SISTEMATIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA FORMATIVA DEL SEMILLERO SIT EN EL DESARROLLO DE UN SISTEMA COMUNITARIO DE ALERTAS TEMPRANAS PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO EL PACÍFICO DE MEDELLÍN

MANUEL ALBERTO BEDOYA CASTRILLON

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN SISTEMAS MECATRÓNICOS
MEDELLIN
2026

SISTEMATIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA FORMATIVA DEL SEMILLERO SIT EN EL DESARROLLO DE UN SISTEMA COMUNITARIO DE ALERTAS TEMPRANAS PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO EL PACÍFICO DE MEDELLÍN

MANUEL ALBERTO BEDOYA CASTRILLÒN

Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Tecnología en Sistema Mecatrónicos

Asesor
CARLOS ALBERTO MONSALVE

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA SISTEMAS MECATRÓNICOS
Medellín
2026

Contenido

Resumen 8
Introducción 9
1. Planteamiento del problema 10
2. Justificación 11
3. Objetivos 12
3.1. Objetivo general 12
3.2. Objetivos específicos 12
4. Marco referencial 13
Tabla 2 Contexto nacional 17
Tabla 3Contexto local 19
4.1. Convergencias del estado de arte 21
4.2. Conclusion del estado de arte 22
5. Marco teórico conceptual 23
5.1. Sistematización de experiencias 23
5.2. Investigación formativa 23
5.3. Sistemas de alerta temprana 24
5.4. Gestión Comunitaria del Riesgo 24
5.5. Apropiación social del conocimiento 25
5.6. Diálogo de saberes y participación comunitaria 25
6. Metodología 26
6.1. Enfoque de la investigación 26
6.2. Tipo y diseño de la investigación 26
6.3. Población y muestra 26
6.4. Instrumentos de recolección de información 26
6.5. Fuentes primarias 26
6.6. Fuentes secundarias 26
7. Resultados del proyecto 27
7.1. Exploración espacial y acercamiento vecinal 27
7.2. Estructuración Teórica y Operativa del Mecanismo 28
7.3. Adopción Colectiva del Saber 29
7.4. Síntesis de los Hallazgos 30

7.5. Caracterización general de componentes del prototipo 31
7.6. Cálculo de consumo total del módulo emisor 35
7.7. Balance energético con panel solar 37
7.8. Ajustes recomendados 37
8. Conclusiones 39
9. Recomendaciones 40
10. Referencias bibliográficas 42
Anexos 46

Glosario

Aplicación del conocimiento: proceso mediante el cual los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en contextos académicos son utilizados para resolver problemáticas reales o atender necesidades específicas de un entorno determinado.

Comunidad: conjunto de personas que comparten un territorio, dinámicas sociales e intereses comunes, y que participan colectivamente en procesos organizativos, formativos o de gestión.

Democratización del conocimiento: proceso orientado a facilitar el acceso, comprensión y uso del conocimiento científico y tecnológico por parte de diferentes sectores de la sociedad.

Escenario real: contexto físico y social donde el conocimiento académico es aplicado, validado y analizado frente a condiciones reales de operación o intervención.

ESP32: microcontrolador de bajo costo y alto rendimiento, desarrollado por Espressif Systems, que integra conectividad Wi-Fi y Bluetooth, ampliamente utilizado en aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), automatización y monitoreo remoto.

Gestión Comunitaria del Riesgo (GCR): conjunto de estrategias y acciones desarrolladas por una comunidad para prevenir, reducir y responder ante situaciones de riesgo o desastre mediante la participación colectiva y el fortalecimiento de capacidades locales.

Investigación formativa: estrategia pedagógica que integra procesos de investigación con la formación académica de los estudiantes, promoviendo pensamiento crítico, aplicación del conocimiento y aprendizaje significativo.

LoRa (Long Range): tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance y bajo consumo energético, utilizada en aplicaciones IoT para transmisión de datos en sistemas de monitoreo, automatización y alertas tempranas.

LoRaWAN: protocolo de comunicación basado en tecnología LoRa, diseñado para redes de área amplia de bajo consumo energético, permitiendo la gestión y transmisión de datos entre múltiples dispositivos IoT.

Pantalla LCD: dispositivo electrónico de visualización basado en cristal líquido, utilizado para mostrar información alfanumérica o gráfica en sistemas electrónicos y embebidos.

PCB (Printed Circuit Board): placa de circuito impreso utilizada para soportar y conectar eléctricamente componentes electrónicos mediante pistas conductoras diseñadas sobre una superficie aislante.

Prototipo: modelo funcional preliminar desarrollado para validar conceptos, evaluar desempeño técnico y detectar posibles mejoras antes de una implementación definitiva.

Quebrada La Rafita: afluente hídrico ubicado en el barrio El Pacífico de Medellín, caracterizado por presentar riesgos asociados a avenidas torrenciales, movimientos en masa y caída de rocas.

Semillero de investigación: espacio académico de formación investigativa donde estudiantes y docentes desarrollan procesos de aprendizaje, experimentación y aplicación del conocimiento mediante proyectos de investigación.

Semillero SIT: Semillero de Investigación en Territorio de la Institución Universitaria Pascual Bravo, orientado al desarrollo de proyectos de investigación aplicada y apropiación social del conocimiento en contextos territoriales y comunitarios.

Sensor óptico: dispositivo electrónico capaz de detectar cambios relacionados con la luz o la presencia de objetos y convertirlos en señales eléctricas para procesos de monitoreo o automatización.

Sistema de alertas tempranas: conjunto de herramientas, tecnologías, procedimientos y mecanismos de comunicación orientados a detectar amenazas y emitir alertas oportunas para reducir riesgos y fortalecer la capacidad de respuesta de una comunidad.

Sistematización: proceso metodológico de reconstrucción, organización y análisis crítico de una experiencia con el fin de generar aprendizajes y producir conocimiento a partir de la práctica.

Tecnología aplicada: uso práctico de conocimientos científicos y tecnológicos para diseñar soluciones orientadas a resolver necesidades específicas de un contexto determinado.

Transformación social: proceso de cambio que genera mejoras en las dinámicas, condiciones o capacidades de una comunidad mediante acciones colectivas, educativas o tecnológicas.

Vínculo academia-comunidad: relación de cooperación y construcción conjunta entre instituciones educativas y comunidades, orientada al intercambio de conocimientos y al desarrollo de soluciones contextualizadas.

Resumen

El presente trabajo sistematizó la experiencia de investigación formativa desarrollada entre el Semillero de Investigación en Territorio —SIT— y la comunidad del barrio El Pacífico de Medellín, en torno al diseño y desarrollo de un Sistema Comunitario de Alertas Tempranas para la mitigación del riesgo de desastres.

El desarrollo de este proyecto tiene un enfoque mixto con predominio cualitativo, debido a que reconstruyó el proceso vivido, la participación comunitaria y las decisiones técnicas, e incorporó registros de pruebas del prototipo de monitoreo de la quebrada La Rafita. Aunque el sistema y el prototipo permanecieron en fase de desarrollo y validación, la experiencia evidenció avances en la articulación entre comunidad, academia y tecnología.

Esta apuesta permite fortalecer capacidades de investigación formativa, aplicar conocimientos mecatrónicos en un contexto real y proyectar el SAT como una solución modular, replicable y orientada a la apropiación social del conocimiento.

Palabras: clave: sistema de alerta temprana, investigación formativa, gestión comunitaria del riesgo, mecatrónica, apropiación social del conocimiento.

Introducción

El aumento de fenómenos hidrometeoro lógicos extremos, asociado al cambio climático, exige el desarrollo de sistemas de alerta temprana (SAT) para proteger a las comunidades vulnerables (IPCC, 2023). En el caso de Medellín, su topografía dinámica y su red hidrográfica de aproximadamente 4.217 quebradas incrementan la exposición a movimientos en masa y avenidas torrenciales (Alcaldía de Medellín, s.f.). Aunque la ciudad cuenta con el Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburra (SIATA), encargado de monitorear cerca de 250 afluentes (Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, s.f.), resulta imperativo fortalecer estrategias complementarias construidas desde los propios territorios.

Bajo esta premisa, en el barrio El Pacífico de Medellín, la quebrada La Rafita representa una amenaza constante. Para hacer frente a esta realidad, los habitantes han consolidado procesos de Gestión Comunitaria del Riesgo. De esta iniciativa surge la articulación con el Semillero de Investigación en Territorio (SIT) de la Institución Universitaria Pascual Bravo, con el fin de desarrollar un SAT comunitario. Dicho sistema integra tecnologías de monitoreo ambiental, comunicación inalámbrica y autonomía energética. Más allá de su viabilidad técnica, este proyecto se consolida como un ejercicio de investigación formativa y apropiación social del conocimiento que vincula la academia con las necesidades territoriales.

Por consiguiente, la presente investigación tiene como propósito sistematizar la experiencia desarrollada por el Semillero SIT en el diseño e implementación del SAT en el barrio El Pacífico. A través de este proceso, se busca reconstruir críticamente la experiencia, analizar sus componentes técnicos, pedagógicos y sociales, e identificar aprendizajes que permitan comprender cómo la articulación entre comunidad, academia y tecnología aporta al fortalecimiento territorial y a futuras iniciativas con enfoque comunitario.

