorológicos: monitorean lluvias, inundaciones, huracanes o tormentas.

SAT Geológicos: aplicados a terremotos, deslizamientos de tierra, erupciones volcánicas.

SAT Biológicos y epidémicos: enfocados en enfermedades infecciosas o riesgos para la salud pública.

SAT Antrópicos o tecnológicos: orientados a incendios industriales, derrames químicos o emergencias tecnológicas.

SAT Multiamenaza: integran la vigilancia de múltiples amenazas para ofrecer una visión integral del riesgo (Rodríguez & Pérez, 2021).

SAT Hidrometeorológicos aplicados al río Atrato

Los SAT hidrometeorológicos son especialmente relevantes en Colombia, donde los altos niveles de pluviosidad generan frecuentes desbordamientos de ríos. El IDEAM dispone de la plataforma FEWS-Colombia, la cual permite monitorear en tiempo real las condiciones hidrológicas y emitir alertas oportunas (IDEAM, 2025).

En el municipio de Quibdó, sobre la cuenca del río Atrato, la implementación de un SAT hidrometeorológico es prioritaria debido a las recurrentes inundaciones que afectan a las comunidades ribereñas y a la vulnerabilidad de la infraestructura local (IDEAM, 2025; UNDRR, 2015).

Sensores clave para SAT Hidrometeorológicos (González et al., 2022)

Sensores de nivel de agua:

Ultrasónicos: emiten ondas sonoras que rebotan en la superficie del agua; sin contacto, de bajo mantenimiento.

De presión (sumergibles o hidrostáticos): miden la presión ejercida por la columna de agua, ofreciendo precisión y robustez.

Tipo flotador: registran el movimiento vertical de un flotador; económicos pero sensibles a obstrucciones.

Radar: emplean ondas electromagnéticas; mayor precisión y menor sensibilidad a variaciones climáticas.

Sensores de caudal

Correntómetros: utilizan hélices, sistemas electromagnéticos o acústicos (Doppler).

Sensores de presión diferencial: permiten inferir la fuerza ejercida por el agua en estructuras.

Sensores de precipitación (pluviómetros)

De balancín: un cubo basculante registra la cantidad de agua caída.

De cubeta pesada: calculan el peso del agua acumulada para mediciones continuas.

Sensores complementarios

De calidad del agua: turbidez, conductividad o temperatura. Aunque no son estrictamente necesarios para alertas de inundación, brindan información adicional sobre el estado del río (González et al., 2022).

Sensores de nivel de agua tipo flotador)

Los sensores de nivel de agua tipo flotador funcionan mediante un mecanismo mecánico que asciende o desciende dependiendo del nivel del líquido en el recipiente o canal. Son ampliamente utilizados por su bajo costo, durabilidad y simplicidad de instalación.

En condiciones normales de uso, estos sensores presentan una vida útil aproximada de 2 a 5 años, aunque este periodo puede variar según la calidad del dispositivo y el entorno de exposición (humedad, corrosión, sedimentos). Para garantizar lecturas confiables, se recomienda

realizar una calibración o revisión preventiva cada 6 meses, verificando el estado del flotador, el cableado y las conexiones eléctricas. González et al. (2022)

Criterios de selección de sensores para el contexto del Chocó

La selección de sensores debe responder a las condiciones ambientales y socioeconómicas del territorio. En el caso del Chocó, destacan los siguientes criterios:

Bajo costo, para asegurar escalabilidad.

Robustez y durabilidad, considerando lluvias intensas y alta humedad.

Bajo consumo energético, preferiblemente compatible con energía solar.

Facilidad de instalación y mantenimiento por parte de comunidades locales.

Conectividad mediante tecnologías como LoRaWAN, GPRS/3G/4G o radiofrecuencia (Martínez & López, 2020).

Tecnologías de Conectividad Aplicables a Sistemas de Alerta Temprana.

La conectividad constituye un eje fundamental en los Sistemas de Alerta Temprana (SAT), ya que permite transmitir la información de manera oportuna a los usuarios y autoridades responsables. Diversas tecnologías inalámbricas pueden emplearse en este tipo de proyectos:

WiFi. Esta tecnología es de uso común por su bajo costo y su facilidad de integración con microcontroladores como el ESP32. Su alcance típico es limitado, generalmente entre 20 y 50 metros en espacios abiertos, dependiendo de la potencia del transmisor y las condiciones ambientales (Cisco, 2021).

LoRaWAN. Es un protocolo diseñado para Internet de las Cosas (IoT) que permite comunicaciones de largo alcance con bajo consumo energético. En condiciones favorables, los enlaces LoRaWAN pueden alcanzar entre 5 y 15 km en zonas rurales (Semtech, 2020). Este tipo de red resulta adecuada en entornos comunitarios sin cobertura celular.

GPRS/3G/4G. Las redes celulares ofrecen amplia cobertura y capacidad de transmisión de datos en tiempo real. No obstante, requieren mayor energía y tienen costos asociados al servicio de telefonía móvil (GSMA, 2021).

Radiofrecuencia (RF). Las comunicaciones RF punto a punto son de bajo costo y no dependen de infraestructura externa, aunque su alcance y seguridad son limitados (Texas Instruments, 2020).

En el contexto de un SAT comunitario en Quibdó, la tecnología WiFi puede emplearse en prototipos experimentales y pruebas iniciales. Sin embargo, para implementaciones en campo, tecnologías como LoRaWAN o redes celulares resultan más adecuadas por su mayor alcance y confiabilidad, especialmente en zonas vulnerables a inundaciones con infraestructura limitada.

Antecedentes de proyectos similares

En Colombia se han desarrollado diversas iniciativas orientadas a reducir el impacto de las inundaciones mediante Sistemas de Alerta Temprana (SAT). Por ejemplo, el proyecto de Ocampo Toro, Alzate Sánchez, Chancy Villa y Valencia Cardona (2017) implementó un sistema autosostenible de alarma temprana para corrientes fluviales en zonas rurales del departamento del Tolima, destacando la importancia de tecnologías accesibles y de bajo costo para comunidades expuestas a avenidas torrenciales. De manera similar, Campo Erazo y Zafra Vallejo (2013) propusieron un sistema inalámbrico para el monitoreo de niveles en ríos ubicados en áreas rurales del sur del país, aportando alternativas viables en territorios con infraestructura limitada.

Por su parte, la Universidad de la Costa (2016) desarrolló un sistema con redes de sensores aplicado en la ciudad de Barranquilla, específicamente en sectores afectados por inundaciones urbanas recurrentes, demostrando la adaptabilidad de estas tecnologías tanto a contextos rurales como urbanos. Finalmente, el proyecto documentado por Libelium & UNGRD (2015) se implementó en cuencas hidrográficas de la región andina y el Caribe colombiano, evidenciando

cómo los SAT fortalecen la capacidad de respuesta comunitaria frente a emergencias hidrometeorológicas.

A nivel internacional (aunque en este caso aplicado en Colombia), Acosta-Coll, Ballester-Merelo y Martínez-Peiró (2018) desarrollaron un sistema para detectar inundaciones urbanas en cuencas no monitoreadas, combinando modelación hidrológica con sensores en tiempo real; este sistema fue implementado en la ciudad de Barranquilla, utilizando la cuenca urbana del arroyo “La 65” como zona de estudio. Más recientemente, Lias y Kumaran (2024) presentaron un prototipo basado en IoT con microcontroladores ESP32, resaltando su bajo consumo y facilidad de integración. En este mismo campo, Gómez y Castillo (2020) analizaron el potencial del ESP32 en proyectos comunitarios, mostrando cómo estas tecnologías pueden ser herramientas valiosas para la prevención local.

De forma complementaria, distintos organismos internacionales han enfatizado que la tecnología por sí sola no basta: la participación social y la educación comunitaria son claves. La FAO (2019) propone lineamientos para fortalecer la gestión local de sistemas de monitoreo, mientras que la UNESCO (2021) resalta la importancia de la educación en comunidades resilientes. En la misma línea, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2015) insiste en integrar ciencia, tecnología y participación social para enfrentar los desastres naturales. En Colombia, el IDEAM (2023, 2025) ha consolidado un papel central en el monitoreo hidrológico con sus redes de estaciones y la plataforma FEWS-Colombia, que hoy es una de las principales fuentes de información para los SAT.

Finalmente, la innovación digital también se presenta como un eje transversal en la gestión del riesgo hídrico. Rodríguez y Pérez (2021) destacan el valor de tecnologías de comunicación en tiempo real como WiFi, GPRS y LoRaWAN, mientras que el BID (2021) promueve la incorporación de soluciones emergentes en América Latina frente a los desafíos del cambio

climático. De manera complementaria, entidades como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020) y la Cruz Roja Colombiana (2018) han elaborado guías y manuales técnicos para comunidades rurales, donde el autocuidado y la organización social se convierten en factores decisivos para el éxito de los sistemas de alerta temprana.

Estado del Arte

Diversas investigaciones han abordado el diseño e implementación de Sistemas de Alerta Temprana (SAT) para la mitigación de inundaciones, proporcionando referentes clave para el presente proyecto.

De acuerdo con Mileti y Sorensen (1990), la comunicación efectiva es un componente fundamental en la respuesta ante alertas tempranas. Los autores señalan que el éxito de un SAT no depende únicamente de la detección oportuna del evento, sino también de la manera en que la alerta es transmitida a la población. Por esta razón, se considera esencial contar con un sistema de notificación claro y confiable hacia la comunidad. En este proyecto, esto se contempla mediante el uso de mensajes SMS, los cuales funcionan como un complemento a la alerta sonora tradicional, permitiendo reforzar el proceso de aviso y asegurar que la información llegue incluso cuando la señal acústica no pueda ser percibida por todos los habitantes.

La UNESCO (2016) desarrolló una metodología que integra técnicas de teledetección y modelado hidrológico para mejorar la predicción de crecidas en cuencas vulnerables. Si bien el prototipo propuesto se enfoca en el uso de sensores locales, se reconoce la importancia de validar las mediciones con modelos predictivos, especialmente en futuras fases de escalamiento del sistema.

Según Smith et al. (2019), la incorporación de sensores del Internet de las Cosas (IoT) junto con redes de telecomunicaciones mejora significativamente la capacidad de transmisión de alertas en tiempo real, lo cual optimiza la respuesta ante eventos críticos.

García et al. (2021) propusieron un SAT basado en inteligencia artificial para la predicción de inundaciones urbanas, aumentando la precisión de los pronósticos a partir del análisis de datos históricos y en tiempo real. Aunque el presente sistema no incluye inteligencia artificial, sí adopta

el enfoque de monitorear múltiples variables hidrológicas como base para una mejor predicción de riesgos, lo cual abre posibilidades para su futura implementación.

En cuanto a experiencias internacionales, Japón es uno de los referentes mundiales en la implementación de sistemas de alerta temprana multiamenaza. A través de la Japan Meteorological Agency (JMA), el país integra en una misma plataforma el monitoreo y la emisión de alertas por terremotos, tsunamis, actividad volcánica y fenómenos meteorológicos severos, incluyendo lluvias intensas y deslizamientos inducidos por lluvia (Japan Meteorological Agency, 2023). Esta estructura forma parte del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo liderado por el Cabinet Office, el cual articula sensores, redes de observación, protocolos de comunicación y mecanismos de respuesta comunitaria para distintos tipos de emergencias naturales (Cabinet Office of Japan, 2023).

Por su parte, los Países Bajos han combinado modelos avanzados de predicción fluvial con infraestructura física como diques, compuertas y barreras móviles —entre ellas el Maeslantkering—, integrando estos elementos con sistemas de monitoreo en tiempo real para la gestión y mitigación de inundaciones. Este enfoque hace parte del programa nacional de protección contra inundaciones, el cual articula modelación hidrodinámica, sensores automáticos y obras de control para reducir el riesgo en zonas altamente vulnerables (Deltares, 2022; Government of the Netherlands, 2023). La experiencia holandesa evidencia la importancia de complementar las soluciones tecnológicas con infraestructura estratégica, especialmente en fases avanzadas de la gestión del riesgo.

En el contexto colombiano, el IDEAM (s. f.) opera estaciones automáticas que transmiten datos hidrometeorológicos en tiempo real para monitorear las principales cuencas hidrográficas del país. Esta práctica constituye un referente nacional que valida la necesidad de implementar estaciones automáticas de bajo costo en zonas vulnerables y de difícil acceso, como lo es Quibdó.

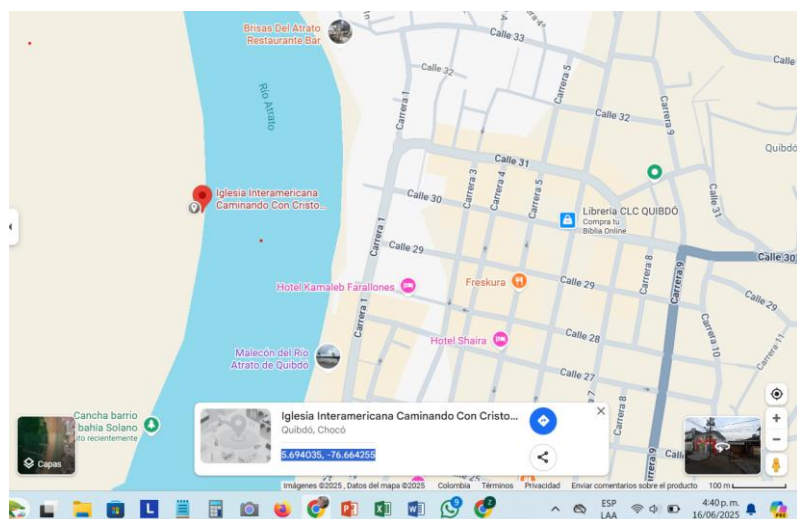
Metodología

El proyecto se desarrolla en el sector conocido como Bahía Solano, ubicado en la ribera occidental del río Atrato, frente al casco urbano del municipio de Quibdó. Este sector corresponde a una zona vulnerable, propensa a inundaciones por la creciente del río. Las coordenadas geográficas aproximadas del lugar son Latitud: 5.694035° N y Longitud: -76.664255° O. El propósito del proyecto es implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) mediante el uso de sensores de bajo costo, los cuales miden variables hidrológicas en tiempo real y generan alertas tempranas ante un posible evento de inundación, fortaleciendo así la capacidad de respuesta de la comunidad.

