



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA DETECCIÓN DE RIESGOS NATURALES
UTILIZANDO TECNOLOGÍA LoRaWAN”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Linea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

Autor:

Judith Anghela Alba Quinche

Director:

Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD

Ibarra - Ecuador 2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL AUTOR:			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1727234005		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Judith Anghela Alba Quinche		
DIRECCIÓN:	Olmedo-Moyurco		
EMAIL:	jaalbaq@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	0997085521	TELÉFONO MÓVIL	0997085521
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	Sistema Automatizado para la Detección de Riesgos Naturales Utilizando Tecnología LoRaWAN		
AUTOR:	Judith Anghela Alba Quinche		
FECHA:	18 de febrero de 2026		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	Pregrado		
TÍTULO POR EL QUE OPTA	Ingeniero en Mecatrónica		
ASESOR/DIRECTOR	Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc/ Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD		

2. CONSTANCIAS

El autor(es) manifiesta(n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular(es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume(n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá(n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 18 de febrero de 2026

EL AUTOR:

Judith Anghela Alba Quinche



Universidad Técnica del Norte
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

En mi calidad de director del trabajo de grado “Sistema Automatizado para la Detección de Riesgos Naturales Utilizando Tecnología LoRaWAN”, presentado por el egresado Judith Anghe-la Alba Quinche, que opta por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, 18 de febrero de 2026

Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD

Director de Tesis



Universidad Técnica del Norte
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Tribunal Examinador del trabajo de titulación, “Sistema Automatizado para la Detección de Riesgos Naturales Utilizando Tecnología LoRaWAN”. Elaborado por Judith Anghela Alba Quinche, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, 18 de febrero de 2026

Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD

Director de Tesis

Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc

Asesor de Tesis

Dedicatorias

Con toda gratitud dedico este trabajo a mis padres, Gloria Beatriz Quinche Campues y Segundo Miguel Alba Alba, por ser los cimientos de mi vida y mi ejemplo de superación constante. A mi hija, Elodie Tabango, quien me dio la madurez y la fuerza para centrarme en mi carrera, siendo mi motor y mi mayor orgullo. A mi tío, Ing. Humberto Quinche, por hacerme conocer el mundo de la ingeniería de software y sembrar en mí el gusto por esta profesión. A mi tía Dorila y a mi primo Paúl Campues, por impulsarme con fe cuando ya me daba por vencida, y a mi hermano, Alan Alba, por su compañía incondicional desde que nació.

A mis amigos de la universidad, Sebastián Pambaquishpe, Alexander Montero y Lenin Colimba, por el compañerismo y el apoyo mutuo en los retos académicos; y a todos mis familiares y demás amigos que con un consejo me alentaron a seguir.

Y a Dios, por permitirme usar la ciencia para salvaguardar la vida y los bienes de quienes lo necesitan.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi tutor de tesis, PhD. Xavier Rosero, por su guía experta, su constante disposición y por ser un profesional comprensible que siempre estuvo abierto a brindarme su ayuda en cada etapa de este trabajo. Al PhD. David Ojeda, coordinador de carrera, por demostrar que detrás de sus grandes títulos existe una calidad humana excepcional que inspira a sus estudiantes. De igual manera, a la PhD. Brizeida Gamez, por su verdadera vocación de enseñar y por tener la amabilidad de corregir con paciencia y calidez académica. En el ámbito personal y técnico, agradezco a mi tío Luis Alba por brindarme su tiempo y conocimiento en las labores de soldadura, pieza clave para la materialización de este trabajo. Un agradecimiento especial a mi tío Ramiro Quinche, por su invaluable apoyo económico y por esos consejos oportunos que siempre me mantuvieron en el camino correcto. Finalmente, a mi universidad y a todas las personas que, de manera directa o indirecta, facilitaron los recursos y el conocimiento necesarios para concluir con éxito mi formación como ingeniera mecatrónica.