1. Planteamiento del problema

Diversos actores sociales e instituciones han impulsado proyectos para monitorear el ambiente y generar alertas tempranas. Más allá de su faceta técnica, estas iniciativas constituyen espacios idóneos para articular saberes académicos y aplicar soluciones prácticas frente a las necesidades del entorno. En este sentido, sistematizar dichas prácticas resulta fundamental. De acuerdo con Jara (2018), este ejercicio trasciende la simple documentación documental, pues permite reconstruir críticamente las vivencias, comprender sus dinámicas y consolidar las lecciones adquiridas; otorgando así valor tanto a los resultados como a las transformaciones surgidas durante el proceso.

Bajo esta perspectiva, analizar la labor del Semillero de Investigación en Territorio (SIT) en el barrio El Pacífico ayuda a fortalecer el alcance del dispositivo implementado en la quebrada La Rafita. Dicha tarea integra la evaluación técnica con la reflexión pedagógica y social. Por consiguiente, este esfuerzo metodológico busca organizar, interpretar y proyectar los hallazgos obtenidos, con el fin de ofrecer referentes útiles para futuras estrategias de prevención, apropiación del saber y adaptación tecnológica en sectores vulnerables.

¿De qué forma sistematizar el trabajo formativo del SIT permite entender el vínculo entre población, academia y tecnología como un mecanismo eficaz para construir colectivamente soluciones ante los desafíos territoriales?

2. Justificación

El incremento de eventos hidrometeoro lógicos extremos exige desarrollar sistemas de alerta temprana (SAT) en zonas urbanas vulnerables. Según el IPCC (2023), el calentamiento global agrava dichos fenómenos, afectando especialmente las áreas de ladera y los cauces hídricos. En este escenario, el barrio El Pacífico se enfrenta constantemente a la caída de rocas, movimientos en masa y avenidas torrenciales. Pese a contar con una activa Gestión Comunitaria del Riesgo, la población carece de herramientas tecnológicas para monitorear estas amenazas. Cifras recientes evidencian esta urgencia: en un sector de aproximadamente 900 familias, las emergencias ocurridas entre 2020 y 2022 afectaron estructuralmente varias viviendas y pusieron en peligro a decenas de hogares.

Ante dicha problemática, resulta vital aumentar la capacidad de respuesta comunitaria para mitigar el riesgo y proteger la vida humana. Por ello, el Semillero de Investigación en Territorio (SIT) y los habitantes locales han decidido planear, diseñar e implementar un SAT, iniciando con un prototipo en la quebrada La Rafita. Esta iniciativa comunitaria permite integrar conocimientos en mecatrónica, electrónica, telecomunicaciones y diseño pedagógico. En consecuencia, la investigación formativa actúa como un mecanismo directo para transformar el entorno y fortalecer la apropiación social de la tecnología, al responder a una necesidad real del territorio.

Adicionalmente, se hace imperativo sistematizar esta experiencia. Más allá de documentar el proceso técnico, el propósito central es generar una reflexión crítica capaz de convertir la práctica en conocimiento formal. Tal como plantea Jara (2018), este ejercicio posibilita producir aprendizajes significativos y reconocer metodologías replicables para futuras iniciativas. Asimismo, al respaldarse en los postulados de Freire (2005) sobre la educación como praxis transformadora, el proyecto busca consolidar un modelo académico que trascienda el aula, logrando así vincular de manera activa la universidad con la sociedad mediante la construcción colectiva de soluciones sostenibles.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Sistematizar la experiencia de investigación formativa desarrollada conjuntamente por el Semillero de Investigación en Territorio (SIT) y la comunidad del barrio El Pacífico en el diseño y desarrollo de un sistema comunitario de alertas tempranas para la mitigación del riesgo de desastres.

3.2. Objetivos específicos

. Reconstruir el proceso de implementación del prototipo de monitoreo de la quebrada La Rafita como componente del sistema comunitario de alertas tempranas, a partir del análisis de sus etapas de desarrollo, decisiones técnicas e hitos relevantes del proceso.

. Caracterizar el prototipo de monitoreo implementado, a partir del análisis de su desempeño funcional, confiabilidad y robustez en condiciones reales de operación.

. Analizar los procesos de apropiación social del conocimiento derivados de la interacción entre los actores involucrados en el desarrollo y uso del sistema comunitario de alertas tempranas.

4. Marco referencial

El presente estado del arte reúne referentes internacionales, nacionales y locales relacionados con sistemas comunitarios de gestión del riesgo y sistemas de alerta temprana aplicados a amenazas hidrometeoro lógicas y geotécnicas. La revisión se orienta al proyecto desarrollado en el barrio El Pacífico de Medellín, cuyo sistema comunitario se compone de tres frentes de monitoreo: nivel de la quebrada La Rafita, movimiento en masa y caída de rocas.

Las referencias fueron seleccionadas bajo tres criterios: veracidad documental, pertinencia técnica y contextualización territorial. Por ello, se priorizaron artículos indexados, guías institucionales, documentos oficiales y experiencias locales verificables. La organización en contextos internacional, nacional y local permite mostrar cómo el proyecto dialoga con tendencias globales de alerta temprana multiamenaza, con lineamientos colombianos de gestión del riesgo y con experiencias de Medellín y Antioquia que articulan tecnología, territorio y comunidad.

Tabla 1 Contexto internacional

Referencia bibliográfica	Qué hizo el autor	Relación con mi trabajo
World Meteorological Organization [WMO]. (2018). Multi-hazard early warning systems: A checklist. Geneva: WMO.	Propuso una lista de verificación para evaluar sistemas de alerta temprana multiamenaza, organizada en cuatro componentes: conocimiento del riesgo, monitoreo y pronóstico, comunicación de alertas, y capacidad de preparación y respuesta.	Sirve como marco internacional para estructurar el sistema comunitario de El Pacífico, porque el proyecto no se limita a medir variables: también transforma los datos en alertas comprensibles, sirena local y comunicación comunitaria por medios digitales.
United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR] & World Meteorological Organization [WMO]. (2023). Global status of multi-hazard early warning systems 2023. Geneva: UNDRR/WMO.	Analizó el avance mundial de los sistemas de alerta temprana y ratificó la importancia de integrar observación, análisis, comunicación y	Permite justificar que el proyecto se alinea con una tendencia global: proteger a comunidades expuestas mediante alertas tempranas accesibles, oportunas y

Referencia bibliográfica	Qué hizo el autor	Relación con mi trabajo
	preparación comunitaria bajo la iniciativa Early Warnings for All.	accionables, especialmente en territorios vulnerables.
International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies [IFRC]. (2012). Community early warning systems: Guiding principles. Geneva: IFRC.	Estableció principios para sistemas comunitarios de alerta temprana, resaltando la participación local, la apropiación social, la claridad de los mensajes, los roles comunitarios y la sostenibilidad operativa.	Aporta criterios para que el sistema no dependa únicamente del componente electrónico, sino de una comunidad capaz de interpretar la alerta, difundirla y actuar ante avenidas torrenciales, movimientos en masa o caída de rocas.
Zakaria, M. I., Jabbar, W. A., & Sulaiman, N. (2023). Development of a smart sensing unit for LoRaWAN-based IoT flood monitoring and warning system in catchment areas. Internet of Things and Cyber-Physical Systems, 3, 249-261. https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.04.005	Desarrollaron una unidad inteligente de sensado para monitoreo de inundaciones con LoRaWAN, sensores de nivel y enfoque de bajo consumo, orientada al seguimiento en tiempo real de cuencas.	Es un referente técnico directo para el prototipo de monitoreo de la quebrada La Rafita, porque valida la arquitectura sensor-microcontrolador-comunicación inalámbrica-alerta en contextos de riesgo hídrico.
Ragnoli, M., Leoni, A., Barile, G., Ferri, G., & Stornelli, V. (2022). LoRa-based wireless sensors network for rockfall and landslide monitoring: A case study in Pantelleria Island with portable LoRaWAN access. Journal of Low Power Electronics and Applications, 12(3), 47. https://doi.org/10.3390/jlpea12030047	Presentaron una red de sensores inalámbricos basada en LoRa/LoRaWAN para monitorear caída de rocas y deslizamientos, con nodos autónomos y gateway portátil alimentado con energía solar.	Se relaciona de forma directa con los componentes de monitoreo de movimiento en masa y caída de roca del proyecto, especialmente por el uso de comunicaciones de largo alcance y bajo consumo en zonas complejas.