La metodología considera las buenas prácticas de gestión ambiental definidas por la norma ISO 14001:2015 (ISO, 2017), las cuales se aplican para asegurar que el diseño e implementación del sistema cumplan con criterios de sostenibilidad y gestión responsable del entorno.

Figura 1

Ubicación del lugar a implementar el SAT.



Nota. Elaboración propia

Este proyecto adopta un enfoque de investigación aplicada y comprende las siguientes etapas:

Etapas 1 – Identificación de requerimientos técnicos y operativos.

En esta etapa se identifican los sensores de nivel tipo flotador como los principales elementos de monitoreo. En el prototipo, los porcentajes de nivel de agua (10%, 50% y 100%) se definen en función de la distancia relativa entre los sensores instalados en el tubo de PVC. De esta manera, el sensor inferior corresponde a una condición normal (10%), el sensor intermedio a un nivel de alerta preventiva (50%) y el sensor superior a un nivel crítico de desbordamiento (100%).

Estos valores no representan directamente la hidrometría real del río Atrato; más bien, constituyen un criterio de simulación utilizado para validar la respuesta del (SAT) en condiciones controladas.

Según el IDEAM (2014) y la UNGRD (2017), los sistemas comunitarios de alerta temprana suelen definir umbrales relativos de riesgo con base en la experiencia local y en la ubicación de los puntos de monitoreo, lo cual respalda la metodología adoptada en este proyecto. de alerta temprana suelen definir umbrales relativos de riesgo con base en la experiencia local y en la ubicación de los puntos de monitoreo, lo cual respalda la metodología adoptada en este proyecto.

Materiales a utilizar:**Figura 2**

ESP32 para implementar el SAT.



Nota. Tomado de “Módulo ESP32 WiFi Bluetooth Espressif Esp-32”, por Mercado Libre, s. f.,

<https://www.mercadolibre.com.co>

Figura 3

Sirena utilizada para la emisión de alertas sonoras.



Nota. Tomado de “Catálogo de sirenas electrónicas”, por AlarmaSAS, 2022,

<https://www.alarmasas.com/sirenas>

Figura 4

Sensor de nivel de agua tipo flotador para detectar el nivel de agua.

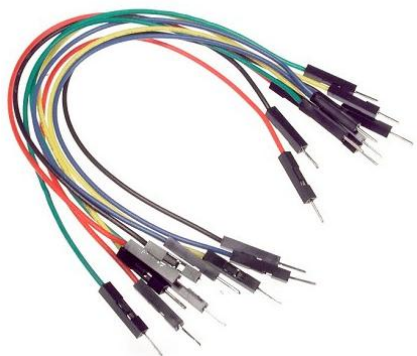


Nota. Tomado de “Sensor De Nivel De Agua Flotador Interruptor 2mts Cable”, por Mercado

Libre, s. f., <https://www.mercadolibre.com.co>

Figura 5

Jumpers macho macho utilizados para la conexión entre los componentes electrónicos del sistema.



Nota. Tomado de “Jumpers Macho-Macho 40 pines Dupont”, por Mercado Libre, s. f.,

<https://www.mercadolibre.com.co>

Figura 6

Jumpers macho hembra utilizados para la conexión entre los componentes electrónicos del sistema.



Nota. Tomado de “Jumpers Macho-Hembra 40 pines Dupont”, por Mercado Libre, s. f.,

<https://www.mercadolibre.com.co>

Figura 7

Proceso de ensamblaje del prototipo del Sistema de Alerta Temprana utilizando un tubo de PVC como estructura base, donde se integran los sensores y el cableado eléctrico.



Nota. Tomado de “DIY Sensor Assembly with PVC Tube”, por Aliexpress, s. f.,

<https://www.aliexpress.com>

Figura 8

Relé del prototipo del Sistema de Alerta Temprana.



Nota. Tomado de “Módulo Relé 5V para Arduino”, por Mercado Libre, s. f.,

<https://www.mercadolibre.com.co>

Figura 9

Cable Conector para Batería 9V



Nota. Tomado de “Conector para batería 9v”, por Amazon, s. f., <https://www.amazon.com>

Figura 10

Pila de 9V como fuente de alimentación del sistema.



Nota. Tomado de “Batería 9V Recargable”, por Aliexpress, s. f., <https://www.aliexpress.com>

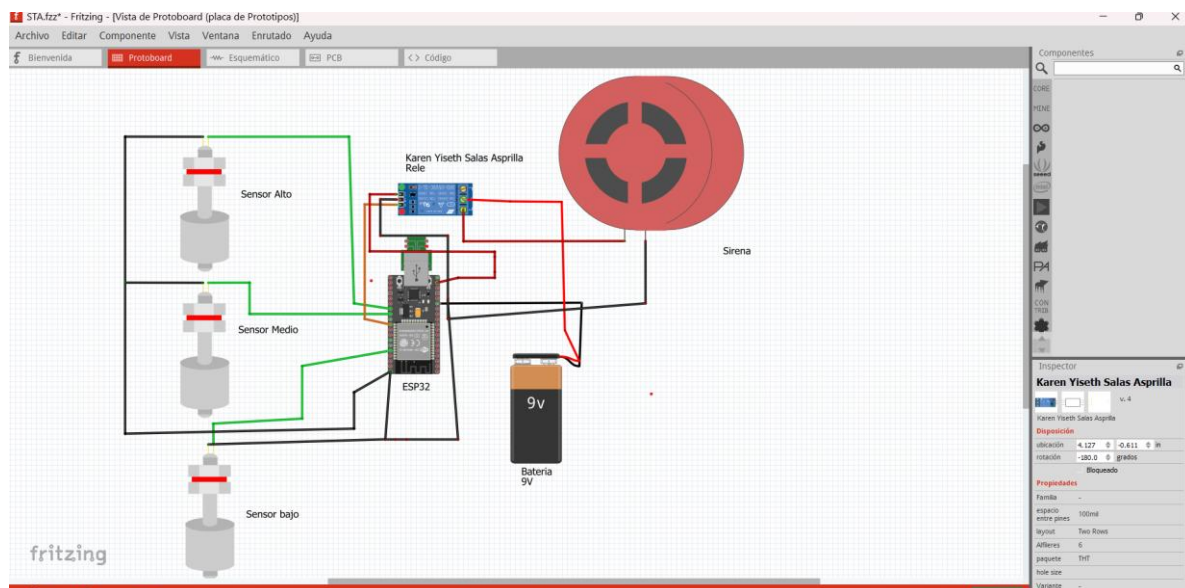
Etapa 2 – Implementación en entorno controlado.

Durante la segunda etapa, correspondiente a la implementación en entorno controlado, se procede a realizar el diseño electrónico del prototipo en el software *Fritzing* (Fritzing Project, 2023), con el fin de organizar y visualizar de manera clara las conexiones entre los componentes seleccionados. Este diseño permite definir la integración del microcontrolador ESP32, los sensores de nivel de agua tipo flotador, el módulo relé, la sirena de 9V y la fuente de alimentación, asegurando que todos los elementos compartan una conexión a tierra común y que la activación de la alarma se efectúe correctamente mediante el control del relé.

La representación en *Fritzing* es un paso importante antes del montaje físico, ya que permite verificar la coherencia de las conexiones y reducir posibles errores durante la construcción práctica del prototipo.

Figura 11

Conexión del prototipo del Sistema de Alerta Temprana (SAT) en Fritzing.



Nota. Elaboración Propia

De manera complementaria, se elaboró una simulación digital en la plataforma Tinkercad, en la cual se empleó un Arduino UNO, tres pulsadores (en reemplazo de los sensores de nivel) y un *buzzer* (como equivalente de la sirena de 9V). Esta simulación permitió comprobar la lógica de funcionamiento del sistema en un entorno seguro, verificando las tres condiciones principales:

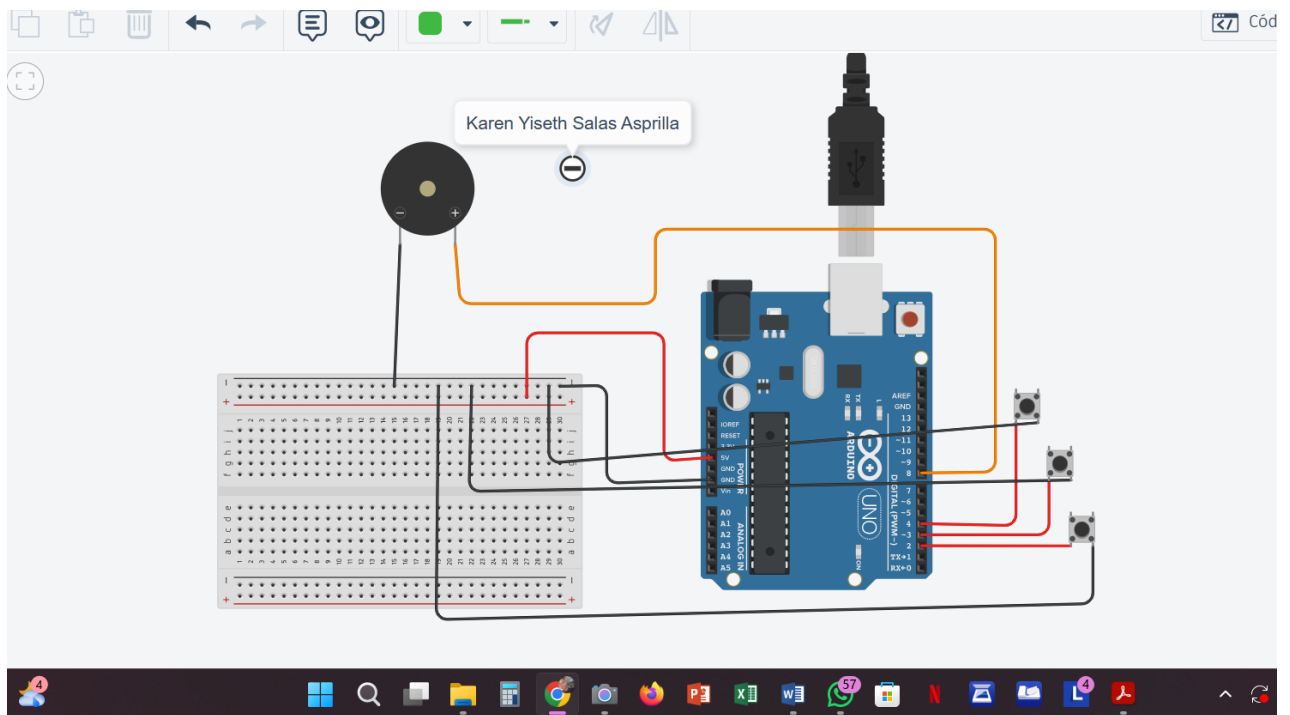
Nivel bajo: sistema en estado normal, sin alarma.

Nivel medio: alarma activa.

Nivel alto: alarma continua activa.

Figura 12

Simulación del Sistema de Alerta Temprana (SAT) en Tinkercad.



Nota: Elaboración propia

Código Programa en Arduino UNO para la simulación en Tinkercad

```
entero sensorBajo = 13
entero sensorMedio = 12
entero sensorAlto = 14
entero sirena = 27
vacío configuracion() {
    fijarPin(sensorBajo, ENTRADA_CON_PULLUP)
    fijarPin(sensorMedio, ENTRADA_CON_PULLUP)
    fijarPin(sensorAlto, ENTRADA_CON_PULLUP)
    fijarPin(sirena, SALIDA)
    escribirDigital(sirena, APAGADO)
}
vacío ciclo() {
    booleano nivelBajo = (leerDigital(sensorBajo) == ACTIVADO)
    booleano nivelMedio = (leerDigital(sensorMedio) == ACTIVADO)
    booleano nivelAlto = (leerDigital(sensorAlto) == ACTIVADO)
    si (nivelAlto) {
        escribirDigital(sirena, ENCENDIDO)
    } sino si (nivelMedio) {
        escribirDigital(sirena, ENCENDIDO)
        esperar(300)
        escribirDigital(sirena, APAGADO)
        esperar(300)
    } sino si (nivelBajo) {
        escribirDigital(sirena, APAGADO)
    }
}

// Si no hay señal
} sino {
    escribirDigital(sirena, APAGADO)
}
}
```

Nota: Aunque la implementación final del sistema se realiza con un microcontrolador ESP32, la simulación del circuito preliminar se desarrolla en Tinkercad utilizando una placa Arduino UNO. Esto se debe a que la plataforma Tinkercad no dispone de soporte para la ESP32, lo cual impide recrear directamente su arquitectura y sus pines en el entorno virtual. Ante esta limitación, se utiliza Arduino como elemento equivalente únicamente para validar la lógica básica del circuito, la lectura de sensores y el comportamiento de la señal de alarma.

Esta simulación no representa el funcionamiento específico del hardware real, pero sí permite verificar la secuencia de activación de los sensores y el patrón de alerta. Una vez validada la lógica en Tinkercad, el código es adaptado y programado directamente en la ESP32, ajustando la asignación de pines y las características propias del microcontrolador durante la fase de implementación física.

Finalmente, se construye el prototipo físico con los componentes seleccionados, el cual integra el microcontrolador ESP32, los sensores de nivel tipo flotador, el módulo relé y la sirena de 9V. La Figura 21 presenta la fotografía del montaje real del sistema, el cual es utilizado para realizar las pruebas de funcionamiento descritas en la Etapa 3.

Durante la implementación del prototipo se consideraron aspectos técnicos asociados a la vida útil y mantenimiento de los sensores de nivel. En este caso, los sensores tipo flotador instalados poseen una duración aproximada de 2 a 5 años, siempre que sean utilizados bajo condiciones normales. Asimismo, se definió que la calibración preventiva debe realizarse al menos cada 6 meses, con el fin de comprobar el libre movimiento del flotador y la integridad de las conexiones eléctricas.