Resumen

En Ecuador, los desbordamientos de ríos presentan un problema ambiental y social frecuente, por lo general durante las temporadas lluviosas, afectando tanto a zonas rurales como a urbanas. Este problema genera pérdidas económicas, daños a infraestructuras y pone en riesgo la vida de las personas. Una de las principales causas es la falta de sistemas de monitoreo continuo y de alerta temprana que permitan a las autoridades actuar de manera preventiva. En la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, el río Ajaví se ha identificado como uno de los más propensos a desbordamientos, presentando desbordamientos por crecientes que han afectado a comunidades cercanas. Esta situación genera la necesidad de contar con herramientas tecnológicas eficientes para anticipar y mitigar los riesgos. El presente trabajo plantea el diseño e implementación de un sistema automatizado para la detección temprana de crecidas del río Ajaví, empleando tecnología LoRaWAN. El sistema está conformado por sensores de nivel de agua, humedad y temperatura, que se conectan a un nodo transmisor de bajo consumo energético alimentado por energía solar, mediante un sistema fotovoltaico. Los datos recolectados se envían por medio de LoRa a un gateway instalado en una vivienda cercana, el cual retransmite la información a la plataforma The Things Network (TTN). Desde allí, los datos pueden ser visualizados en tiempo real a través de una interfaz web y el sistema puede emitir alertas automáticas ante niveles críticos de agua. Esta solución busca aportar al fortalecimiento de la gestión de riesgos naturales en Ibarra mediante el uso de tecnologías de comunicación inalámbrica de bajo costo.

Palabras clave: Detección de crecientes, LoRaWAN, monitoreo ambiental, río Ajaví, alerta temprana, Gestión de riesgos naturales.

Abstract

In Ecuador, river overflows are a frequent environmental and social problem, especially during the rainy seasons, affecting both rural and urban areas. These events cause economic losses, infrastructure damage, and pose a threat to human life. One of the leading causes is the lack of continuous monitoring and early warning systems that allow authorities to take preventive action. In the city of Ibarra, Imbabura province, the Ajaví River has been identified as one of the most prone to overflowing, with sudden rises in water level that have impacted nearby communities and agricultural areas. This situation highlights the need for efficient technological tools to anticipate and mitigate these risks. This thesis proposes the design and implementation of an automated early warning system for river overflow detection in the Ajaví River, using LoRaWAN technology. The system includes water level, temperature, and humidity sensors connected to a low-power transmission node powered by a solar photovoltaic system. The data collected is sent via LoRa to a gateway installed in a nearby house, which forwards the information to The Things Network (TTN) platform. From there, the data can be visualized in real time through a web interface, and the system can generate automatic alerts when critical water levels are detected. This solution aims to strengthen the management of natural disaster risk in Ibarra through the use of low-cost wireless communication technologies.

Keywords: Flood detection, LoRaWAN, environmental monitoring, Ajaví River, early warning, natural risk management

Índice general

Dedicatorias	IV
Agradecimientos	V
Resumen	VI
Abstract	VII
Índice general	VIII
Índice de figuras	X
Índice de tablas	XII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. General	3
1.2.2. Específicos	3
1.3. Alcance	4
1.4. Justificación	5
II. MARCO REFERENCIAL	6
2.1. Estado del Arte	6
2.2. Marco Teórico	10
2.2.1. Riesgos naturales y su detección temprana	11
2.2.2. Internet de las Cosas (IoT) en la gestión de riesgos naturales	11
2.2.3. Redes de Sensores Inalámbricos e IoT	12
2.2.4. Redes LPWAN	12
2.2.5. Tecnología LoRa	13