Referencia bibliográfica	Qué hizo el autor	Relación con mi trabajo
Bagwari, S., Gehlot, A., Singh, R., Priyadarshi, N., & Khan, B. (2022). Low-cost sensor-based and LoRaWAN opportunities for landslide monitoring systems on IoT platform: A review. IEEE Access, 10, 7107-7127. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3137841	Revisaron oportunidades de sensores de bajo costo, LoRaWAN e IoT para sistemas de monitoreo de deslizamientos, incluyendo arquitectura, comunicación, energía y posibilidades de implementación en campo.	Fortalece la elección de tecnologías accesibles para un sistema comunitario, al mostrar que los sensores de bajo costo y LoRaWAN pueden apoyar el monitoreo de laderas sin infraestructura costosa.
Giri, P., Ng, K., & Phillips, W. (2019). Wireless sensor network system for landslide monitoring and warning. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 68(4), 1210-1220. https://doi.org/10.1109/TIM.2018.2861999	Diseñaron un sistema de red de sensores inalámbricos para monitoreo y advertencia de deslizamientos, con énfasis en confiabilidad, bajo consumo y operación continua en campo.	Aporta base técnica para el componente de monitoreo de movimiento en masa, pues demuestra la utilidad de redes de sensores para detectar cambios físicos que pueden anticipar una condición de amenaza.
Ragnoli, M., Scarsella, M., Leoni, A., Ferri, G., & Stornelli, V. (2023). Wireless sensor network-based rockfall and landslide monitoring systems: A review. Sensors, 23(16), 7278. https://doi.org/10.3390/s23167278	Realizaron una revisión del estado del arte sobre sistemas de monitoreo de caída de rocas y deslizamientos basados en redes inalámbricas de sensores, analizando arquitectura, hardware y tendencias tecnológicas.	Ayuda a ubicar el proyecto dentro de una línea tecnológica actual: monitoreo remoto de geoamenazas mediante sensores, nodos distribuidos y comunicación inalámbrica para apoyar decisiones tempranas.
Bonilla, V., Campoverde, B., & Yoo, S. G. (2023). A systematic literature review of LoRaWAN: Sensors and applications. Sensors, 23(20), 8440. https://doi.org/10.3390/s23208440	Sistematizaron aplicaciones de LoRaWAN en IoT, identificando usos en monitoreo ambiental, comunicación de largo alcance, bajo consumo	Justifica el uso del protocolo LoRa en El Pacífico, ya que el sistema requiere transmitir datos desde sensores instalados en campo hacia otro nodo receptor sin depender

Referencia bibliográfica	Qué hizo el autor	Relación con mi trabajo
	energético y desafíos de escalabilidad.	permanentemente de internet.
Akanbi, A. (2023). Towards a microservice-based middleware for a multi-hazard early warning system. En M. Masinde & A. Bagula (Eds.), Emerging technologies for developing countries (pp. 179-191). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35883-8_12	Propuso una arquitectura de middleware basada en microservicios para integrar fuentes heterogéneas de información en sistemas multiamenaza de alerta temprana.	Aunque el proyecto comunitario es de menor escala, esta referencia orienta la escalabilidad futura: integrar datos de quebrada, ladera, caída de roca, sirenas, pantallas y canales digitales en una arquitectura modular.

Tabla 2 Contexto nacional

Referencia bibliográfica	Qué hizo el autor	Relación con mi trabajo
Congreso de Colombia. (2012). Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Bogotá: Diario Oficial.	Estableció la política nacional de gestión del riesgo de desastres en Colombia y definió la gestión del riesgo como un proceso social orientado al conocimiento, reducción y manejo de desastres.	Da soporte normativo al proyecto, porque el sistema comunitario de El Pacífico se ubica dentro de la reducción del riesgo y fortalece capacidades locales para proteger la vida ante amenazas naturales.
Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD]. (2016). Guía para la implementación de sistemas de alerta temprana. Bogotá: UNGRD.	Presentó orientaciones para diseñar e implementar SAT, incluyendo monitoreo, umbrales, comunicación de alertas, roles institucionales y comunitarios, operación y mantenimiento.	Es una guía base para ordenar el sistema del barrio: medición del nivel, procesamiento con ESP32, transmisión LoRa, visualización, activación de sirena y difusión por canales comunitarios.
Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD]. (2021). Guía para el desarrollo de sistemas de alerta temprana SAT. Bogotá: UNGRD.	Actualizó lineamientos para SAT con énfasis en componentes, articulación, prevención, protección de vidas, infraestructura y sostenibilidad de la operación.	Permite revisar si el sistema de El Pacífico cumple componentes esenciales: conocimiento del riesgo, monitoreo, comunicación, preparación comunitaria y mantenimiento.
López-García, J. D., Carvajal-Escobar, Y., & Enciso-Arango, A. M. (2017). Sistemas de alerta temprana con enfoque participativo: un desafío para la gestión del riesgo en Colombia. Revista Luna Azul, 44, 231-246. https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.14	Analizaron los desafíos de los sistemas de alerta temprana con participación comunitaria en Colombia, destacando apropiación, sostenibilidad y articulación social e institucional.	Fundamenta la dimensión participativa del proyecto, porque el sistema no se plantea como tecnología impuesta, sino como construcción con la comunidad y el Semillero SIT.

Referencia bibliográfica	Qué hizo el autor	Relación con mi trabajo
Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD]. (2017). Guía para la participación comunitaria en la gestión del riesgo de desastres. Bogotá: UNGRD.	Propuso herramientas conceptuales, metodológicas y pedagógicas para fortalecer la participación comunitaria en procesos de conocimiento, reducción y manejo del riesgo.	Aporta criterios para la apropiación social del sistema: roles de la comunidad, lectura de señales, respuesta colectiva y sostenibilidad del sistema después de la instalación técnica.
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (s. f.). Boletín de alertas hidrológicas. Bogotá: IDEAM.	Emite alertas hidrológicas por crecientes súbitas, niveles altos, tránsito de crecientes, desbordamientos y eventos reportados por la gestión del riesgo nacional.	Permite contextualizar el componente de monitoreo de La Rafita dentro de una lógica hidrológica nacional basada en niveles, cambios de caudal y categorías de alerta.

Tabla 3Contexto local

Referencia bibliográfica	Qué hizo el autor	Relación con mi trabajo
Werthmann, C., Sapena, M., Kühnl, M., Singer, J., García, C., Breuninger, T., Gamperl, M., Menschik, B., Schäfer, H., Schröck, S., Seiler, L., Thuro, K., & Taubenböck, H. (2024). Insights into the development of a landslide early warning system prototype in an informal settlement: The case of Bello Oriente in Medellín, Colombia. Natural Hazards and Earth System Sciences, 24, 1843-1870. https://doi.org/10.5194/nhess-24-1843-2024	Documentaron el desarrollo de un prototipo de alerta temprana para deslizamientos en Bello Oriente, Medellín, mediante investigación tipo living lab, sensórica, mapeo, talleres y participación comunitaria.	Es el antecedente local más cercano al proyecto de El Pacífico, por trabajar en un asentamiento informal de ladera de Medellín, con enfoque comunitario, tecnología aplicada y gestión del riesgo territorial.
Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá [SIATA]. (s. f.). Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	Opera como sistema regional de ciencia y tecnología para la gestión del riesgo, con monitoreo hidrometeorológico, redes de sensores, análisis de datos y generación de información para autoridades y ciudadanía.	Contextualiza el proyecto dentro del ecosistema local de monitoreo ambiental; el sistema comunitario puede complementar estas capacidades desde una escala barrial y autogestionada.
Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá [SIATA]. (s. f.). Sistemas de Alerta Temprana Comunitarios SATC. Medellín: SIATA.	Define los SATC como estrategias territoriales que reconocen al ciudadano como protagonista de la gestión del riesgo e integran información técnica, participación comunitaria y preparación para la respuesta.	Aporta una base local directa para entender que el sistema de El Pacífico debe combinar tecnología, lectura comunitaria del territorio y canales de comunicación accesibles para la población.

Referencia bibliográfica	Qué hizo el autor	Relación con mi trabajo
Alcaldía de Medellín. (s. f.). Sistemas de Alerta Temprana Comunitaria SATC. Medellín: Sistema Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres.	Describe los SAT comunitarios como herramientas diseñadas e implementadas con participación activa de comunidades ubicadas en zonas vulnerables, orientadas a reducir riesgos y mejorar la respuesta.	Refuerza la pertinencia institucional del proyecto en Medellín, especialmente porque El Pacífico es un territorio vulnerable donde la alerta debe llegar a la comunidad de forma rápida y comprensible.
Universidad de Antioquia. (2022). UdeA y Dagran implementan el Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia. Medellín: Universidad de Antioquia.	Reportó la implementación de SAMA para instrumentar cuencas priorizadas en Antioquia mediante pluviómetros, sensores de nivel y alarmas comunitarias conectadas a plataformas de gestión del riesgo.	Sirve como antecedente regional para el uso de sensores de nivel, alarmas y apropiación social en fuentes hídricas, elementos similares al monitoreo de La Rafita y la activación de sirena comunitaria.
Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres de Antioquia [DAGRAN]. (2023). Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia, SAMA, un referente nacional. Medellín: Gobernación de Antioquia.	Presentó a SAMA como sistema departamental de monitoreo y alerta con sensores de nivel, cámaras, estaciones, alarmas y procesos de articulación territorial.	Complementa el estado del arte local al mostrar una experiencia antioqueña que integra instrumentación, datos y comunicación de alertas para eventos como inundaciones y avenidas torrenciales.

4.1. Convergencias del estado de arte

La revisión evidencia una convergencia clara entre los referentes internacionales, nacionales y locales: los sistemas de alerta temprana más sólidos no se limitan a la instalación de sensores, sino que integran conocimiento del riesgo, monitoreo continuo, comunicación oportuna, apropiación social y preparación comunitaria. Esta visión coincide con el enfoque del sistema del barrio El Pacífico, en el cual la medición técnica de variables ambientales y geotécnicas se conecta con mecanismos de alerta local y comunicación comunitaria.

Desde el componente tecnológico, los estudios sobre LoRaWAN, redes de sensores inalámbricos, IoT y monitoreo de inundaciones, deslizamientos y caída de rocas sustentan la arquitectura seleccionada para el proyecto. La combinación sensor-ESP32-LoRa-ESP32 receptora-pantalla-alerta permite implementar un sistema de bajo costo, modular y adaptable a un territorio donde la conectividad convencional puede ser limitada. Además, la selección de tecnologías de bajo consumo y comunicación de largo alcance favorece la autonomía del sistema y su mantenimiento comunitario.