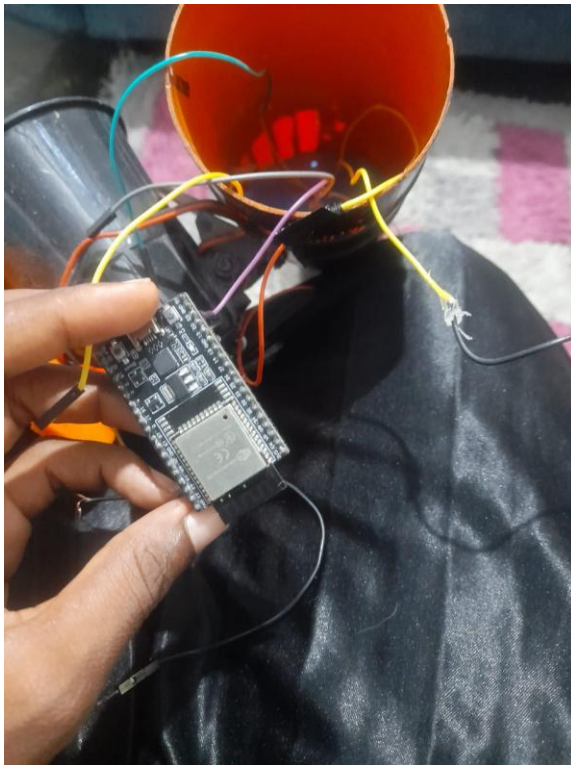
Estas acciones garantizan que el (SAT) pueda sostener su funcionamiento a mediano plazo y mantener la confiabilidad de las alertas generadas.

Prototipo físico del Sistema de Alerta Temprana (SAT) implementado con ESP32.

Fotos paso a paso de la construcción del prototipo (ensamblaje, conexiones).

Figura 13

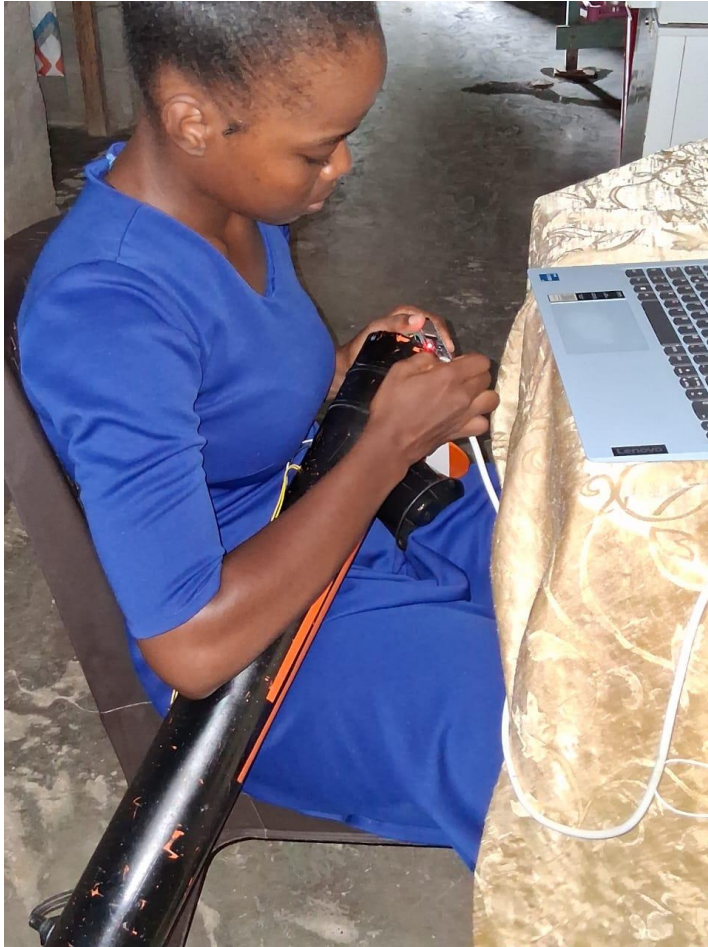
Montaje de los sensores de nivel de agua y conexiones eléctricas sobre el tubo pvc del prototipo de Sistema de Alerta Temprana.



Nota: Elaboración propia

Figura 14

Montaje de los sensores de nivel de agua y conexiones eléctricas sobre el tubo pvc del prototipo de Sistema de Alerta Temprana.



Nota: Elaboración propia

Figura 15

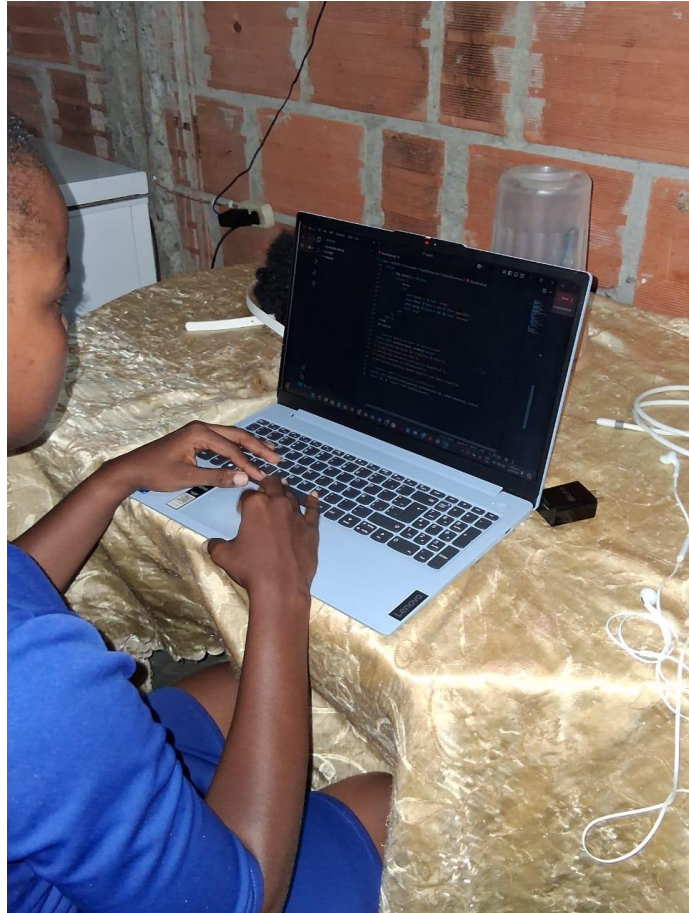
Programación sitio Web del prototipo de Sistema de Alerta Temprana



Nota: Elaboración propia

Figura 16

Programación sitio Web del prototipo de Sistema de Alerta Temprana.



Nota: Elaboración propia

Figura 17. *Página Web*



Nombre de la plataforma: Nivel de Agua

Código:

```

// --- Manejador para la página web principal ("/") ---
void handleRoot() {
    String html = R"rawliteral(
        <!DOCTYPE html>
        <html lang="es">
        <head>
            <meta charset="UTF-8">
            <title>Monitor de Nivel de Agua</title>
            <style>
                body { font-family: 'Segoe UI', sans-serif; background-color:
#e3f2fd; text-align: center; padding: 20px; color: #333; }
                h1 { font-size: 2em; margin-bottom: 10px; }
                .contenedor { display: flex; justify-content: center; align-items:
center; gap: 40px; flex-wrap: wrap; }
                .barra-container-vertical { width: 60px; height: 200px;
background-color: #ddd; border-radius: 30px; display: flex; align-items:
flex-end; overflow: hidden; box-shadow: inset 0 0 10px #aaa; }
                .barra-vertical { width: 100%; background-color: _COLOR_; text-
align: center; color: white; font-weight: bold; transition: height 0.5s; }
                canvas { background: #fff; border-radius: 10px; box-shadow: 0 0
10px rgba(0,0,0,0.2); }
                #notification { margin-top: 5px; font-size: 16px; font-weight:
bold; }
            </style>
        </head>
        <body>
            <h1>Nivel de Agua: <span id="nivel">_NIVEL_</span>%</h1>
            <div class="contenedor">
                <div class="barra-container-vertical"><div id="barra"
class="barra-vertical">_NIVEL_%</div></div>

```

```

<canvas id="gauge" width="300" height="150"></canvas>
</div>
<div id="notification"></div>
<script>
  let nivel = _NIVEL_;
  const canvas = document.getElementById("gauge");
  const ctx = canvas.getContext("2d");

  function drawGauge(value) {
    const centerX = canvas.width / 2;
    const centerY = canvas.height;
    const radius = 100;
    ctx.clearRect(0, 0, canvas.width, canvas.height);
    ctx.beginPath();
    ctx.arc(centerX, centerY, radius, Math.PI, 0);
    ctx.lineWidth = 20;
    ctx.strokeStyle = "#eee";
    ctx.stroke();
    const angle = Math.PI - (value / 100) * Math.PI;
    const needleX = centerX + radius * Math.cos(angle);
    const needleY = centerY - radius * Math.sin(angle);
    ctx.beginPath();
    ctx.moveTo(centerX, centerY);
    ctx.lineTo(needleX, needleY);
    ctx.lineWidth = 4;
    ctx.strokeStyle = value < 50 ? "#4CAF50" : value < 80 ? "#FF9800"
: "#F44336";
    ctx.stroke();
    ctx.font = "20px Arial";
    ctx.fillStyle = "#333";
    ctx.fillText(value + "%", centerX - 20, centerY - 20);
  }
  function actualizarUI(valor) {
    document.getElementById("nivel").textContent = valor;
    const barra = document.getElementById("barra");
    barra.style.height = valor + "%";
    barra.textContent = valor + "%";
    barra.style.backgroundColor = valor < 50 ? "#4CAF50" : valor <
80 ?

```

```

#FF9800" : "#F44336";
drawGauge(valor);
const noti = document.getElementById("notification");
if (valor >= 80) {
  noti.textContent = "🚨 ;Nivel Crítico! Posible desbordamiento.";
  noti.style.color = "#F44336";
} else if (valor >= 50) {
  noti.textContent = "⚠ Nivel Alto. Precaución.";
  noti.style.color = "#FF9800";
} else {
  noti.textContent = "✅ Nivel Normal.";
  noti.style.color = "#4CAF50";
}
}
actualizarUI(nivel);
setInterval(() => {
  fetch("/nivel")
    .then(response => response.text())
    .then(data => {
      nivel = parseInt(data);
      actualizarUI(nivel);
    });
}, 2000);
</script>
</body>
</html>
)rawliteral";
String color;
if (nivelAgua < 50) color = "#4CAF50";
else if (nivelAgua < 80) color = "#FF9800";
else color = "#F44336"
html.replace("_NIVEL_", String(nivelAgua));
html.replace("_COLOR_", color);

server.send(200, "text/html", html);
}

```

```
// --- Manejador para la actualización de datos ("/nivel") ---
void handleNivel() {
  server.send(200, "text/plain", String(nivelAgua));
}

// --- Función de Configuración Inicial (setup) ---
void setup() {
  Serial.begin(115200);

  pinMode(SENSOR_BAJO, INPUT_PULLUP);
  pinMode(SENSOR_MEDIO, INPUT_PULLUP);
  pinMode(SENSOR_ALTO, INPUT_PULLUP);
  pinMode(RELE_SPEAKER, OUTPUT);
  digitalWrite(RELE_SPEAKER, LOW);

  WiFi.softAP(ssid, password);
  delay(100);
  Serial.println("Punto de Acceso WiFi iniciado.");
  Serial.print("IP: ");
  Serial.println(WiFi.softAPIP());

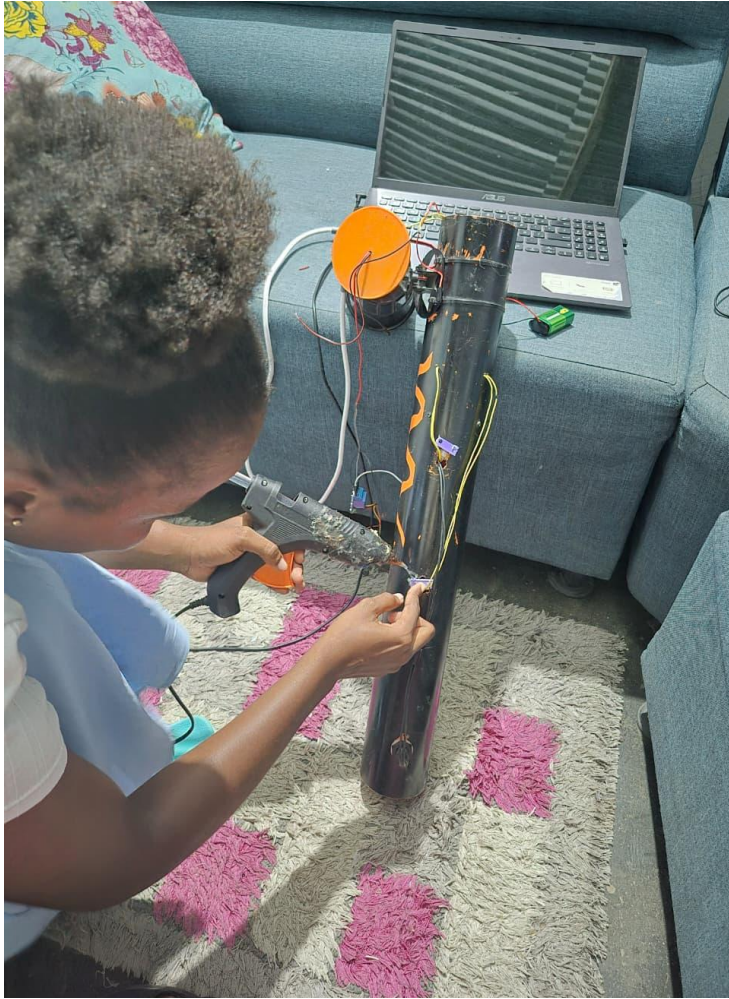
  server.on("/", handleRoot);
  server.on("/nivel", handleNivel);
  server.begin();
}

// --- Bucle Principal (loop) ---
void loop() {
  // Ahora el loop gestiona la alarma Y el servidor web.
  gestionNivelYAlarma();
  server.handleClient();

  // No necesitamos delay aquí, millis() se encarga del tiempo.
}
```

Figura 18

Montaje de los sensores de nivel de agua y conexiones eléctricas sobre el tubo pvc del prototipo de Sistema de Alerta Temprana.



Nota: Elaboración propia

Figura 19

Montaje de los sensores de nivel de agua y conexiones eléctricas sobre el tubo pvc del prototipo de Sistema de Alerta Temprana.



Nota: Elaboración propia

Figura 20

Montaje de los sensores de nivel de agua y conexiones eléctricas sobre el tubo pvc del prototipo de Sistema de Alerta Temprana.