2.2.6.	Red LoRaWAN	13
2.2.7.	Arquitectura LoRaWAN	14
2.2.8.	Desafíos LoRaWAN	15
2.2.9.	The Things Network (TTN)	15
2.2.10.	Gateway LoRaWAN	15
2.2.11.	Sistemas fotovoltaicos autónomos	16
III.MARCO METODOLÓGICO		17
3.1.	Modelo de Investigación	17
3.2.	Diseño de la Investigación	17
3.2.1.	<i>Fase 1: Establecimiento de una red LoRaWAN eficiente y confiable para la transmisión de datos relevantes a lo largo de los ríos locales</i>	17
3.2.2.	Fase 2 :Desarrollo de algoritmos de análisis de datos robustos y precisos que permitan la identificación de patrones y tendencias en los niveles de agua de los ríos	18
3.2.3.	<i>Fase 3: Desarrollo de una interfaz de usuario intuitiva y accesible que proporcione información sobre el estado de los ríos y genere alertas automáticas</i>	19
IV. DESARROLLO		20
4.1.	Especificaciones del sistema	20
4.2.	Requerimientos funcionales y técnicos	20
4.3.	Arquitectura del sistema	21
4.4.	Nodo Final	22
4.4.1.	Sensor de nivel de agua LMDS200 Dragino	23
4.4.2.	Sensor ambiental LSN50 Dragino LoRaWAN	24
4.4.3.	Sistema de alimentación autónomo del nodo final	25
4.4.4.	Análisis del consumo energético del sistema	29
4.5.	Gateway LoRaWAN	31
4.6.	Servidor Puente: TTN	32
4.6.1.	Registro y configuración de los dispositivos LoRaWAN en TTN	33
4.7.	Plataforma de gestión	37
4.7.1.	Integración de TTN con la plataforma Datacake.	37

4.8.	Alerta temprana en la nube	40
4.8.1.	Generación de alertas	41
4.9.	Funcionamiento general del sistema	45
V.	IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS	46
5.1.	Montaje	46
5.1.1.	Instalación y protección del dispositivo	46
5.2.	Pruebas	49
5.2.1.	Prueba de transmisión de datos	49
5.2.2.	Prueba de generación de alertas automáticas	55
5.2.3.	Prueba de variables ambientales	56
5.2.4.	Prueba de cobertura LoRaWAN	57
5.2.5.	Prueba de estabilidad de las mediciones	57
5.2.6.	Prueba de alimentación solar	58
5.2.7.	Prueba de integridad de datos en la plataforma	59
5.3.	Análisis de resultados y definición de algoritmos	60
VI.	CONCLUSIONES	62
VII.	RECOMENDACIONES	63
0.1.	Anexo A. Mensajes JSON decodificados de los sensores LoRaWAN	68
0.2.	Anexo B. Estructura metálica	69
0.3.	Anexo C. Instalación del dispositivo	71
0.4.	Anexo D. Gráfica del monitoreo del nivel de agua	72
0.5.	Anexo E. Gráfica del monitoreo de temperatura y humedad	73
0.6.	Anexo F. Alertas enviadas por correo	73

Índice de figuras

1.1. Aproximadamente 15 barrios y ciudades de Ibarra sienten los estragos de las lluvias [1]	2
1.2. Ubicación del caudal del río Ajaví	3
2.1. Los cinco principales riesgos identificados por la Encuesta de Opinión Ejecutiva (EOS) [2]	7
2.2. Proyecto HIP [3]	7
2.3. Arquitectura LoRa [4]	8
2.4. Topología estrella-de-estrella [5]	8
2.5. Modulación CSS [6]	13
2.6. Una arquitectura de red LoRaWAN típica	14
2.7. Sistema fotovoltaico autónomo [7]	16
4.1. Arquitectura del sistema de monitoreo	22
4.2. Diagrama del nodo final	23
4.3. Sensor de nivel LMDS200 [8].	24
4.4. Sensor de temperatura LSN50-v2 [9].	25
4.5. Panel solar 6V 5W [10].	26
4.6. Módulo TP4056 [11].	27
4.7. Conversor DC-DC Step-Down LM2596	28
4.8. Baterías 18650 Li-Ion de 3.7 V y 3000 mAh [12]	28
4.9. Gateway LoRaWAN Dragino LG308N [13].	32
4.10. Interfaz web del Gateway Dragino LG308N [13]	33
4.11. Interfaz del Gateway en TTN	34
4.12. Interfaz del sensor LMDS200 en TTN	35
4.13. Interfaz del sensor LSN50v2-8 en TTN	36
4.14. Interfaz de registro en Datacake	37
4.15. Registro del sensor LMDS200 en Datacake	38