En el componente social, los documentos de IFRC, UNDRR, WMO, UNGRD, SIATA y los estudios participativos en Colombia resaltan que la efectividad de un SAT depende de la comprensión y apropiación de la comunidad. En este sentido, la sirena, la pantalla y la difusión por WhatsApp o Telegram no son accesorios, sino mecanismos que traducen el dato técnico en una señal comprensible y accionable para las familias expuestas.

En el contexto local, las experiencias de SIATA, SATC, SAMA y el caso de Bello Oriente demuestran que Medellín y Antioquia cuentan con antecedentes relevantes en alerta temprana, monitoreo hidrometeorológico, apropiación social y gestión comunitaria del riesgo. No obstante, el proyecto de El Pacífico aporta un valor diferencial: sistematiza una experiencia formativa y comunitaria concreta, construida desde un semillero de investigación y una comunidad con necesidades reales de monitoreo multiamenaza en la quebrada La Rafita y su entorno de ladera.

4.2. Conclusion del estado de arte

El estado del arte confirma que el proyecto del barrio El Pacífico se encuentra alineado con tendencias actuales en sistemas de alerta temprana multiamenaza, especialmente por su integración de monitoreo ambiental, monitoreo geotécnico, comunicación inalámbrica de bajo consumo, visualización local de datos y activación de alertas comunitarias. A la vez, se diferencia de otros desarrollos porque no se limita a un prototipo técnico aislado: se articula con la gestión comunitaria del riesgo, la investigación formativa del Semillero SIT y la apropiación social del conocimiento. Esta integración convierte la experiencia en un referente pertinente para comunidades urbanas de ladera expuestas a avenidas torrenciales, movimientos en masa y caída de rocas, y ofrece una base replicable para futuros sistemas comunitarios de bajo costo, mantenimiento local y respuesta inmediata.

5. Marco teórico conceptual

El presente marco teórico-conceptual reúne los conceptos centrales que permiten comprender la sistematización de la experiencia desarrollada por el Semillero de Investigación en Territorio —SIT— y la comunidad del barrio El Pacífico en torno al diseño y desarrollo de un Sistema Comunitario de Alertas Tempranas. A diferencia del estado del arte, este apartado no presenta antecedentes investigativos, sino los referentes conceptuales que orientan la interpretación de la experiencia, especialmente desde la sistematización, la investigación formativa, la gestión comunitaria del riesgo, los sistemas de alerta temprana y la apropiación social del conocimiento.

5.1. Sistematización de experiencias

La sistematización de experiencias se entiende como un proceso de reconstrucción, organización e interpretación crítica de una práctica concreta, con el propósito de producir conocimiento a partir de lo vivido. No se limita a describir actividades realizadas, sino que permite identificar decisiones, tensiones, aprendizajes, actores involucrados y transformaciones generadas durante el desarrollo de una experiencia. Desde esta perspectiva, Mejía (2008) plantea que la sistematización permite producir saber desde la práctica, especialmente en procesos educativos, sociales y comunitarios.

Este concepto resulta fundamental para el presente trabajo, debido a que la experiencia del SAT comunitario no se reduce al desarrollo técnico de un prototipo, sino que involucra una relación entre comunidad, universidad, territorio y tecnología. Por tanto, sistematizar esta experiencia implica comprender cómo se articuló el Semillero SIT con la comunidad, qué decisiones técnicas orientaron el proceso, qué dificultades surgieron durante el diseño y las pruebas, y qué aprendizajes se generaron a partir de la interacción entre los actores participantes.

5.2. Investigación formativa

La investigación formativa es una estrategia académica orientada al desarrollo de capacidades investigativas mediante la participación en procesos reales de indagación, experimentación y solución de problemas. Restrepo Gómez (2003) señala que la investigación formativa se diferencia de la investigación estrictamente productora de conocimiento, porque su propósito principal es formar sujetos capaces de investigar, analizar y aplicar saberes en contextos determinados.

En este proyecto, la investigación formativa se expresa en el trabajo desarrollado por el Semillero SIT, en tanto los estudiantes y docentes aplicaron conocimientos relacionados con la mecatrónica, la electrónica, la comunicación inalámbrica, la programación y el monitoreo ambiental en un escenario real. Esta experiencia permitió que el aprendizaje trascendiera el aula y el laboratorio, enfrentando condiciones propias del territorio, como la falta de línea de vista, la autonomía energética, la protección de componentes y la confiabilidad en la transmisión de datos.

5.3. Sistemas de alerta temprana

Un Sistema de Alerta Temprana —SAT— puede comprenderse como un conjunto articulado de capacidades, herramientas, procedimientos y actores orientados a anticipar situaciones de riesgo y facilitar decisiones oportunas para proteger la vida. De acuerdo con la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, los sistemas de alerta temprana centrados en las personas integran cuatro componentes fundamentales: conocimiento del riesgo, monitoreo y detección, comunicación de alertas y capacidad de respuesta (UNDRR, s. f.).

Desde esta perspectiva, el SAT comunitario del barrio El Pacífico no debe entenderse únicamente como un conjunto de sensores o dispositivos electrónicos. El prototipo de monitoreo de la quebrada La Rafita constituye un componente técnico dentro de un sistema más amplio, que requiere lectura comunitaria del riesgo, comunicación oportuna, interpretación de datos y protocolos de actuación. En consecuencia, el valor del sistema está en su capacidad para complementar las prácticas comunitarias existentes mediante información medible, transmisible y útil para la toma de decisiones.

5.4. Gestión Comunitaria del Riesgo

La Gestión Comunitaria del Riesgo reconoce que las comunidades no son únicamente receptoras de ayuda o beneficiarias de intervenciones institucionales, sino actores con capacidad para identificar amenazas, construir memoria territorial, definir rutas de evacuación, organizar protocolos y activar respuestas frente a situaciones de emergencia. Lavell (2001) plantea que el riesgo no debe comprenderse solo como un fenómeno natural, sino como una construcción social en la que intervienen amenazas, vulnerabilidades, capacidades y decisiones territoriales.

Este enfoque permite comprender la experiencia del barrio El Pacífico, donde la comunidad ya había identificado fenómenos como avenidas torrenciales, movimientos en masa y caída de rocas. Asimismo, había desarrollado prácticas propias de observación, prevención y respuesta. Por ello, el

SAT no se concibe como una solución externa que reemplaza el saber comunitario, sino como una herramienta que busca fortalecerlo mediante el monitoreo, el registro de datos y la comunicación de información relevante para la gestión del riesgo.

5.5. Apropiación social del conocimiento

La apropiación social del conocimiento se refiere al proceso mediante el cual distintos actores participan en la construcción, comprensión, uso y transformación del conocimiento científico o tecnológico. Desde la política pública colombiana, este concepto se relaciona con la participación, el diálogo de saberes, la democratización del conocimiento y el fortalecimiento de capacidades sociales para usar la ciencia y la tecnología en función de necesidades reales (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2021).

En el caso del SAT comunitario, la apropiación social del conocimiento se expresa en la interacción entre el saber territorial de la comunidad y el conocimiento técnico aportado por el semillero y la universidad. La comunidad contribuyó con memoria histórica, lectura del riesgo, identificación de puntos críticos y comprensión de las dinámicas del territorio; mientras que el semillero aportó herramientas de monitoreo, programación, comunicación inalámbrica y análisis técnico. La apropiación ocurre cuando estos saberes se articulan para construir una solución situada, comprensible y útil para la Gestión Comunitaria del Riesgo.

5.6. Diálogo de saberes y participación comunitaria

El diálogo de saberes permite reconocer que el conocimiento técnico y el conocimiento comunitario no son opuestos, sino complementarios. Desde la tradición latinoamericana de la investigación participativa, Fals Borda y Rahman (1991) plantean la importancia de construir conocimiento con las comunidades y no únicamente sobre ellas, reconociendo el valor del saber popular en los procesos de transformación social.

En esta investigación, el diálogo de saberes permite interpretar el SAT como una construcción situada. La comunidad aportó la comprensión del territorio, de sus amenazas y de sus formas locales de respuesta; mientras que la universidad aportó capacidades técnicas para transformar parte de ese conocimiento en un sistema de monitoreo. Esta relación fortalece el sentido comunitario del proyecto y permite comprender la experiencia como un proceso de construcción conjunta entre comunidad, academia y tecnología.

6. Metodología

6.1. Enfoque de la investigación

En este caso, el enfoque es cualitativo y cuantitativo porque busca comprender y sistematizar una experiencia desarrollada entre la comunidad, el semillero y la universidad.

6.2. Tipo y diseño de la investigación

Esta investigación es una sistematización de experiencia, con alcance descriptivo e interpretativo**,** y diseño experimental, porque analiza una experiencia real que manipula variables en laboratorio y campo.

6.3. Población y muestra

Según información de los líderes del barrio, El Pacífico está conformado aproximadamente por 1.100 personas. La muestra corresponde a los actores que participaron directamente en la experiencia: comunidad, líderes, docentes e integrantes del semillero.

6.4. Instrumentos de recolección de información

En este proyecto se emplearon entrevistas, registros fotográficos, videos, fichas de observación, matrices de sistematización, diagramas y registros de pruebas.

6.5. Fuentes primarias

Incluyen entrevistas, conversaciones, observaciones en campo, fotografías, videos, pruebas del prototipo y registros técnicos realizados durante el desarrollo del SAT.