Nota: Elaboración propia

Figura 21

Montaje de los sensores de nivel de agua y conexiones eléctricas sobre el tubo pvc del prototipo de Sistema de Alerta Temprana.



Nota: Elaboración propia

Figura 22

Prototipo listo para la prueba



Nota: Elaboración propia

Video mostrando la simulación de un aumento del nivel del agua y cómo el sistema responde.

Link del video: https://youtube.com/shorts/RHkEdZP_-2U

Conectividad del sistema y visualización de datos

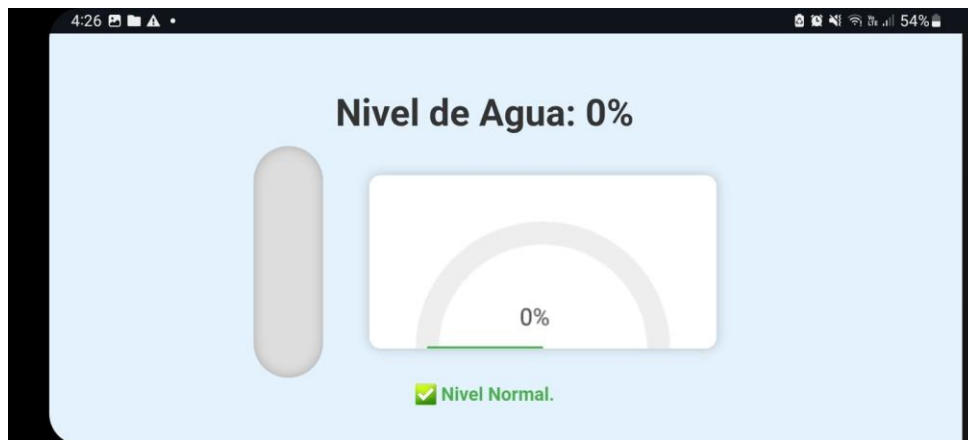
El prototipo desarrollado utilizó la conectividad WiFi integrada en el microcontrolador ESP32. A través de este módulo, los datos provenientes de los sensores de nivel de agua fueron procesados y transmitidos a una plataforma web alojada en el mismo dispositivo. Desde esta interfaz, accesible mediante un smartphone o un computador conectado a la red inalámbrica, se pudo visualizar en tiempo real el estado de los sensores y las alertas correspondientes.

Aunque la implementación con WiFi resultó suficiente para las pruebas en entorno controlado, su alcance es limitado. Por esta razón, para futuras versiones del SAT se sugiere incorporar tecnologías de mayor cobertura y robustez como LoRaWAN o GPRS/4G, que permitirían garantizar la transmisión de datos incluso en escenarios de emergencia y en comunidades alejadas del casco urbano.

Capturas de pantalla de la visualización en la plataforma.

Figura 23

Visualización en la plataforma propia del Sistema de Alerta Temprana (SAT), mostrando nivel normal el 0%.



Nota: Elaboración propia

Figura 24

Visualización en la plataforma propia del Sistema de Alerta Temprana (SAT), mostrando nivel normal el 10%.



Nota: Elaboración propia

Figura 25

Visualización en la plataforma propia del Sistema de Alerta Temprana (SAT), mostrando Alto 50%.



Nota: Elaboración propia

Figura 26

Visualización en la plataforma propia del Sistema de Alerta Temprana (SAT), mostrando nivel crítico del 100% y alerta roja.



Nota: Elaboración propia

Etapa 3 – Pruebas de funcionamiento

Durante esta etapa se realizaron pruebas en entorno controlado con el fin de verificar el correcto desempeño del prototipo del Sistema de Alerta Temprana (SAT). Las pruebas se enfocaron en tres aspectos principales: la precisión de la detección de los niveles de agua, la activación de la alarma sonora y la transmisión de los datos hacia la plataforma web.

En la simulación, se incrementó progresivamente el nivel del agua en el tubo de PVC hasta alcanzar los distintos sensores tipo flotador.

Primer nivel (10 %): El sistema registró la condición como normal, sin activar la alarma.

Segundo nivel (50 %): El sistema reconoció el estado intermedio, activando la señal de alerta para advertir a la comunidad sobre un posible aumento del agua del río.

Tercer nivel (100 %): El sensor superior fue alcanzado y, en consecuencia, el microcontrolador ESP32 activó la alarma continua mediante la sirena de 9V, señalando un estado crítico.

Video corto mostrando cómo se genera la alerta:

Link video: <https://youtube.com/shorts/m80F2sjExTU?feature=share>

Estas pruebas permitieron comprobar que el prototipo responde de manera adecuada a los cambios de nivel, generando las alertas esperadas y enviando los datos a la plataforma digital. De esta forma, se validó que el sistema puede anticiparse a un posible evento de inundación, cumpliendo con el propósito de brindar a la comunidad un margen de tiempo para reaccionar.

Etapa 4 – Evaluación y mejoras

La última etapa del proyecto estuvo orientada a la evaluación integral del prototipo y a la retroalimentación con la comunidad.

El video presentado <https://youtube.com/shorts/cR4HQmFnVH8> , evidencia la trayectoria realizada para llegar al lugar de aplicación del proyecto, así como el registro audiovisual de entrevistas y fotografías tomadas durante el proceso de interacción con la comunidad.

Se elabora un diagrama de flujo (Figura 26) que resume de manera gráfica el proceso de detección, transmisión y alerta del (SAT). Este esquema permite comprender con claridad la secuencia de operaciones desde la captura de datos por los sensores, hasta la visualización en la plataforma web.

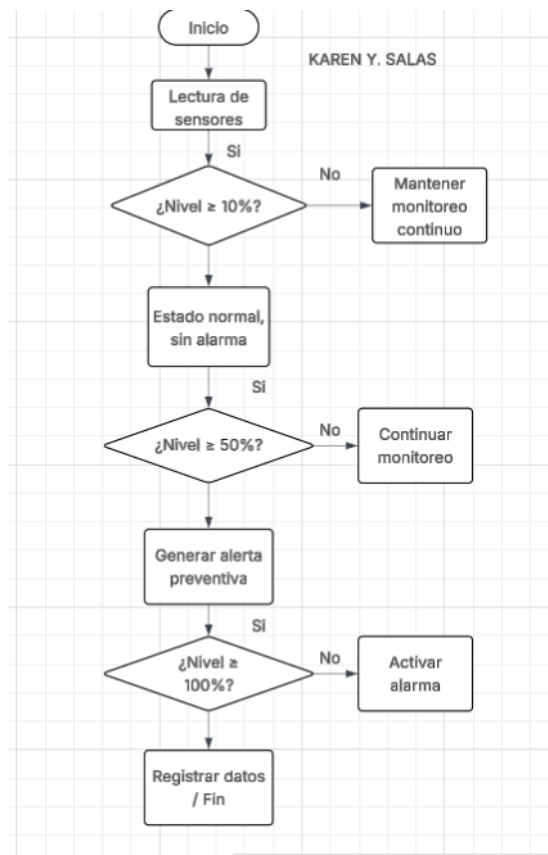
Adicionalmente, se lleva a cabo encuestas y entrevistas con miembros de la comunidad, con el fin de recoger percepciones acerca del prototipo y su aplicabilidad real en contextos de riesgo por inundaciones. En las fotografías se observa el proceso de interacción con los habitantes, quienes manifestaron la importancia de contar con este tipo de sistemas preventivos para la protección de sus familias y bienes.

Finalmente, de la evaluación técnica y social se desprenden varias oportunidades de mejora, entre ellas: ampliar el alcance de conectividad del sistema mediante tecnologías como LoRaWAN o 4G, implementar un almacenamiento histórico de datos en la nube, y robustecer físicamente el montaje para garantizar su durabilidad en campo.

Diagrama de flujo

Figura 27

Diagrama de flujo



Nota: Elaboración propia

Link: [https://lucid.app/lucidchart/5a37f725-c6a0-41a6-aae7-](https://lucid.app/lucidchart/5a37f725-c6a0-41a6-aae7-d9d1bda4438d/edit?invitationId=inv_2e4e3a88-2d62-4d56-a600-487f540e9fc7)

[d9d1bda4438d/edit?invitationId=inv_2e4e3a88-2d62-4d56-a600-487f540e9fc7](https://lucid.app/lucidchart/5a37f725-c6a0-41a6-aae7-d9d1bda4438d/edit?invitationId=inv_2e4e3a88-2d62-4d56-a600-487f540e9fc7)

Encuesta y entrevista a la comunidad

Para el desarrollo del proyecto se aplican entrevistas, encuestas y un proceso de muestreo dirigido a los habitantes del sector Bahía Solano, ubicado frente al casco urbano de Quibdó, en la ribera del río Atrato. El propósito es recopilar información sobre las inundaciones registradas en años anteriores, los daños que han generado y el nivel de percepción del riesgo en la comunidad.

Las encuestas permiten obtener datos relevantes directamente de los habitantes, quienes con frecuencia han resultado afectados por inundaciones que causan pérdidas materiales e incluso humanas. A través de estas preguntas se busca conocer la experiencia de la población, sus necesidades y su disposición hacia la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en el territorio.

Asimismo, se realiza un muestreo a un grupo de participantes para evaluar la aceptación del prototipo de SAT y comprobar su funcionamiento preliminar. Esta retroalimentación es fundamental para validar la pertinencia del sistema y orientar mejoras en su diseño e implementación.

Criterios tenidos en cuenta para la elaboración de las preguntas

Para la construcción del cuestionario aplicado a la comunidad se consideraron los siguientes criterios:

Pertinencia con los objetivos del proyecto

Las preguntas se diseñaron para obtener información clave sobre la percepción del riesgo por inundaciones, el nivel de conocimiento de la población y la aceptación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT).

Claridad y comprensión

Se empleó un lenguaje sencillo, evitando términos técnicos, con el fin de asegurar que todos los habitantes pudieran comprender y responder sin dificultad.

Relevancia contextual

Las preguntas se adaptaron a las características del entorno de Quibdó y a las experiencias históricas de la comunidad frente a las inundaciones.

Neutralidad y ausencia de sesgos

Se formuló cada pregunta de manera imparcial, evitando inducir respuestas y brindando opciones equilibradas para obtener información objetiva.

Coherencia y suficiencia

La encuesta se estructuró de forma ordenada y concisa, garantizando la recolección de datos esenciales sin generar cansancio en los participantes.

Preguntas de la encuesta y sus hipótesis

Pregunta 1. Edad

Hipótesis: Se anticipa que una parte significativa de la comunidad podría tener conocimientos limitados sobre los SAT, lo que justificaría acciones de sensibilización y educación.

Pregunta 2. Género

Hipótesis: La distribución por género no afecta significativamente la experiencia frente a inundaciones; sin embargo, permite caracterizar la muestra.

Pregunta 3. ¿Cuántos años lleva viviendo en el sector Bahía Solano (frente a Quibdó)?

Hipótesis: Quienes llevan más tiempo en la zona tienden a reconocer la necesidad de un sistema de alerta debido a la recurrencia de inundaciones.

Pregunta 4. ¿Ha sido usted o su familia afectada por alguna inundación en los últimos 10 años?

Hipótesis: Es probable que la mayoría haya resultado afectada, reforzando la importancia de un SAT comunitario.

Pregunta 5. En caso de respuesta afirmativa, ¿qué tipo de pérdidas tuvo?

Hipótesis: Se espera que la mayoría haya sufrido pérdidas materiales, lo que incrementa la percepción del riesgo.

Pregunta 6. ¿Con qué frecuencia ocurren inundaciones en su zona?

Hipótesis: Se estima que los habitantes reporten inundaciones frecuentes, indicando un nivel de exposición alto.

Pregunta 7. ¿Cuál cree usted que es la principal causa de las inundaciones en esta zona?

Hipótesis: La comunidad probablemente señalará factores como incremento del caudal del río, lluvias extremas o deficiencias en el drenaje.

Pregunta 8. ¿Qué problemas principales han generado las inundaciones en la comunidad?

Hipótesis: Se espera que las afectaciones más comunes sean daños materiales y pérdida de enseres.

Pregunta 9. ¿Ha escuchado hablar del Sistema de Alerta Temprana (SAT) para inundaciones?

Hipótesis: Es posible que muchos no tengan claridad sobre qué es un SAT, evidenciando una necesidad educativa.

Pregunta 10. ¿Cree que el SAT puede ayudar a prevenir pérdidas en caso de futuras inundaciones?

Hipótesis: Se anticipa una respuesta mayoritariamente positiva.

Pregunta 11. ¿Qué tan útil considera que sería contar con alarmas o señales anticipadas antes de una inundación?

Hipótesis: La mayoría considerará las alarmas extremadamente útiles.

Pregunta 12. ¿Qué sugerencias tiene para mejorar el sistema de alerta temprana?

Hipótesis: Se prevén sugerencias relacionadas con mantenimiento, señal sonora o cobertura del sistema.

Pregunta 13. ¿Estaría dispuesto(a) a participar en actividades comunitarias para mejorar la prevención de inundaciones?

Hipótesis: Se espera una alta disposición a participar, dado el impacto directo en la comunidad.

Caracterización de los participantes

Número total de participantes:

44 personas

Tabla 1
Distribución por rangos de edad

Rango de edad	Cantidad
15-17	5
18-30	20
31-45	10
46-60	6
Más de 60	3

Nota: Tabla de distribución de rangos de edades de las personas que participaron en la encuesta.

Rango más frecuente: 18-30 años

Rango menos frecuente: Más de 60 años

Edad promedio (estimada): 32,4 años

Desviación estándar (estimada): 12,1 años

Figura 28

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana.



Nota: Elaboración propia

Video breve donde se muestra la participación comunitaria en el proceso y como llego al lugar de instalación.

Link del video: <https://youtube.com/shorts/cR4HQmFnVH8>

Figura 29

Entrevista realizada a habitante del barrio Bahía Solano sobre el Sistema de Alerta Temprana.



Nota: Elaboración propia

Esquema de Solución

Análisis de componentes para la implementación del Sistema de Alerta Temprana “SAT” de inundaciones. Para la realización de este proyecto se empezó a investigar cuál sería el sensor adecuado para la implementación del mismo, por lo que se decidió utilizar el sensor de nivel tipo flotante interruptor, ya que este es de tipo hermético y económico. En la siguiente tabla se muestran las características de los sensores comparados.