6.6. Fuentes secundarias

Incluyen artículos, libros, normas, documentos institucionales, estado del arte, informes técnicos y referentes teóricos sobre SAT, gestión del riesgo y sistematización.

7. Resultados del proyecto

El proceso de sistematización hizo posible **reconstruir y examinar** la iniciativa de investigación formativa llevada a cabo por el Semillero de Investigación en Territorio (SIT), agrupaciones académicas aliadas y los habitantes del barrio El Pacífico. Este trabajo conjunto se centró en idear y estructurar un Sistema Comunitario de Alertas Tempranas (SAT). De manera global, **se comprobó** que el proyecto trascendió la simple fabricación de un artefacto tecnológico; por el contrario, articuló la exploración del entorno, la movilización ciudadana, la toma de decisiones técnicas, la ejecución de pruebas de funcionamiento y la proyección pedagógica, todo ello con el propósito de consolidar la Gestión Comunitaria del Riesgo.

7.1. Exploración espacial y acercamiento vecinal

En primer lugar, se constató que los vínculos preliminares entre la institución universitaria y los pobladores derivaron de labores de campo ejecutadas con anterioridad. **En particular**, destacó la intervención del Semillero de Investigación en Regiones (SIR) y de otros actores enfocados en promover la autonomía local. **En consecuencia**, dicho historial facilitó el ingreso al sector, permitiendo así asimilar sus dinámicas sociales, sus desafíos y las condiciones de vulnerabilidad latentes.

Gracias a esta inmersión, se detectaron peligros vinculados a flujos torrenciales, deslizamientos de tierra y desprendimientos rocosos. Cabe destacar que estas circunstancias adversas no amenazaban únicamente a los participantes directos de la iniciativa, sino a toda la población del asentamiento, calculada en unos 1.100 residentes. **Por consiguiente**, se ratificó la urgencia de potenciar las habilidades colectivas para vigilar, analizar y reaccionar eficazmente frente a eventuales emergencias.

Finalmente, como fruto de esta etapa de diagnóstico, se eligió a la quebrada La Rafita como el principal punto de observación. Esta decisión se fundamentó en su historial de desbordamientos abruptos y en el requerimiento imperativo de obtener métricas exactas sobre las variaciones en su caudal.

Posteriormente, se afianzó un vínculo colaborativo entre los pobladores, el estudiantado, el cuerpo docente y los miembros de los semilleros involucrados. Dicha convergencia posibilitó edificar una visión conjunta de la problemática, donde la sabiduría territorial de los habitantes trazó los requerimientos del mecanismo, mientras que la pericia tecnológica de la institución facilitó el planteamiento de alternativas de solución.

Durante esta etapa, los residentes suministraron datos cruciales sobre el historial de amenazas, las áreas de mayor vulnerabilidad, los métodos tradicionales de aviso y las características generales del entorno. De manera complementaria, el grupo investigativo sumó sus competencias en electrónica, programación, telecomunicaciones inalámbricas, modelado de prototipos y evaluación especializada. En consecuencia, el Sistema de Alertas Tempranas (SAT) comenzó a materializarse como una iniciativa forjada a partir de la sinergia entre las vivencias vecinales y la instrucción académica.

7.2. Estructuración Teórica y Operativa del Mecanismo

En el transcurso del diseño conceptual y técnico, se fijaron diversos principios rectores para el instrumento: modularidad, asequibilidad económica, adaptabilidad, certeza funcional, independencia energética y facilidad de reproducción. Si bien la herramienta se concibió como una respuesta integral frente a múltiples peligros espaciales, se determinó que su primer módulo operativo se enfocaría en vigilar el caudal de la quebrada La Rafita.

A lo largo de esta configuración, se adoptaron resoluciones ingenieriles de gran trascendencia. En un principio, se contempló el uso de plataformas como Arduino y módulos XBee; no obstante, los ensayos empíricos y las exigencias del medio condujeron a optar por microcontroladores ESP32 y protocolos de red LoRa, en virtud de su amplia cobertura, firmeza en la transmisión y versatilidad. Asimismo, se integraron componentes clave tales como sensores ultrasónicos, antenas, pantallas de visualización, sistemas de suministro eléctrico, relojes de tiempo real y unidades de almacenamiento de datos.

Finalmente, el logro primordial de este ciclo radicó en la definición de un esquema tecnológico preliminar para la alerta, organizado mediante un bloque remoto (transmisor) y una unidad base (receptora). Este andamiaje facilitó el progreso hacia la consolidación de un sistema

plenamente capacitado para cuantificar, emitir, exhibir y archivar los parámetros hídricos del afluente.

Durante esta etapa, se fabricó el instrumento de vigilancia estructurado en dos unidades fundamentales. **Por un lado**, el bloque remoto o transmisor tuvo la función de cuantificar la cota hídrica a través de un sensor ultrasónico y emitir las métricas vía red LoRa. **Por otro lado**, la estación base o receptora captó dichos valores, los proyectó en pantalla y facilitó su almacenamiento para respaldar el seguimiento del caudal.

En el transcurso de los ensayos funcionales, se comprobó la precisión de las lecturas, la fluidez comunicativa entre las partes, la exhibición de los registros y el comportamiento global del mecanismo en entornos auténticos. **Para tal fin**, se ejecutaron simulaciones de conectividad en diversos contextos, abarcando áreas con barreras físicas y sin línea de visión directa. **Como resultado**, estas prácticas demostraron que la tecnología elegida brindó un rendimiento idóneo para la topografía del barrio El Pacífico, destacándose por su amplia cobertura y firmeza en la transmisión.

Respecto al medidor sónico, se detectó que su eficacia estuvo supeditada a las características de su emplazamiento. Las cuantificaciones resultaron más constantes al situar el artefacto a una distancia menor a tres metros, alineado perpendicularmente al objetivo y con holgura espacial para evadir interferencias por rebote. **Asimismo**, se constató que la proximidad de objetos, la aparición de espuma o un montaje asimétrico mermaban la veracidad de la información.

En consecuencia, el dispositivo se perfiló como una alternativa viable sujeta a validación. **Sin embargo**, tanto este diseño inicial como la red de alertas en su totalidad continuaron en etapa de calibración, modificaciones técnicas y comprobación en terreno, buscando optimizar su certeza, solidez y perdurabilidad previo a su instauración concluyente.

7.3. Adopción Colectiva del Saber

Finalmente, se determinó que la asimilación social del conocimiento representó un pilar fundamental de la iniciativa, dado que el dispositivo se concibió para ser entendido, operado y preservado por los propios habitantes. **Bajo esta perspectiva**, dicha adopción no se interpretó simplemente como el suministro de un aparato, sino como la potenciación de las aptitudes vecinales

orientadas a discernir la operatividad del conjunto, diagnosticar averías elementales, involucrarse en su mantenimiento y garantizar su vigencia.

Con miras a lograr este objetivo, se planificó la creación de ciclos formativos y de un instructivo ilustrado. Estas herramientas pedagógicas persiguieron simplificar el aprendizaje sobre los elementos constitutivos, la mecánica general, el manejo cotidiano y el análisis de los avisos emitidos.

Por todo lo anterior, la experticia ingenieril no se limitó al entorno académico o investigativo, sino que se canalizó hacia la población en calidad de receptora primordial. En definitiva, este logro cobró trascendencia al enlazar el avance tecnológico con una táctica de instrucción comunitaria, asegurando la sostenibilidad y el empoderamiento ciudadano frente a la gestión del riesgo.

7.4. Síntesis de los Hallazgos

A modo de cierre, el ejercicio analítico logró dar cumplimiento cabal a las metas particulares formuladas al inicio de la indagación. Para ello, los resultados se estructuraron de la siguiente manera:

- En lo referente al primer propósito, se reconstituyó la ruta de instauración del modelo inicial. Esto se alcanzó mediante la identificación de sus distintas fases, las resoluciones ingenieriles adoptadas y los sucesos determinantes a lo largo del proyecto.
- Por su parte, en atención al segundo requerimiento, se detallaron los atributos del dispositivo. Dicha descripción se basó en su operatividad, fluidez comunicativa, captación de métricas y rendimiento preliminar bajo escenarios auténticos.
- En cuanto al último eslabón, se examinó la adopción colectiva de los saberes. Este fenómeno se comprendió como un proceso intrínsecamente ligado al involucramiento vecinal, el entendimiento del mecanismo y la planificación de herramientas didácticas destinadas a asegurar su correcta manipulación y perdurabilidad.

En definitiva, se determinó que la red preventiva implementada en el barrio El Pacífico representó una auténtica vivencia de indagación formativa y práctica. En dicho espacio, la sabiduría local, la experticia tecnológica y el respaldo institucional convergieron armónicamente para forjar una alternativa dirigida a vigorizar la administración comunitaria de las vulnerabilidades.

7.5. Caracterización general de componentes del prototipo

La siguiente tabla consolida los componentes utilizados en el prototipo, indicando su aplicación dentro del sistema, función, características técnicas, consumo energético de referencia y vida útil estimada. Para el cálculo de autonomía se toman los consumos del módulo emisor.

Aplicación	Imagen	Componente	Función	Características técnicas	Consumo / energía	Vida útil / observaciones
Emisor		**Panel solar OSDA ODA-020W18P**	Generación de energía para el módulo emisor.	Pmax 20 W; Vmp 18,36 V; Imp 1,09 A; Voc 22,49 V; Isc 1,15 A; temperatura -40 °C a 85 °C; dimensiones 440 × 350 × 25 mm; peso 1,90 kg; tecnología Poly-Si.	No consume; produce energía. Producción útil estimada: 40 a 56 Wh/día con 4 h solares y pérdidas reales.	10 a 20 años o más; depende de exposición, sombra, humedad, suciedad y estado del encapsulado.
Emisor		**Controlador de carga solar PWM 12/24 V**	Regulación de carga de batería y protección básica del sistema solar.	Control PWM para baterías de 12/24 V; bornes para panel, batería y carga; protecciones típicas contra sobrecarga, sobredescarga, cortocircuito e inversión de polaridad.	Autoconsumo de referencia: 10 mA a 12 V para el cálculo.	3 a 7 años; depende de temperatura, humedad, calidad de bornes y estabilidad eléctrica.
Emisor y receptor		**Batería sellada Duncan R-1290**	Almacenamiento de energía y respaldo ante ausencia de fuente principal.	Batería VRLA/AGM sellada; 12 V; 9 Ah; capacidad nominal aproximada 108 Wh. En el	No consume; entrega energía. Para autonomía se usa 50 % y 70 % de capacidad útil.	2 a 5 años en uso de respaldo; se reduce con descargas profundas, altas

				emisor permite operación nocturna o con baja radiación.		temperaturas o ciclos frecuentes.
Emisor y receptor		**Convertidor DC-DC XL4015**	Conversión de tensión desde el sistema de 12 V hacia 5 V para electrónica.	Buck step-down; entrada 8–36 VDC; salida ajustable 1,25–32 VDC; corriente máxima hasta 5 A; frecuencia 180 kHz; eficiencia máxima cercana al 95 % según carga.	Eficiencia usada para cálculo: 90 %. Se consideran pérdidas del 10 %.	3 a 7 años; depende de temperatura, corriente real, ventilación y protección contra humedad.
Emisor y receptor		**ESP32 DevKit 30 pines tipo C**	Procesamiento, control de periféricos y comunicaciones seriales.	Microcontrolador con CPU dual-core, Wi-Fi/Bluetooth, UART, I2C, SPI y GPIO. En este prototipo se usa UART, I2C y pines digitales; no se requiere Wi-Fi en el emisor.	80 a 160 mA en operación activa; para cálculo se usa 120 mA.	5 años o más si trabaja protegido contra humedad, sobretensión y temperatura excesiva.
Emisor		**Sensor ultrasónico A0121AU UART**	Medición de distancia al espejo de agua.	Voltaje lógico 3,3 a 5 V; corriente promedio <15 mA; zona ciega 28 cm; rango 28 a 750 cm; salida UART 9600 bps; respuesta	<15 mA; para cálculo se usa 15 mA.	3 a 7 años en exterior si se protegen cableado, uniones y conector.

				100 ms; 40 kHz ±1 kHz; IP67; ángulo 55° con campana y 40° sin campana.		
Emisor y receptor		**Módulo LoRa E32-433T30D**	Transmisión/recepción inalámbrica de datos entre módulos.	Módulo LoRa serial UART basado en SX1278; banda 410–441 MHz; operación 433 MHz; potencia 21–30 dBm; VCC 3,0–5,5 VDC; interfaz UART; alcance de referencia hasta 8 km en condiciones favorables.	Espera/recepción: 20–30 mA; transmisión máxima usada para cálculo: 650 mA durante ráfaga corta.	5 años o más con antena compatible, protección de humedad y alimentación estable.
Emisor y receptor		**Antena 5 dBi 433 MHz**	Radiación y recepción de señal para el enlace LoRa.	Antena externa para 433 MHz. Debe instalarse firmemente, con conector en buen estado y orientación adecuada para maximizar estabilidad del enlace.	No consume energía.	5 años o más; depende de humedad, corrosión, vibración, golpes y estado del conector.
Emisor y receptor		**Pantalla LCD 16x2 I2C**	Visualización local de estados, crecimiento y diagnóstico.	Pantalla alfanumérica de 16 columnas por 2 filas; interfaz I2C; alimentación típica 5 V;	20 a 60 mA; para cálculo se usa 40 mA con retroiluminación encendida.	3 a 5 años; la retroiluminación se degrada con uso permanente.

				dirección usada 0x27.		
Receptor		**Módulo RTC DS1307**	Registro de fecha y hora de eventos recibidos.	Reloj en tiempo real con bus I2C, dirección 0x68; trabaja con cristal de 32,768 kHz y batería de respaldo tipo moneda para mantener hora.	Típicamente 1 a 3 mA en operación del módulo; consumo muy bajo en respaldo.	5 años o más; la pila de respaldo debe cambiarse cuando pierda hora.
Receptor		**Módulo microSD SPI**	Almacenamiento de registros del sistema.	Módulo lector microSD por SPI; pines usuales GND, VCC, MISO, MOSI, SCK y CS. En el código RX.11.0 se usa CS en GPIO15 y archivo registro.txt.	20 mA promedio; puede subir hasta 80–100 mA durante escritura.	Depende de tarjeta y número de escrituras; recomendable usar tarjeta de buena calidad y registros por eventos.
Receptor	Genérico	**Fuente / etapa de alimentación desde 110 VAC**	Conversión de corriente doméstica a tensión DC para el receptor.	Etapa de alimentación para mantener receptor encendido desde red eléctrica y batería de respaldo. La salida regulada alimenta electrónica a 5 V mediante	No incluida en cálculo del emisor. Consumo depende de fuente y carga conectada.	3 a 7 años; depende de calidad de fuente, temperatura, protección y estabilidad de la red.

				convertidor DC-DC.		
Emisor y receptor	Genérico	**LED indicador**	Indicación visual de lectura, envío, recepción o estado.	LED conectado a pin digital mediante resistencia limitadora. En emisor se usa GPIO2; en receptor se usa GPIO13.	5 a 15 mA encendido; para cálculo del emisor se usa 2 mA promedio por uso intermitente.	Más de 10.000 horas, dependiendo de corriente y temperatura.
Emisor y receptor	Genérico	**Pulsador**	Entrada manual para forzar medición, reinicio funcional o prueba.	Pulsador conectado a entrada digital con pull-up interno. En emisor y receptor se usa GPIO27.	Consumo despreciable.	10.000 a 100.000 accionamientos, según calidad del componente.

Criterio de instalación del sensor ultrasónico El sensor A0121AU mide distancia mediante el retorno de una onda ultrasónica. La lectura corresponde al primer eco válido recibido dentro del área de propagación. Por esta razón, la condición crítica es mantener libre el punto de medición para que la onda se refleje sobre el espejo de agua y no sobre piedras, bordes, vegetación o estructuras cercanas.

En las pruebas realizadas en quebrada con flujo continuo, el movimiento normal del agua no se identificó como el principal factor de error. El criterio de montaje definido para el prototipo es instalar el sensor perpendicular al espejo de agua, con una altura aproximada de 1,50 m y un diámetro libre cercano a 1 m alrededor del punto de referencia.

7.6. Cálculo de consumo total del módulo emisor

El cálculo de consumo se realiza sobre el módulo emisor, considerando los componentes alimentados a 5 V desde el convertidor XL4015 y el autoconsumo del controlador de carga en el lado de 12 V.

Los consumos se toman como valores de diseño a partir de fichas técnicas y condiciones de uso del prototipo.

Variable de cálculo	Valor usado
ESP32 DevKit activo sin Wi-Fi	120 mA a 5 V
Sensor ultrasónico A0121AU	15 mA a 5 V
LCD 16x2 I2C con retroiluminación	40 mA a 5 V
LED indicador promedio	2 mA a 5 V
LoRa E32-433T30D en espera/recepción	25 mA a 5 V
LoRa E32-433T30D en transmisión máxima	650 mA a 5 V
Duración estimada de transmisión por paquete	0,25 s
Eficiencia del convertidor XL4015 usada	90 %
Autoconsumo controlador PWM	10 mA a 12 V

Para calcular el promedio del módulo LoRa se considera una transmisión corta por paquete y el resto del tiempo en espera:

$$I_{LoRa_promedio} = (I_{TX} \times t_{TX} + I_{espera} \times (T - t_{TX})) / T$$

Envío cada 5 s: $I_{LoRa} = (650\ mA \times 0.25\ s + 25\ mA \times 4{,}75\ s) / 5\ s = 56.2\ mA$

Envío cada 180 s: $I_{LoRa} = (650\ mA \times 0.25\ s + 25\ mA \times 179{,}75\ s) / 180\ s = 25.9\ mA$

Escenario	Corriente a 5 V	Potencia desde batería	Consumo diario	Autonomía nominal 108 Wh	Autonomía útil 50 %	Autonomía útil 70 %
Prueba actual: envío cada 5 s, LCD encendida	233 mA	1.42 W	34.0 Wh/día	76.3 h	38.1 h / 1.59 días	53.4 h / 2.22 días
Operación normal: envío cada 3 min, LCD encendida	203 mA	1.25 W	29.9 Wh/día	86.6 h	43.3 h / 1.80 días	60.6 h / 2.53 días
Operación optimizada: envío cada 3	163 mA	1.02 W	24.6 Wh/día	105.4 h	52.7 h / 2.20 días	73.8 h / 3.07 días

min, LCD apagada/atenuada						

La batería tiene una capacidad nominal de 108 Wh. Para preservar la vida útil de la batería AGM se recomienda diseñar la autonomía con un rango útil entre 50 % y 70 % de la capacidad. Bajo operación normal con envío cada tres minutos y pantalla encendida, el consumo estimado del emisor es de 29.9 Wh/día. Con la pantalla apagada o atenuada durante operación normal, el consumo baja a 24.6 Wh/día.