Análisis de Componentes, Materiales y Software del Sistema “SAT”

Tabla 2

Análisis comparativo de sensores de agua

Tecnología	Modelo/Referencia	Uso	Descripción	Características técnicas
Sensor de agua lluvia / humedad / nivel de líquidos	Compatible con Arduino, AVR, PIC	Para medir el nivel de agua	Sensor de medición de agua exclusivo para Arduino.	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje: DC 3-5V • Corriente: < 20 mA • Tipo: Analógico • Área de detección: 40 mm x 16 mm • Producción: FR4 de doble cara HASL • Temperatura: 10 °C – 30 °C • Humedad: 10 % – 90 % sin condensación • Peso: 3.5 g • Tamaño: 62 mm x 20 mm x 8 mm (Joom, s.f.)
Sensor de agua vertical	Flotador interruptor	Para medir el nivel de agua	Sensor universal hermético tipo boya.	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de boya con interruptor magnético sellado • Producto: 4510p • Longitud del cable: 30.5 cm

Sensor de humedad de suelo	Compatible con Arduino	Para medir humedad del suelo	Sensor de humedad con módulo de salida digital y analógica.	<ul style="list-style-type: none"> • Carga máxima: 10 W • Tensión máx: 250 V DC / mín: 100 V DC • Corriente máx: 0.5 A (conmutación) / 1.0 A (carga) • Resistencia de contacto: 0.4 Ω • Temperatura: -20 °C a +80 °C • Peso: 9.6 g • No contiene mercurio. • Voltaje: 3.3 V – 5 V • Salida digital y analógica • Sensibilidad ajustable con potenciómetro • Comparador: chip LM393 • PCB: 3.2 cm x 1.4 cm • Instalación: con agujero de perno • Interfaz: VCC (3.3-5 V), GND, salida de señal (Herrero, 2027).
Sensor de nivel de agua	YF-S201	Medir el nivel de agua en tuberías pequeñas	Sensor de efecto Hall que genera pulsos proporcionales al flujo de agua.	<ul style="list-style-type: none"> • Rango: 1 – 30 L/min • Voltaje: 5 – 18 V DC • Salida: digital por pulsos • Material: plástico de grado alimenticio • Temperatura: -25 °C a +80 °C.
Sensor de velocidad	FS300A o similar	Medir la velocidad	Sensor tipo turbina con salida de pulsos	<ul style="list-style-type: none"> • Rango: hasta 60 L/min (dependiendo del

de flujo (turbina)	del flujo de agua	proporcional a la velocidad del líquido.	modelo) <ul style="list-style-type: none"> • Voltaje: 5 – 24 V DC • Salida: frecuencia proporcional al flujo • Material: latón o acero inoxidable • Temperatura: -20 °C a +100 °C.
---------------------------	-------------------	--	---

Nota: Análisis comparativo de sensores de agua.




Análisis: De los sensores listados en la tabla, el seleccionado e implementado en el prototipo fue el sensor de nivel de agua tipo flotador, debido a su bajo costo, facilidad de instalación y resistencia en ambientes húmedos.

Tabla 3
Comparación de precios

Tipo de sensor	Precio estimado
Sensor de agua lluvia / nivel de líquidos (analógico)	\$14.000- \$18.000
Sensor de nivel tipo flotador (vertical)	\$18.000- \$20.000
Sensor de humedad de suelo	\$26.000- \$32.000
Sensor de nivel de agua	\$18.000- \$35.000
Sensor de velocidad de flujo	\$40.000- \$90.000

Nota: comparación precio de los sensores.

Tabla 4
Análisis comparativo de arduino.

Tecnología	Modelo	Uso	Descripción
Arduino 	Uno	Diseñar circuitos eléctricos (cerebro)	Microcontrolador fácil de programar, bajo costo, pero con limitaciones en conectividad (no incluye WiFi/Bluetooth).
Raspberry Pi 	Raspberry Pi	Miniordenador para proyectos avanzados	Muy potente, con sistema operativo propio, pero requiere más energía y mayor costo.
Espressif 	ESP32	Microcontrolador avanzado con conectividad	Doble núcleo, bajo consumo, incluye WiFi y Bluetooth integrados, ideal para proyectos IoT y monitoreo en tiempo real.

Nota: Comparación de las tarjetas para el proyecto.

Análisis: En la Tabla 2 de comparaciones de tarjetas de desarrollo o “cerebros” del sistema, se concluyó que el **ESP32** era la mejor opción, ya que ofrece conectividad inalámbrica integrada (WiFi y Bluetooth), bajo consumo energético y capacidad de procesamiento superior al Arduino Uno, sin llegar al costo y complejidad de una Raspberry Pi. Esto lo hace ideal para integrar sensores y módulos de comunicación GSM en el prototipo del sistema de alerta temprana.

Análisis: En este proyecto no se emplearon módulos GSM, ya que el ESP32 incorpora conectividad WiFi, suficiente para la transmisión de datos requerida. La Tabla 3 se presenta únicamente con fines comparativos y de documentación.

Nota: En el desarrollo del proyecto se optó por utilizar el microcontrolador ESP32, debido a que integra de manera nativa conectividad WiFi y Bluetooth, lo cual elimina la necesidad de un módulo adicional para la transmisión de datos. Esta decisión responde a factores de eficiencia y viabilidad, ya que el ESP32 permite la comunicación en tiempo real con plataformas en la nube, optimiza el consumo energético y simplifica el diseño del prototipo, reduciendo costos y complejidad en el ensamblaje.

Componentes del Proyecto

Tabla 5

Componentes del proyecto del laboratorio.

CANTIDAD	EQUIPO	MODELO
1	Sirena	Sirena 9v (alimentación)
1	Microcontrolador	ESP32
3	Sensor de nivel de agua	Tipo flotador
15	Jumper	Macho-Macho / Macho-hembra
1	Tubo PVC	hidráulico
1	Relee	1 Canal
1	Conector	Cable Conector para Batería 9V
1	Pila de 9 V	Gp Greencell

Nota: Componentes del proyecto del laboratorio.

Instalación y Configuración del Sistema “SAT”

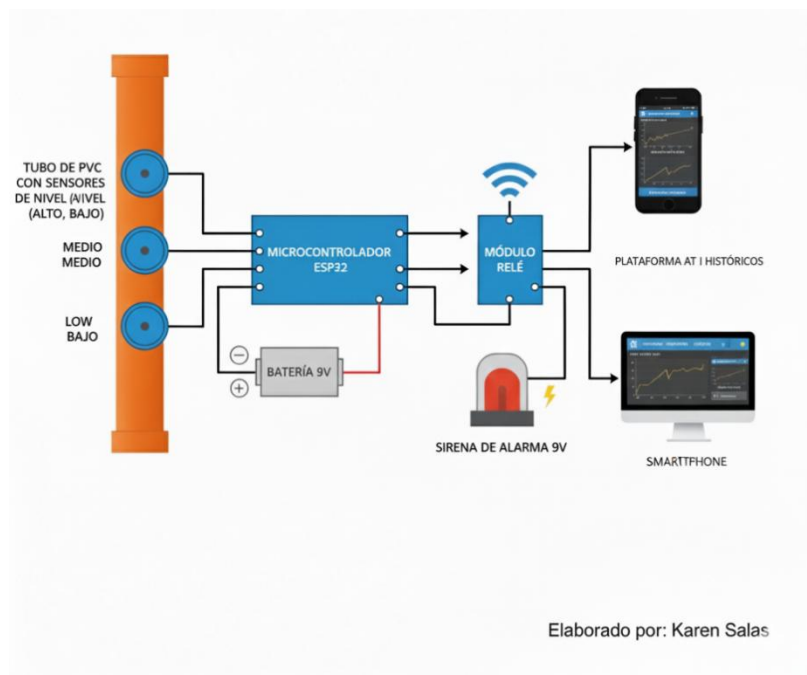
La instalación y configuración del sistema de alerta temprana (SAT) se realizó en un entorno controlado, con el fin de simular el comportamiento del río y validar el funcionamiento del prototipo antes de su futura implementación en campo.

El microcontrolador ESP32 fue el encargado de gestionar los sensores de nivel de agua tipo flotador y de activar la sirena de alerta. Para la programación se empleó el Arduino IDE, configurando los pines de entrada y salida necesarios para la lógica de detección y alarma.

Proceso de instalación y configuración.

Figura 30

Diagrama de bloques del Sistema de Alerta Temprana (SAT), mostrando el tubo de PVC con sensores, el microcontrolador ESP32, la batería de 9V, el relé con la sirena y la conexión WiFi hacia un smartphone para visualización del nivel de agua.



Nota: Elaboración propia

Montaje de los sensores:

Se utilizó un tubo pvc como estructura para instalar los sensores flotadores.

Los sensores fueron ubicados en distintos niveles de altura dentro del tubo, representando los estados de riesgo: bajo, medio y alto.

Conexiones al ESP32:

Cada sensor flotador fue conectado directamente al ESP32 mediante cables jumper, utilizando pines GPIO configurados como entradas digitales.

La alimentación de los sensores se realizó con la salida de 3.3V y GND del ESP32.

Instalación de la sirena de 9V:

La sirena fue conectada al ESP32 mediante un módulo de relé, lo que permitió activar la alarma cuando el nivel de agua alcanzó la condición crítica.

Se verificó la correcta alimentación de la sirena y la respuesta inmediata a la señal enviada desde el microcontrolador.

Pruebas de funcionamiento:

Para evaluar el desempeño del prototipo del Sistema de Alerta Temprana (SAT), se realizó una prueba de simulación en condiciones controladas utilizando un tanque plástico de 200 litros. El objetivo de la prueba fue verificar el comportamiento del ESP32 y la activación de la alarma ante el ascenso del nivel de agua detectado por los sensores flotadores.

Ubicación y distancias de los sensores

Los sensores de nivel tipo flotador se instalaron dentro de un tubo de PVC de 50 cm de largo. Para simular niveles bajo, medio y alto, se definieron tres puntos de referencia ubicados a:

10 cm → Nivel bajo (10%): Representa una condición normal sin riesgo.

25 cm → Nivel medio (50%): Simula un nivel de alerta preventiva.

40 cm → Nivel alto (100%): Corresponde a un nivel crítico que activa la alarma sonora.

Estas distancias fueron escogidas de manera proporcional a la longitud del tubo, permitiendo recrear un ascenso progresivo del agua y facilitando la validación del funcionamiento del sistema. No representan la hidrometría real del río Atrato; su propósito fue únicamente la simulación en un entorno controlado.

Proceso de simulación

Se sumergió manualmente el tubo PVC con los sensores dentro del tanque de 200 litros, incrementando gradualmente la profundidad.

A medida que cada sensor flotador quedaba bajo el agua, cambiaba de estado y el ESP32 interpretaba la señal correspondiente según la lógica programada.

Se comprobó la lectura independiente de cada sensor, aunque en esta versión del prototipo solo el nivel alto (100%) activa la alarma sonora.

Al sumergir el tubo hasta alcanzar el sensor superior, la sirena de 9 V se activó correctamente, confirmando el funcionamiento del sistema ante una condición crítica.

Esta prueba permitió validar la respuesta del prototipo en un escenario equivalente al ascenso real del nivel del agua, garantizando que cualquier persona pueda replicar exactamente la simulación siguiendo estos parámetros.

Resultados

Encuesta:

Figura 31

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana.



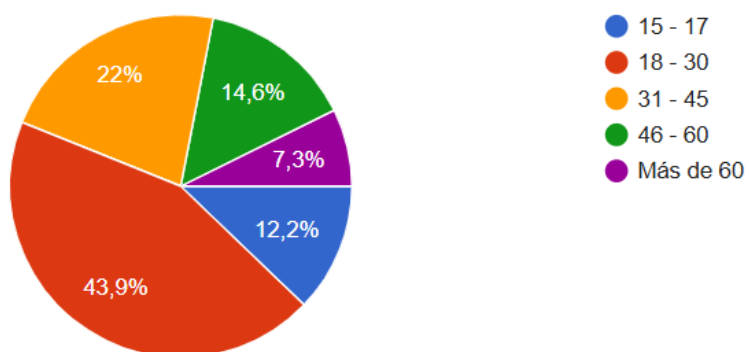
Nota: Elaboración propia

Figura 32

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: la mayoría de los encuestados tienen entre 18 y 30 años (43,9%).

Edad

41 respuestas



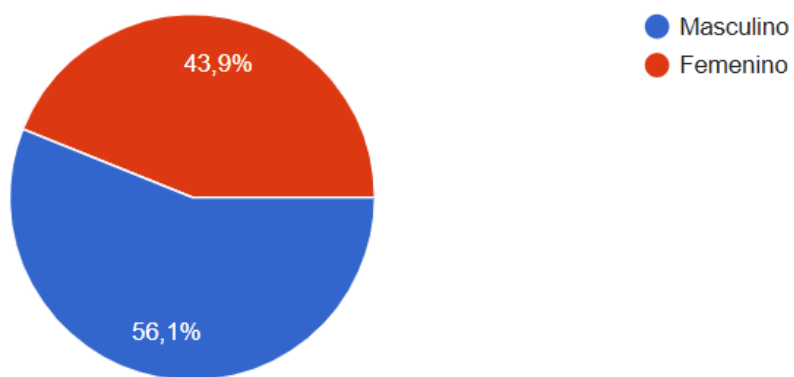
Nota: Elaboración propia

Figura 33

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: donde la mayoría son mujeres con un 56,1%.

Género

41 respuestas



Nota: Elaboración propia

Figura 34

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde la mayoría llevan viviendo más de 10 años con un 48,8%.

¿Cuántos años lleva viviendo en el sector Bahía Solano (frente a Quibdó)?