7.7. Balance energético con panel solar

El panel solar OSDA ODA-020W18P tiene una potencia máxima de 20 W. En una estimación simple con cuatro horas solares útiles, la generación nominal diaria es: 20 W × 4 h = 80 Wh/día.

Al considerar pérdidas por orientación, temperatura, controlador, cableado, polvo y condiciones ambientales, se estima una energía útil entre el 50 % y el 70 % de ese valor, es decir, aproximadamente 40 a 56 Wh/día.

La generación útil estimada cubre el consumo diario del emisor en operación normal (29.9 Wh/día con LCD encendida y 24.6 Wh/día con LCD apagada o atenuada). Por tanto, el sistema es viable energéticamente siempre que el panel reciba radiación suficiente y la batería permanezca en buen estado.

7.8. Ajustes recomendados

- Configurar el código final para transmisión normal cada tres minutos y transmisión más frecuente solo ante cambios significativos del nivel.
- Mantener la pantalla LCD del emisor encendida solo durante diagnóstico, instalación o pruebas; en operación permanente se recomienda apagar o atenuar la retroiluminación.
- Medir consumo real del emisor en tres estados: lectura sin transmisión, transmisión LoRa y operación normal con intervalo de tres minutos.
- Instalar el sensor con orientación perpendicular al espejo de agua y con diámetro libre cercano a 1 m alrededor del punto de medición.

• Asegurar sellado de caja, cableado, conectores del sensor, antena y entradas del panel solar para reducir fallas por humedad.

• Registrar pruebas de campo con voltaje de batería, paquetes enviados, paquetes recibidos, distancia entre módulos, hora, clima y observaciones del nivel de agua.

8. Conclusiones

La sistematización permitió reconocer que el Sistema Comunitario de Alertas Tempranas (SAT) del barrio El Pacífico constituyó una experiencia integral de investigación formativa aplicada. Aunque el prototipo de monitoreo de la quebrada La Rafita permaneció en fase de pruebas, el proceso global evidenció avances significativos en la articulación entre la tecnología, el territorio y la Gestión Comunitaria del Riesgo, cumpliendo así con el propósito central del estudio.

Reconstrucción y Caracterización del Prototipo (Objetivos Específicos 1 y 2) En relación con las fases de implementación y el desempeño técnico, el proyecto fortaleció las capacidades inherentes a la Tecnología en Sistemas Mecatrónicas. Específicamente, se consolidaron conocimientos en sensórica, electrónica, programación, comunicación inalámbrica e integración de módulos. A su vez, la validación funcional del modelo permitió que los estudiantes aplicaran sus saberes en un escenario real, evaluando la confiabilidad y robustez del equipo frente a las exigencias operativas y ambientales del entorno.

Apropiación Social del Conocimiento (Objetivo Específico 3) Por su parte, respecto a las dinámicas de interacción entre los actores, la participación vecinal resultó fundamental para orientar el sentido del dispositivo. Gracias a la comprensión que los habitantes poseían sobre sus propias amenazas, antecedentes, puntos críticos y métodos tradicionales de aviso, el SAT no se concibió como un elemento aislado. Por el contrario, se transformó en una herramienta situada, útil y edificada mediante el diálogo continuo con las necesidades reales de la población.

Proyección y Sostenibilidad de la Experiencia Finalmente, la iniciativa demostró poseer un alto potencial de réplica, escalamiento e innovación. Dado que su diseño modular facilitó la proyección de nuevas fases —como la integración de sensores adicionales, optimización de la conectividad, almacenamiento de datos y alertas automatizadas—, la experiencia comprobó que el acceso a la tecnología pudo democratizarse eficazmente cuando la academia, las instituciones y la comunidad trabajaron de manera sinérgica en el diseño de soluciones comprensibles y sostenibles.

9. Recomendaciones

Puesto que la iniciativa se encontraba en una fase de desarrollo y aprendizaje continuo, se recomendó proyectar el dispositivo como una plataforma comunitaria de monitoreo inteligente. Esta evolución buscó la integración progresiva de múltiples variables territoriales, tales como la cota hídrica, la pluviosidad, la humedad del suelo, la inclinación topográfica, la vibración y la eventual caída de rocas. De este modo, se planteó la transición de un prototipo básico hacia un sistema multiamenaza, modular y altamente escalable.

Integración de Análisis de Datos y Tecnologías Emergentes En relación con las etapas venideras, se consideró pertinente la futura incorporación de herramientas analíticas para identificar patrones de comportamiento hidrológico y geológico. Con el acopio de suficientes registros históricos, se proyectó que el esquema podría avanzar hacia modelos predictivos, tableros de visualización digital, mapas dinámicos y alertas estratificadas. Paralelamente, se sugirió explorar la asimilación de tecnologías emergentes —como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial para el reconocimiento de métricas y el uso de energía solar optimizada—, con el propósito de afianzar la autonomía operativa y la inmediatez de los avisos.

Fortalecimiento Pedagógico e Institucional Desde la perspectiva social, se aconsejó transformar el mecanismo en un espacio pedagógico; es decir, una escuela comunitaria de prevención donde residentes, líderes, estudiantes y docentes pudieran instruirse sobre sensórica, mantenimiento preventivo y lectura del entorno. Así, se buscó garantizar que la población no solo utilizara el equipo, sino que lograra entenderlo, preservarlo y cocrear sus mejoras. Asimismo, se propuso estrechar los vínculos con entidades gubernamentales, organismos de socorro y otros núcleos académicos. Dicha articulación tuvo como fin expandir la envergadura del trabajo, convirtiéndolo en un laboratorio vivo de innovación susceptible de ser replicado en zonas con vulnerabilidades análogas.

Democratización del Saber Tecnológico Finalmente, se enfatizó la importancia de mantener intacto el enfoque de democratización tecnológica. Se concluyó que el objetivo primordial no debía radicar exclusivamente en la sofisticación técnica, sino en garantizar que la innovación resultara comprensible, apropiable y verdaderamente útil para los habitantes. Bajo esta premisa, la experiencia

se perfiló como un modelo de progreso social donde la ciencia, la ingeniería y los saberes locales se entrelazaron armónicamente para anticipar desastres, salvaguardar vidas y cimentar la autonomía del territorio.

10. Referencias bibliográficas

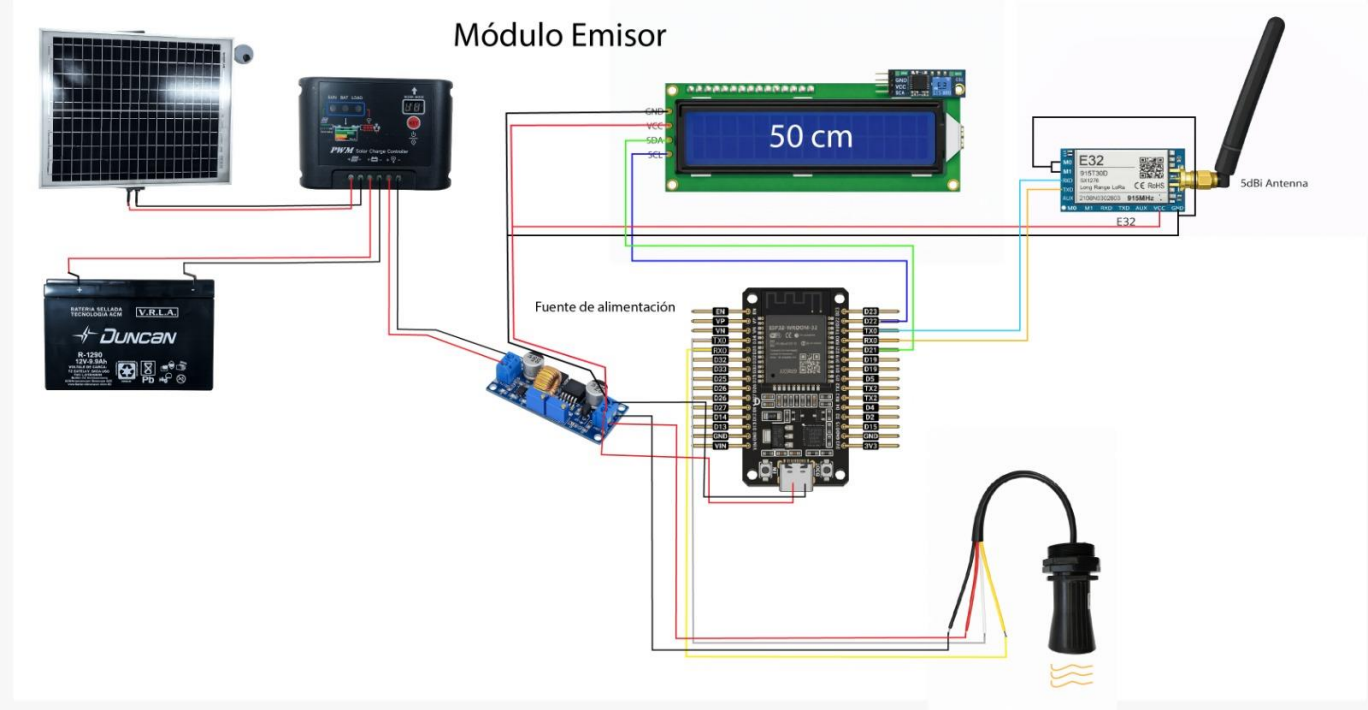
- Akanbi, A. (2023). Towards a microservice-based middleware for a multi-hazard early warning system. En M. Masinde & A. Bagula (Eds.), Emerging technologies for developing countries (pp. 179-191). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35883-8_12.
- Alcaldía de Medellín. (s. f.). Sistemas de Alerta Temprana Comunitaria SATC. Medellín: Sistema Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres. Recuperado de https://www.medellin.gov.co/sirmed/ Alcaldía de Medellín. (s.f.). *Quebradas de Medellín*.
- Bagwari, S., Gehlot, A., Singh, R., Priyadarshi, N., & Khan, B. (2022). Low-cost sensor-based and LoRaWAN opportunities for landslide monitoring systems on IoT platform: A review. IEEE Access, 10, 7107-7127. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3137841.
- Bonilla, V., Campoverde, B., & Yoo, S. G. (2023). A systematic literature review of LoRaWAN: Sensors and applications. Sensors, 23(20), 8440. https://doi.org/10.3390/s23208440.
- Congreso de Colombia. (2012). Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Bogotá: Diario Oficial.
- Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres de Antioquia [DAGRAN]. (2023). Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia, SAMA, un referente nacional. Medellín: Gobernación de Antioquia. Recuperado de https://dagran.antioquia.gov.co/.
- Fals Borda, O., & Rahman, M. A. (1991). *Acción y conocimiento: cómo romper el monopolio con investigación-acción participativa*. Bogotá, Colombia: CINEP.
- Giri, P., Ng, K., & Phillips, W. (2019). Wireless sensor network system for landslide monitoring and warning. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 68(4), 1210-1220. https://doi.org/10.1109/TIM.2018.2861999.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (s. f.). Boletín de alertas hidrológicas. Bogotá: IDEAM. Recuperado de https://www.ideam.gov.co/.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate change 2023: Synthesis report*. Geneva, Switzerland: IPCC.