41 respuestas

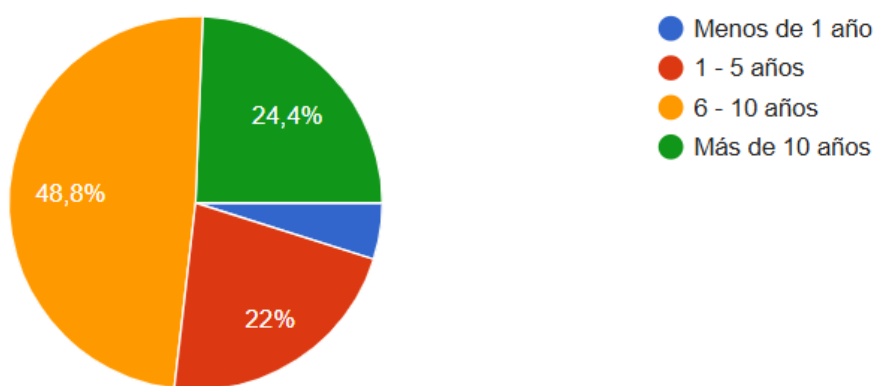
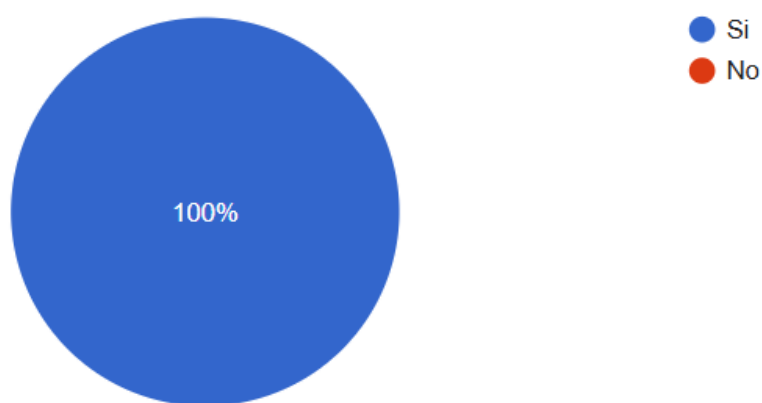


Figura 35

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde el 100% han sido afectador por las inundaciones.

¿Ha sido usted o su familia afectada por alguna inundación en los últimos 10 años?

41 respuestas



Nota: Elaboración propia

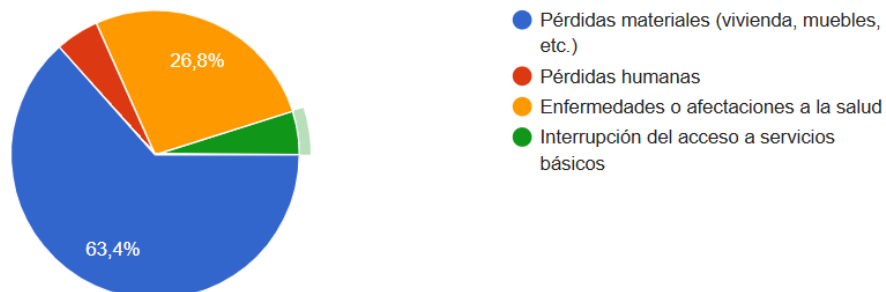
Figura 36

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde la mayoría de pérdidas con Materiales con un 63,4%.

En caso de respuesta afirmativa, ¿Qué tipo de pérdidas tuvo?

 Copiar gráfico

41 respuestas



Nota: Elaboración propia

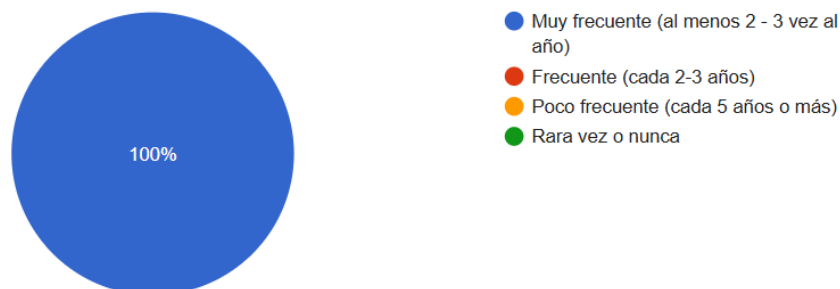
Figura 37

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde el 100% respondió que las inundaciones ocurren muy frecuentes.

¿Con qué frecuencia ocurren inundaciones en su zona?

 Copiar gráfico

41 respuestas



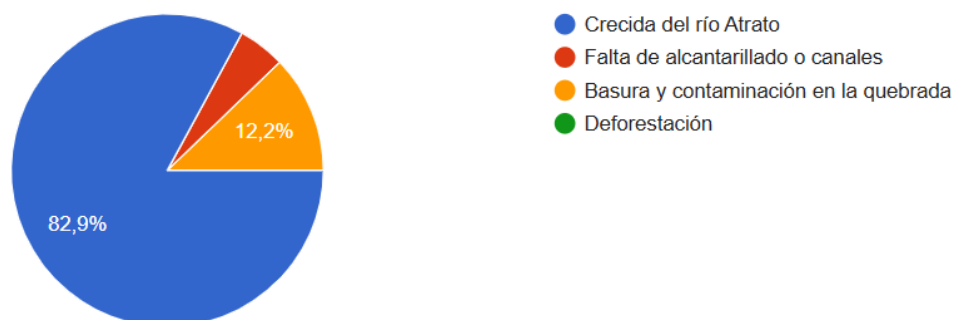
Nota: Elaboración propia

Figura 38

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde el 82,9% respondió que la causa principal es la creciente del río Atrato.

¿Cuál cree usted que es la principal causa de las inundaciones en esta zona? [Copiar gráfico](#)

41 respuestas



Nota: Elaboración propia

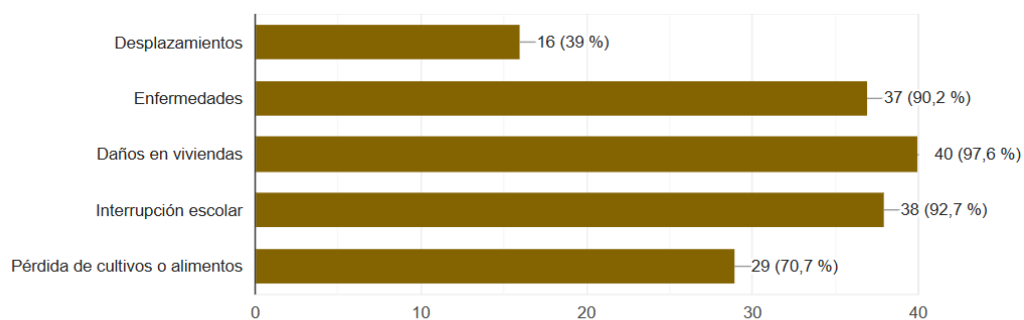
Figura 39

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde la mayoría dicen que ha sido daño de vivienda con un 97,6%.

¿Qué problemas principales han generado las inundaciones en la comunidad? (Puede seleccionar varias)

[Copiar gráfico](#)

41 respuestas



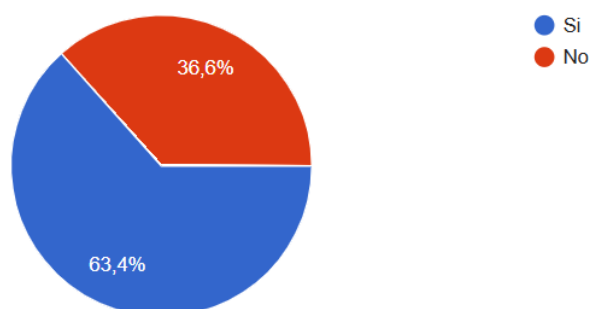
Nota: Elaboración propia

Figura 40

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: el 63,4% respondió que si han escuchado hablar de un sistema de alerta temprana.

¿Ha escuchado hablar del Sistema de Alerta Temprana (SAT) para inundaciones?

41 respuestas



Nota: Elaboración propia

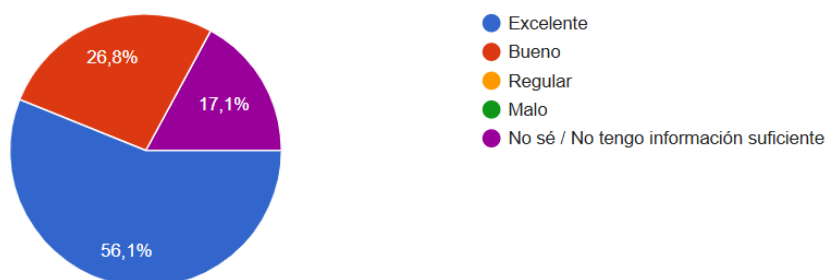
Figura 41

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde el 56,1 responde que les parece excelente el funcionamiento de mi sistema.

En caso afirmativo, ¿Cómo calificaría su funcionamiento hasta ahora?

Copiar gráfico

41 respuestas



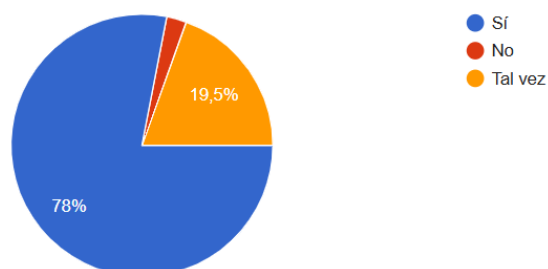
Nota: Elaboración propia

Figura 42

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde 78% dice que el STA puede ayudar a prevenir pérdidas.

¿Cree que el SAT puede ayudar a prevenir pérdidas en caso de futuras inundaciones?

41 respuestas



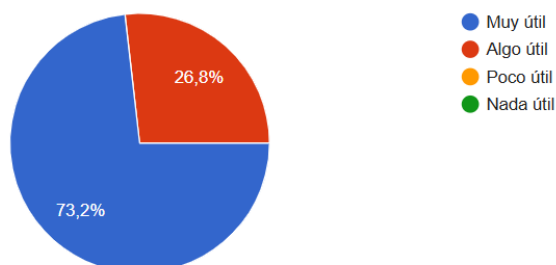
Nota: Elaboración propia

Figura 43

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde el 73,2% considera útil contar con alarmas y señales de anticipación.

¿Qué tan útil considera que sería contar con alarmas o señales anticipadas antes de una inundación?

41 respuestas



Nota: Elaboración propia

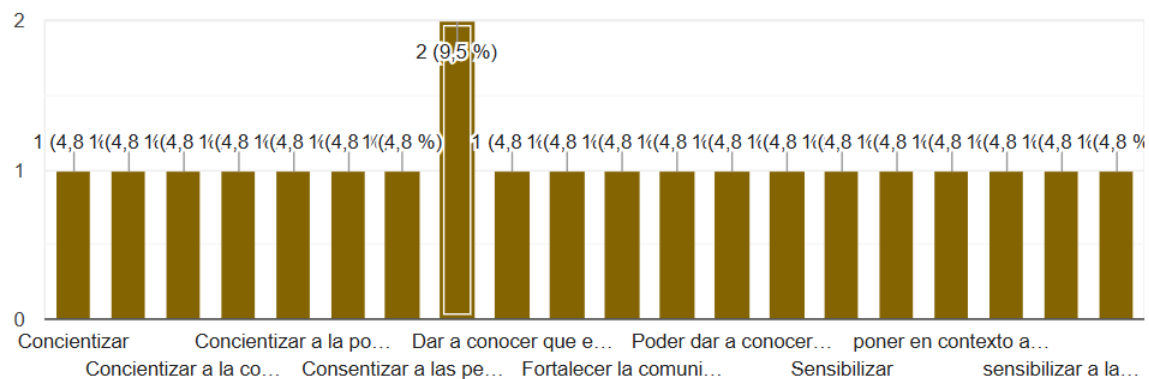
Figura 44

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde la mayoría sugiere que se dé a conocer más a toda la comunidad.

¿Qué sugerencias tiene para mejorar el sistema de alerta temprana?

 Copiar gráfico

21 respuestas



Nota: Elaboración propia

Figura 45

Resultados de respuesta sobre las sugerencias.

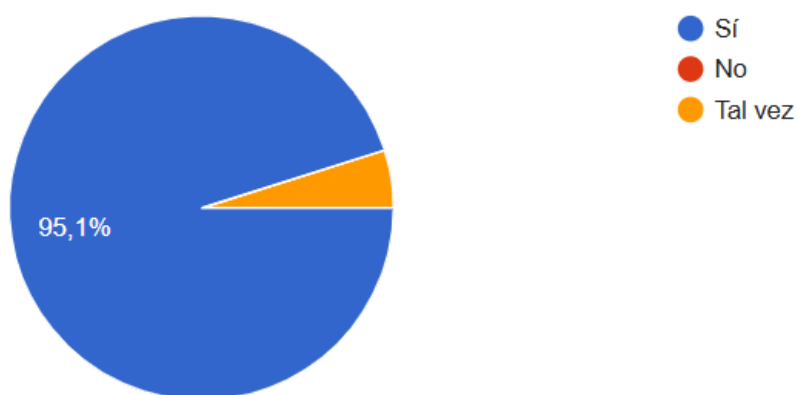
¿Qué sugerencias tiene para mejorar el sistema?	
Concientizar a la población y monitoreo constante	1
Fortalecer la comunicación comunitaria antes que	1
Consentizar a las personas de la comunidad	1
Poder dar a conocer a la comunidad que es un ST	1
Consentizar a la comunidad para que sepa que es	1
explicar que es y de que se trata	1
sensibilizar a la comunidad	1
Dar a conocer a la comunidad	1
sensibilizar a las personas	1
poner en contexto a los mayores de edad	1
Enseñar el uso	1
sensibilizar a la comunidad	1
Concientizar a la población de bahía	1
Concientizar a la comunidad sobre que es un STA	1
Concientizar	1
Sensibilizar	1
Se den charlas para que se sepa que es y que hac	1
Dar a conocer a la comunidad	1
Nada por el momento	1
Dar a conocer que es y de que se trata	1
El relleno	1

Figura 46

Resultados de la encuesta sobre el Sistema de Alerta Temprana: Donde la mayoría con un 95,1% estaría dispuesta a participar en actividades para mejorar la prevención.

¿Estaría dispuesto(a) a participar en actividades comunitarias para mejorar la prevención de inundaciones?

41 respuestas



Nota: Elaboración propia

Lecturas simuladas del nivel de agua

En esta simulación de lecturas cada segundo, el nivel de agua pasa progresivamente de una condición normal (10%) a un nivel medio (50%), y finalmente a un nivel crítico (100%).

Tabla 6

Lecturas simuladas del nivel de agua.