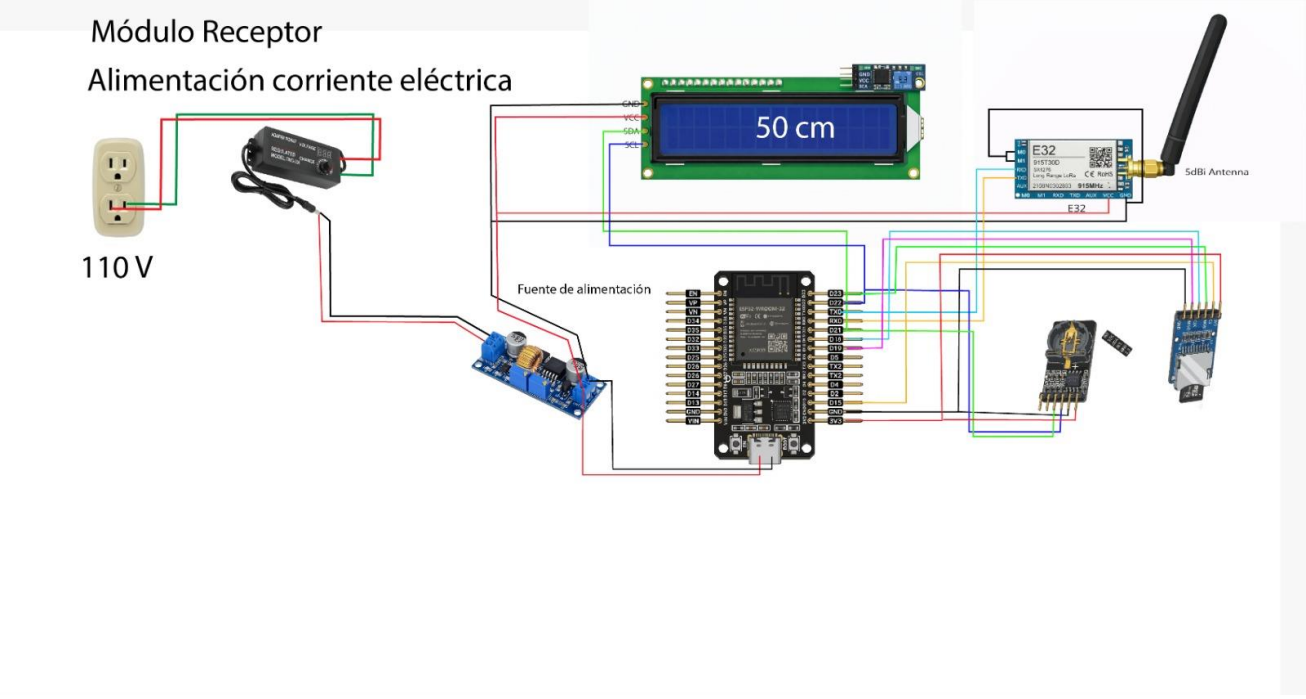
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies [IFRC]. (2012). Community early warning systems: Guiding principles. Geneva: IFRC. Recuperado de https://preparecenter.org/.
- Jara, O. (2018). *La sistematización de experiencias: práctica y teoría para otros mundos posibles*. Bogotá, Colombia: CINDE.
- Lavell, A. (2001). *Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición*. https://desastres.unanleon.edu.ni/pdf/2004/mayo/PDF/SPA/DOC15036/doc15036-contenido.pdf.
- López-García, J. D., Carvajal-Escobar, Y., & Enciso-Arango, A. M. (2017). Sistemas de alerta temprana con enfoque participativo: un desafío para la gestión del riesgo en Colombia. Revista Luna Azul, 44, 231-246. https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.14
- Mejía, M. R. (2008). *La sistematización: empodera y produce saber y conocimiento*. Bogotá, Colombia: Ediciones Desde Abajo.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2021). *Política pública de apropiación social del conocimiento en el marco de la CTeI*. Bogotá, Colombia: Minciencias.
- Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. (s.f.). *Gestión del riesgo de desastres: monitoreo de quebradas en el Valle de Aburrá*. Recuperado de Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid – Monitoreo de quebradas.
- Ragnoli, M., Leoni, A., Barile, G., Ferri, G., & Stornelli, V. (2022). LoRa-based wireless sensors network for rockfall and landslide monitoring: A case study in Pantelleria Island with portable LoRaWAN access. Journal of Low Power Electronics and Applications, 12(3), 47. https://doi.org/10.3390/jlpea12030047.
- Ragnoli, M., Scarsella, M., Leoni, A., Ferri, G., & Stornelli, V. (2023). Wireless sensor network-based rockfall and landslide monitoring systems: A review. Sensors, 23(16), 7278. https://doi.org/10.3390/s23167278.
- Restrepo Gómez, B. (2003). Investigación formativa e investigación productiva de conocimiento en la universidad. *Nómadas, 18*, 195-202.
- Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá [SIATA]. (s. f.). Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Recuperado de https://siata.gov.co/.
- Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá [SIATA]. (s. f.). Sistemas de Alerta Temprana Comunitarios SATC. Medellín: SIATA. Recuperado de https://siata.gov.co/.

- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD]. (2016). Guía para la implementación de sistemas de alerta temprana. Bogotá: UNGRD. Recuperado de https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD]. (2017). Guía para la participación comunitaria en la gestión del riesgo de desastres. Bogotá: UNGRD. https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD]. (2021). Guía para el desarrollo de sistemas de alerta temprana SAT. Bogotá: UNGRD. https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR] & World Meteorological Organization [WMO]. (2023). Global status of multi-hazard early warning systems 2023. Geneva: UNDRR/WMO. Recuperado de https://www.undrr.org/.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (s. f.). *Early warning system*. https://www.undrr.org/terminology/early-warning-system.
- Universidad de Antioquia. (2022). UdeA y Dagran implementan el Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia. Medellín: Universidad de Antioquia. Recuperado de https://www.udea.edu.co/.
- Werthmann, C., Sapena, M., Kühnl, M., Singer, J., García, C., Breuninger, T., Gamperl, M., Menschik, B., Schäfer, H., Schröck, S., Seiler, L., Thuro, K., & Taubenböck, H. (2024). Insights into the development of a landslide early warning system prototype in an informal settlement: The case of Bello Oriente in Medellín, Colombia. Natural Hazards and Earth System Sciences, 24, 1843-1870. https://doi.org/10.5194/nhess-24-1843-2024.
- World Meteorological Organization [WMO]. (2018). Multi-hazard early warning systems: A checklist. Geneva: WMO. Recuperado de https://community.wmo.int/.
- Zakaria, M. I., Jabbar, W. A., & Sulaiman, N. (2023). Development of a smart sensing unit for LoRaWAN-based IoT flood monitoring and warning system in catchment areas. Internet of Things and Cyber-Physical Systems, 3, 249-261. https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.04.005.
- Freire, P. (2005). *Pedagogía del oprimido* (2.ª ed.). México: Siglo XXI Editores.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Geneva: IPCC.

- Jara, O. (2018). *La sistematización de experiencias: práctica y teoría para otros mundos posibles*. Bogotá: CINDE.

Anexos 1


Módulo Emisor
50 cm
E32
5dBi Antenna
E32
Fuente de alimentación
DUNCAN
V.R.L.A.


Módulo Receptor
Alimentación corriente eléctrica
110 V
50 cm
E32
5dBi Antenna
E32
Fuente de alimentación