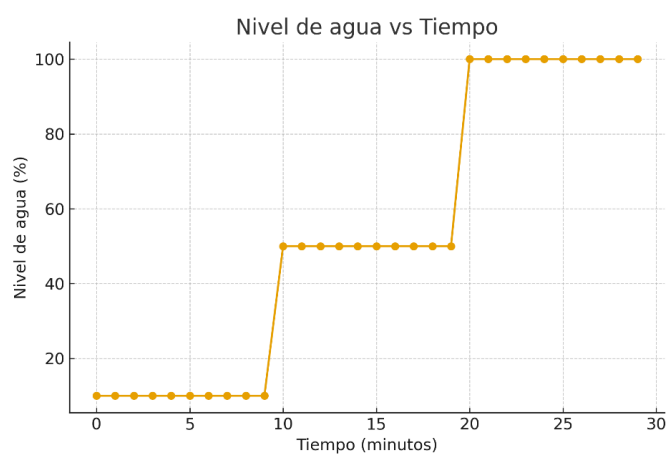
Tiempo (s)	Nivel de agua (%)	Estado del sistema
0–19	10 %	Condición normal
20–39	50 %	Condición de precaución
40–59	100 %	Alarma continua activa

Nota: lectura de simulación.

La gráfica representa el comportamiento del nivel de agua en un intervalo de 1 minuto, donde se evidencia la progresión de 10% a 100%.

Figura 47

Evolución del nivel de agua (simulación).



Nota: Elaboración propia

Los resultados muestran que el sistema responde de forma diferenciada según el nivel de agua. En condiciones normales (10%) no hay alarma; en el nivel medio (50%) se activa una alerta intermitente preventiva; y en el nivel crítico (100%) se mantiene una alarma continua, garantizando que la comunidad reciba una advertencia clara ante un riesgo inminente.

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que el prototipo del Sistema de Alerta Temprana (SAT) cumple con la función de monitorear los niveles de agua en tiempo real y de activar alarmas diferenciales según el grado de riesgo. Esto se relaciona directamente con el objetivo principal del proyecto, orientado a la prevención de inundaciones en el municipio de Quibdó, específicamente en la comunidad de Bahía Solano.

En cuanto a las pruebas, estas se realizaron inicialmente en un entorno controlado (casa), con el fin de validar el funcionamiento del prototipo antes de su instalación en campo. La decisión se debió a que para un montaje prolongado en la zona de Bahía es necesario tramitar permisos con ciertos grupos locales que ejercen control territorial, lo cual limitó la posibilidad de dejar el dispositivo instalado por mayor tiempo. A pesar de esta restricción, el prototipo fue probado y presentado en funcionamiento frente a un grupo de personas, lo que permitió validar su operatividad y recoger observaciones directas de la comunidad.

Al analizar las simulaciones, se observa que en niveles bajos (10%) el sistema permanece en estado normal, evitando falsas alarmas y garantizando estabilidad en la operación. En niveles medios (50%), el sistema emite un mensaje de precaución lo cual representa un mecanismo de advertencia temprana para que la comunidad tome medidas de precaución antes de que ocurra una emergencia. Finalmente, en niveles críticos (100%) la alarma se activa de manera continua, asegurando una notificación clara y oportuna del peligro inminente.

Estos resultados demuestran que el prototipo es capaz de diferenciar entre estados de normalidad, prevención y emergencia, lo que responde a la pregunta problemática planteada: ¿es posible diseñar un sistema de bajo costo que permita alertar a la población frente al riesgo de inundaciones en tiempo real? La evidencia sugiere que sí, dado que el modelo implementado logra cumplir con los parámetros de monitoreo y alerta establecidos.

Presupuesto

Tabla 7

Presupuesto para la elaborar el prototipo.

Cantidad	Equipo/Material	Modelo/Descripción	Costos unitario	Subtotal
1	Sirena	Sirena (alimentación)	\$35.000	\$35.000
1	Microcontrolador	ESP32	\$55.000	\$55.000
4	Sensor de nivel de agua	Tipo flotador	\$20.000	\$80.000
20	Jumper	Macho-Macho, Macho-Hembra	\$800	\$16.000
1	Tubo PVC	hidráulico	\$20.000	\$20.000
1	Relé	1 canal-activación sirena	\$15.000	\$15.000
1	Conector eléctrico	Universal	\$23.000	\$23.000
2	Pila	9v	\$6.000	\$12.000
1	Cable USB	Adaptador USB	\$50.000	\$50.000
1	Extensión eléctrica	6m – 2 tomas	\$100.000	\$100.000
N/A	Cinta aislante y accesorios	N/A	\$20.000	\$20.000
N/A	Transporte (Moto-bote ida y vuelta)	6	\$12.000	\$72.000
N/A	Consumo energético	Energía para pruebas (1 mes estimado)	\$35.000	\$35.000
N/A	Otros gastos	Material adicional imprevisto	\$20.000	\$20.000
2	Otros gastos	Matricula continuidad académica	\$9.000	\$18.000
Total				\$571.000

Nota: Presupuesto

Discusión

Al finalizar las pruebas del prototipo del Sistema de Alerta Temprana (SAT), fue posible comprobar que la solución desarrollada responde adecuadamente a los objetivos planteados: detectar niveles de agua y generar una alerta clara para la comunidad. Ver el funcionamiento real de los sensores y la reacción del sistema frente al aumento del agua permitió confirmar que, incluso con recursos limitados, es posible construir una herramienta útil y funcional.

Al comparar estos resultados con otros estudios, encontramos varios puntos en común. Por ejemplo, Ocampo Toro et al. (2017) señalan que los sistemas de bajo costo pueden ser muy efectivos en zonas rurales cuando se enfocan en la sencillez y el fácil mantenimiento. Esto coincide plenamente con nuestro prototipo, que emplea sensores de flotador justamente por su durabilidad, bajo costo y facilidad de reemplazo.

Del mismo modo, lo planteado por Campo Erazo y Zafra Vallejo (2013) sobre la importancia de las tecnologías inalámbricas sencillas refuerza que la elección de un ESP32 fue acertada, ya que permitió una comunicación estable y una integración adecuada de los sensores y la alarma.

En un contexto más amplio, Acosta-Coll et al. (2018) destacan que los SAT deben combinar monitoreo y análisis para fortalecer la prevención. Aunque nuestro prototipo se centra en la medición directa del nivel del agua, estos resultados abren la puerta a futuras mejoras que integren modelos predictivos o análisis de comportamiento del río, especialmente en la cuenca del Atrato.

También se identifican coincidencias con proyectos nacionales, como el desarrollado por la Universidad de la Costa (2016), que demuestran que las redes de sensores pueden adaptarse a contextos tanto urbanos como rurales. Esto respalda la idea de que el prototipo puede replicarse en comunidades apartadas del Chocó que enfrentan riesgos similares.

Otro aspecto importante es el enfoque comunitario. Según Libelium y la UNGRD (2015), los SAT exitosos fortalecen la participación y preparación de las comunidades. Esto se evidencia en este proyecto, donde la comunidad mostró interés y disposición frente al dispositivo, lo que confirma que la tecnología, cuando está pensada para las personas, puede generar confianza y sentido de protección.

La literatura más reciente, como la de Lias y Kumaran (2024), también respalda el uso de la ESP32 en proyectos ambientales por su versatilidad y bajo consumo. Los resultados de las pruebas demostraron que este microcontrolador es suficiente para un SAT básico y escalable.

En términos de adaptación territorial, estudios como los de la FAO (2019) y González et al. (2022) recalcan que los sistemas deben ajustarse a las condiciones socioambientales del lugar. Esto es especialmente relevante para Bahía Solano, donde los patrones de lluvia, la vulnerabilidad y la accesibilidad hacen necesario un sistema práctico, resistente y fácil de mantener.

Finalmente, la visión de Rodríguez y Pérez (2021) sobre el monitoreo en tiempo real como herramienta transformadora coincide con el potencial que mostró el prototipo, especialmente en un municipio como Quibdó, donde la gestión del riesgo requiere modernización y tecnologías accesibles. Esto también se relaciona con las directrices del Ministerio de Ambiente (2020) y de la norma ISO 14001:2015, que invitan a fortalecer la prevención y la reducción del riesgo a través de herramientas tecnológicas.

En conjunto, los resultados y la comparación con la literatura muestran que el prototipo es técnicamente viable y socialmente pertinente. Aún quedan desafíos, como evaluar su comportamiento en condiciones reales del río Atrato y asegurar su resistencia a la humedad y variaciones climáticas, pero el avance alcanzado es significativo y sienta una base sólida para futuras mejoras y ampliaciones del sistema.

Impactos

La implementación del Sistema de Alerta Temprana (SAT) presenta una serie de impactos positivos que se reflejan en diferentes dimensiones de la vida comunitaria.

Impacto social

El proyecto contribuye directamente a la seguridad y bienestar de la comunidad, ya que permite anticiparse a posibles desbordamientos del río Atrato. La alerta oportuna brinda a las familias un margen de tiempo para proteger sus vidas, bienes y documentos esenciales. Además, fomenta la participación comunitaria en procesos de prevención y fortalece la cultura del autocuidado y la organización social frente a emergencias.

De igual manera, el prototipo tiene el potencial de escalar hacia un sistema comunitario de mayor alcance, capaz de beneficiar a diferentes barrios o poblaciones ribereñas del municipio de Quibdó. Para lograr este crecimiento sería fundamental contar con el apoyo de instituciones estatales, entidades de gestión del riesgo y organizaciones no gubernamentales (ONG), que podrían contribuir con recursos técnicos y financieros. Así, el SAT podría convertirse en una herramienta de prevención más sólida y sostenible, con un impacto social más amplio en la región.

Impacto económico

La posibilidad de contar con un sistema de alerta temprana reduce significativamente las pérdidas materiales y económicas derivadas de inundaciones. Con la activación preventiva, la comunidad puede resguardar sus pertenencias, animales domésticos, cultivos y herramientas de trabajo. A mediano y largo plazo, esto se traduce en un ahorro para las familias y en una disminución de los costos que las instituciones deben asumir en procesos de atención y recuperación tras desastres naturales.

Impacto ambiental

El SAT podría tener un impacto ambiental positivo, dado que, al evitar pérdidas masivas en bienes y cultivos, se reduce la presión sobre los recursos naturales que deberían utilizarse nuevamente para reconstrucción o recuperación de medios de vida. Asimismo, al estar diseñado con componentes de bajo consumo energético y de fácil mantenimiento, el prototipo genera una huella ambiental mínima. De esta manera, se convierte en una herramienta tecnológica sostenible, alineada con el cuidado del entorno.

Los impactos generados por el proyecto evidencian que no solo se trata de una solución tecnológica, sino también de una iniciativa con un fuerte alcance social, económico y ambiental, capaz de mejorar las condiciones de vida y resiliencia de las comunidades vulnerables de Quibdó frente a los riesgos de inundación.

Conclusiones

El desarrollo de este proyecto permitió demostrar que es posible crear un prototipo de Sistema de Alerta Temprana (SAT) con tecnologías de bajo costo, capaz de monitorear en tiempo real variables hidrológicas relacionadas con el comportamiento del río Atrato. Aunque las pruebas se realizaron en un entorno controlado, los resultados evidenciaron que el sistema tiene potencial para anticipar situaciones de riesgo por inundación y convertirse en una herramienta de apoyo a la comunidad de Quibdó en la toma de decisiones preventivas.

El prototipo diseñado mostró que, con creatividad, innovación y uso responsable de los recursos disponibles, se pueden generar soluciones tecnológicas adaptadas a las condiciones locales, sin necesidad de grandes inversiones. Esto abre la posibilidad de implementar iniciativas similares en territorios que, como Quibdó, requieren alternativas accesibles y efectivas para enfrentar problemáticas ambientales y sociales.

Si bien existen retos asociados a factores externos, como la seguridad en la zona y la sostenibilidad a largo plazo del sistema, el proyecto permitió sentar bases sólidas para futuras mejoras y para su escalamiento hacia un piloto comunitario. También se evidenció la importancia de involucrar a la comunidad desde el inicio, pues su apropiación y cuidado del sistema serán claves para garantizar su éxito en campo.

Este trabajo no solo cumplió con la meta de diseñar un prototipo funcional, sino que también abrió un camino esperanzador hacia el uso de la tecnología como herramienta de prevención y protección de la vida, mostrando que es posible unir ciencia, innovación y compromiso social en beneficio de quienes más lo necesitan.

Mejoras futuras

El prototipo desarrollado constituye una primera aproximación experimental al diseño de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para inundaciones. Sin embargo, durante su ejecución se identificaron aspectos que no fueron implementados y que pueden considerarse como oportunidades de mejora para versiones posteriores del sistema:

Medición de la fuerza de empuje del agua: aunque inicialmente se planteó como parte de las variables hidrológicas a monitorear, en el prototipo solo se implementó la detección de niveles. Una mejora futura consistiría en incluir sensores que permitan estimar la presión o fuerza del caudal, con el fin de enriquecer la información disponible para la comunidad.

Instalación fija y segura del prototipo: la versión actual fue diseñada para pruebas en entorno controlado. Una implementación en campo requerirá instalar el sistema de forma permanente, asegurándolo con estructuras de concreto o soldadura, y protegiendo la electrónica mediante cajas cerradas con candado para evitar daños o manipulación no autorizada.

Actualmente, el prototipo transmite la información del nivel de agua en tiempo real, pero no conserva registros. Para futuras versiones, se recomienda integrar un sistema de almacenamiento de datos que permita generar históricos, tendencias y reportes sobre el comportamiento del río. Una alternativa viable es implementar una base de datos local o en la nube; sin embargo, también puede optarse por una solución más económica y práctica: aprovechar la capacidad del ESP32 para registrar datos en una memoria SD o microSD mediante un módulo lector. Esta opción facilita el almacenamiento continuo en campo, incluso en zonas sin conectividad, y permite que los datos puedan extraerse posteriormente para análisis y toma de decisiones.

Aunque en la planeación inicial se contempló la integración de mensajes SMS como mecanismo de alerta, esta funcionalidad no fue implementada en el prototipo actual. Sin embargo,

su incorporación en futuras versiones resulta altamente pertinente, especialmente para fortalecer la capacidad de reacción comunitaria durante eventos críticos.

Una posible mejora consiste en integrar módulos de comunicación GSM/4G que permitan el envío de alertas hacia dispositivos móviles incluso cuando no exista conectividad WiFi. No obstante, es necesario reconocer una limitación importante del contexto rural: en muchas zonas de Bahía Solano y de la cuenca del río Atrato la disponibilidad de señal celular es intermitente o muy reducida. Este aspecto condiciona la eficacia del envío de SMS y debe ser considerado en el diseño de la arquitectura de comunicación.

Por lo anterior, se recomienda evaluar soluciones híbridas, en las que el sistema pueda:

Enviar SMS cuando haya señal disponible, utilizando un módulo GSM/4G.

Generar alertas locales (sirena, luces, pantallas informativas) cuando la red móvil esté caída.

Almacenar los mensajes no enviados en una cola interna para ser transmitidos automáticamente cuando se restablezca la señal.

Explorar tecnologías alternativas, como enlaces LoRa o redes comunitarias de radio, que han demostrado buen desempeño en zonas de baja cobertura.

Integrar este enfoque aumentaría la resiliencia del SAT, asegurando que la población reciba la alerta por más de un medio, incluso en condiciones de conectividad limitada, lo que es esencial en territorios aislados o de difícil acceso.

Fuentes de energía alternativas: dado que la versión actual utiliza una batería de 9V, se propone como mejora la incorporación de sistemas de energía solar u otras fuentes renovables que aseguren la continuidad del servicio en caso de fallos en el suministro eléctrico convencional.

En conjunto, estas mejoras permitirán que el SAT evolucione desde un prototipo experimental hacia una solución más robusta, confiable y adaptable a las condiciones reales de la

ribera del río Atrato, fortaleciendo la capacidad de la comunidad para anticipar y mitigar riesgos por inundación.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Quibdó. (2021). Plan local de gestión del riesgo de desastres en el municipio de Quibdó. <https://www.quibdo-choco.gov.co>
- Acosta-Coll, M., Ballester-Merelo, F., & Martínez-Peiró, M. (2018). Early warning system for detection of urban pluvial flooding hazard levels in an ungauged basin. *Natural Hazards*, 92, 1237–1265. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3249-4>
- BID. (2021). Tecnologías emergentes para la gestión del riesgo hídrico en América Latina. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org>
- Campo Erazo, P. Á., & Zafra Vallejo, K. (2013). Sistema electrónico inalámbrico de alerta temprana y monitoreo del comportamiento del nivel de los ríos de bajo costo [Trabajo de grado, Universidad San Buenaventura]. Repositorio Institucional USB. <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/items/b72d760d-9bf1-4868-ab2b-c8f6596fcec1>
- Cárdenas, A., & Herrera, J. (2020). Aplicación de tecnologías de bajo costo en sistemas de alerta comunitarios. *Revista Colombiana de Ingeniería*, 15(3), 101-114. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rcingenieria>
- Cruz Roja Colombiana. (2018). Manual comunitario de preparación para emergencias por inundaciones. <https://www.cruzrojacolombiana.org>
- FAO. (2019). Lineamientos para la gestión comunitaria de sistemas de monitoreo ambiental. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
- Gómez, R., & Castillo, F. (2020). Uso de microcontroladores ESP32 en sistemas de alerta comunitarios. *Revista de Innovación Tecnológica*, 12(1), 88-99. <https://revistainnovaciontecnologica.org>

González, J., Ramírez, P., & Castaño, D. (2022). Sistemas de monitoreo ambiental en contextos vulnerables: tecnologías y desafíos. *Revista Colombiana de Tecnologías Ambientales*, 24(2), 45–63. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcta>

IDEAM. (2025). Sistema de Alerta Temprana FEWS-Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://fews.ideam.gov.co/visorfews/nacional>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2023). Red de estaciones hidrometeorológicas. IDEAM. <https://www.ideam.gov.co/estaciones>

ISO. (2017). ISO 14001:2015. Environmental management systems — Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.

<https://www.iso.org/standard/60857.html>

Lias, J., & Kumaran, G. (2024). IoT-Based Flood Monitoring System using ESP32. *Evolution in Electrical and Electronic Engineering*, 5(1), 470–478.

<https://doi.org/10.27890/eeee.v5n1.15390>

Libelium & UNGRD. (2015). Sistema de alerta temprana para prevenir inundaciones y permitir la gestión de desastres en los ríos colombianos [Caso de éxito]. Libelium. <https://www.libelium.com/es/libeliumworld/casos-exito/sistema-de-alerta-temprana-para-prevenir-inundaciones-y-permitir-la-gestion-de-catastrofes-en-las-cuencas-de-los-rios-de-colombia/>

Martínez, L., & López, M. (2020). Participación ciudadana y sostenibilidad en proyectos tecnológicos comunitarios. *Revista Latinoamericana de Innovación y Sociedad*, 15(1), 77-92.

<https://revistaslatinoamericanas.org/innovacionsociedad>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Guía técnica para la gestión del riesgo hídrico en comunidades rurales. Gobierno de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co>

Ocampo Toro, J. A., Alzate Sánchez, J. P., Chancy Villa, Á. D., & Valencia Cardona, S. (2017). Sistema autosostenible de alarma temprana en corrientes fluviales. *Revista CINTEX*, 22(2), 69–88. <https://doi.org/10.33131/24222208.298>

ONU Medio Ambiente. (2019). Sistemas de alerta temprana comunitarios y cambio climático en América Latina. <https://www.unep.org>

Rodríguez, F., & Pérez, H. (2021). Transformación digital y monitoreo en tiempo real: aplicaciones en sistemas de alerta temprana. *Ingeniería y Desarrollo*, 39(1), 119-137. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/inge-desarrollo>

Torres, M., & Álvarez, C. (2019). Monitoreo de variables hidrológicas mediante IoT: una experiencia en comunidades rurales colombianas. *Revista Ingeniería y Región*, 21(2), 55-68. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenieriaregion>

UNDRR. (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. <https://www.undrr.org/es/implementing-sendai-framework/what-sendai-framework>

UNESCO. (2021). Educación y comunidades resilientes frente al cambio climático. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <https://unesdoc.unesco.org>

UNGRD. (2022). Política nacional de gestión del riesgo de desastres. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. <https://www.gestiondelriesgo.gov.co>

Universidad de la Costa. (2016). Diseño de una red de sensores inalámbricos para la monitorización de inundaciones repentinas en la ciudad de Barranquilla, Colombia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24(4), 701–712. <https://www.researchgate.net/publication/309240625>

World Bank. (2020). Colombia: Resiliencia climática y gestión del riesgo de desastres.

<https://www.worldbank.org>

Apéndice

Apéndice A. Código fuente del microcontrolador ESP32

```
#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>
// --- Configuración de WiFi y Pines ---
const char* ssid = "Nivel del agua-SAT";
const char* password = "12345678";
WebServer server(80);
#define SENSOR_BAJO 33
#define SENSOR_MEDIO 25
#define SENSOR_ALTO 26
#define RELE_SPEAKER 27
// --- Variables Globales ---
int nivelAgua = 0;
// NUEVAS VARIABLES PARA LA ALARMA INTERMITENTE (SIN USAR DELAY)
unsigned long tiempoAnterior = 0; // Almacena la última vez que cambió el estado
del relé
bool estadoRele = LOW; // Estado actual del relé (encendido o apagado)
const int intervaloPitido = 500; // Intervalo en milisegundos para los pitidos
(medio segundo)
```

```
/ FUNCIÓN MEJORADA: Lee sensores y gestiona la alarma
void gestionNivelyAlarma() {
  // 1. Leemos los sensores para saber el nivel de agua
  int nivelDetectado = 0;
  if (digitalRead(SENSOR_ALTO) == LOW) {
    nivelDetectado = 100;
  } else if (digitalRead(SENSOR_MEDIO) == LOW) {
    nivelDetectado = 50;
  } else if (digitalRead(SENSOR_BAJO) == LOW) {
    nivelDetectado = 10;
  }
  nivelAgua = nivelDetectado; // Actualizamos la variable global
  // 2. Lógica de la alarma basada en el nivel
  if (nivelAgua == 100) {
    // ALARMA CONTINUA: Nivel crítico, relé siempre encendido.
    digitalWrite(RELE_SPEAKER, HIGH);
    estadoRele = HIGH; // Mantenemos el estado actualizado
    tiempoAnterior = millis(); // Reseteamos el temporizador para evitar conflictos
  } else if (nivelAgua == 50) {
    // ALARMA INTERMITENTE: Nivel medio, hacemos sonar los pitidos.
    unsigned long tiempoActual = millis();
    // Comprobamos si ha pasado el tiempo para el siguiente pitido
    if (tiempoActual - tiempoAnterior >= intervaloPitido) {
      tiempoAnterior = tiempoActual; // Guardamos el momento actual
      // Invertimos el estado del relé (si estaba ON, lo ponemos OFF y viceversa)
      estadoRele = !estadoRele;
      digitalWrite(RELE_SPEAKER, estadoRele);
    }
  } else {
    // SIN ALARMA: Nivel bajo o normal, el relé debe estar apagado.
    digitalWrite(RELE_SPEAKER, LOW);
    estadoRele = LOW;
    tiempoAnterior = millis(); // Reseteamos el temporizador
  }
}
```

Apéndice B. Código de la plataforma web desarrollada para visualización de datos

```
// --- Manejador para la página web principal ("/") ---
void handleRoot() {
  String html = R"rawliteral(
    <!DOCTYPE html>
    <html lang="es">
    <head>
      <meta charset="UTF-8">
      <title>Monitor de Nivel de Agua</title>
      <style>
        body { font-family: 'Segoe UI', sans-serif; background-color: #e3f2fd; text-align: center; padding: 20px; color: #333; }
        h1 { font-size: 2em; margin-bottom: 10px; }
        .contenedor { display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 40px; flex-wrap: wrap; }
        .barra-container-vertical { width: 60px; height: 200px; background-color: #ddd; border-radius: 30px; display: flex; align-items: flex-end; overflow: hidden; box-shadow: inset 0 0 10px #aaa; }
        .barra-vertical { width: 100%; background-color: _COLOR_; text-align: center; color: white; font-weight: bold; transition: height 0.5s; }
        canvas { background: #fff; border-radius: 10px; box-shadow: 0 0 10px rgba(0,0,0,0.2); }
        #notification { margin-top: 5px; font-size: 16px; font-weight: bold; }
      </style>
    </head>
    <body>
      <h1>Nivel de Agua: <span id="nivel">_NIVEL_</span>%</h1>
      <div class="contenedor">
        <div class="barra-container-vertical"><div id="barra" class="barra-vertical">_NIVEL_%</div></div>
```

```

<canvas id="gauge" width="300" height="150"></canvas>
</div>
<div id="notification"></div>
<script>
  let nivel = _NIVEL_;
  const canvas = document.getElementById("gauge");
  const ctx = canvas.getContext("2d");

  function drawGauge(value) {
    const centerX = canvas.width / 2;
    const centerY = canvas.height;
    const radius = 100;
    ctx.clearRect(0, 0, canvas.width, canvas.height);
    ctx.beginPath();
    ctx.arc(centerX, centerY, radius, Math.PI, 0);
    ctx.lineWidth = 20;
    ctx.strokeStyle = "#eee";
    ctx.stroke();
    const angle = Math.PI - (value / 100) * Math.PI;
    const needleX = centerX + radius * Math.cos(angle);
    const needleY = centerY - radius * Math.sin(angle);
    ctx.beginPath();
    ctx.moveTo(centerX, centerY);
    ctx.lineTo(needleX, needleY);
    ctx.lineWidth = 4;
    ctx.strokeStyle = value < 50 ? "#4CAF50" : value < 80 ? "#FF9800" :
"#F44336";
    ctx.stroke();
    ctx.font = "20px Arial";
    ctx.fillStyle = "#333";
    ctx.fillText(value + "%", centerX - 20, centerY - 20);
  }
  function actualizarUI(valor) {
    document.getElementById("nivel").textContent = valor;
    const barra = document.getElementById("barra");
    barra.style.height = valor + "%";
    barra.textContent = valor + "%";
    barra.style.backgroundColor = valor < 50 ? "#4CAF50" : valor < 80 ?

```

```
#FF9800" : "#F44336";
    drawGauge(valor);
    const noti = document.getElementById("notification");
    if (valor >= 80) {
        noti.textContent = "🚨 ;Nivel Crítico! Posible desbordamiento.";
        noti.style.color = "#F44336";
    } else if (valor >= 50) {
        noti.textContent = "⚠ Nivel Alto. Precaución.";
        noti.style.color = "#FF9800";
    } else {
        noti.textContent = "✅ Nivel Normal.";
        noti.style.color = "#4CAF50";
    }
}
actualizarUI(nivel);
setInterval(() => {
    fetch("/nivel")
        .then(response => response.text())
        .then(data => {
            nivel = parseInt(data);
            actualizarUI(nivel);
        });
}, 2000);
</script>
</body>
</html>
)rawliteral";
String color;
if (nivelAgua < 50) color = "#4CAF50";
else if (nivelAgua < 80) color = "#FF9800";
else color = "#F44336"
    html.replace("_NIVEL_", String(nivelAgua));
html.replace("_COLOR_", color);

server.send(200, "text/html", html);
}
```

```
// --- Manejador para la actualización de datos ("/nivel") ---
void handleNivel() {
  server.send(200, "text/plain", String(nivelAgua));
}

// --- Función de Configuración Inicial (setup) ---
void setup() {
  Serial.begin(115200);

  pinMode(SENSOR_BAJO, INPUT_PULLUP);
  pinMode(SENSOR_MEDIO, INPUT_PULLUP);
  pinMode(SENSOR_ALTO, INPUT_PULLUP);
  pinMode(RELE_SPEAKER, OUTPUT);
  digitalWrite(RELE_SPEAKER, LOW);

  WiFi.softAP(ssid, password);
  delay(100);
  Serial.println("Punto de Acceso WiFi iniciado.");
  Serial.print("IP: ");
  Serial.println(WiFi.softAPIP());

  server.on("/", handleRoot);
  server.on("/nivel", handleNivel);
  server.begin();
}

// --- Bucle Principal (loop) ---
void loop() {
  // Ahora el loop gestiona la alarma Y el servidor web.
  gestionNivelYAlarma();
  server.handleClient();

  // No necesitamos delay aquí, millis() se encarga del tiempo.
}
```