4.16. Registro del sensor LSN50v2-8 en Datacake	39
4.17. Datos históricos de los sensores	40
4.18. Diagrama de decisión para la generación de alertas según los umbrales del sensor	42
4.19. Alertas del sensor LMDS200 en Datacake	43
4.20. Alerta crítica del sensor LMDS200 en Datacake	44
4.21. Alerta preventiva del sensor LMDS200 en Datacake	45
5.1. Estructura metálica instalada en la zona de monitoreo	47
5.2. Caja de protección IP55 instalada	47
5.3. Evidencia del funcionamiento del Gateway	49
5.4. Conexión del Gateway con TTN	50
5.5. Sensores conectados al Gateway en TTN	51
5.6. Funcionamiento de los sensores	52
5.7. Live Data del sensor LMDS200	53
5.8. Live Data del sensor LSN50v2-8	54
5.9. Correos de alerta crítica	56
0.1. Plano de la estructura metálica	70
0.2. Instalación del dispositivo parte 1	71
0.3. Instalación del dispositivo parte 2	72
0.4. Nivel del agua	72
0.5. Temperatura y Humedad	73
0.6. Correo de advertencia	73

Índice de tablas

4.1. Especificaciones técnicas del sensor LMDS200 [8].	24
4.2. Especificaciones técnicas del sensor LoRaWAN Dragino LSN50/LSN50-V2 [9]	25
4.3. Especificaciones técnicas del panel solar [10]	26
4.4. Especificaciones técnicas del módulo TP4056 [11].	27
4.5. Especificaciones técnicas del módulo LM2596 DC–DC Buck [14]	28
4.6. Especificaciones técnicas de la batería 18650 Li-Ion 3.7 V [12].	29
4.7. Resumen de materiales y equipos del sistema	29
4.8. Especificaciones técnicas del Gateway Dragino LG308N [13].	32
4.9. Configuración del Gateway Dragino LG308N en TTN [13]	34
4.10. Configuración del sensor LMDS200 en TTN [8]	35
4.11. Configuración del sensor LSN50v2-8 en TTN [9]	36
4.12. Configuración del sensor LMDS200 en Datacake	38
4.13. Configuración del sensor LSN50v2-8 en Datacake	39
4.14. Resumen de datos almacenados en Datacake por sensor	41
4.15. Configuración de la alerta crítica para el sensor LMDS200 en Datacake	43
4.16. Configuración de la alerta preventiva para el sensor LMDS200 en Datacake	44
5.1. Características de la estructura de instalación y protección del sistema	48
5.2. Resumen de la lectura de estado del gateway en TTN	50
5.3. Resumen de la lectura del sensor de nivel de agua LMDS200 en TTN	53
5.4. Resumen de la lectura del sensor LSN50 (temperatura y señales analógicas) en TTN	55
5.5. Lecturas registradas por los sensores LoRaWAN	55
5.6. Resultados de la prueba de variables ambientales del sensor LSN50v2-8	57
5.7. Prueba de cobertura LoRaWAN con lecturas reales de LMDS200 y LSN50v2-8	57
5.8. Resultados de la prueba de estabilidad de lecturas de LMDS200 y LSN50v2-8	58

5.9. Resultados de la prueba de alimentación solar para los sensores LMDS200 y LSN50v2-8	59
5.10. Prueba de integridad de datos de los sensores LMDS200 y LSN50v2-8 en Dacake	60

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En la ciudad de Ibarra, específicamente en el área atravesada por el río Ajaví, se enfrenta a un desafío recurrente de inundaciones. Este fenómeno representa una amenaza considerable para la seguridad de los residentes y la integridad de la infraestructura urbana. Actualmente, no se cuenta con un sistema de monitoreo avanzado, lo que dificulta la detección temprana de las crecidas, limita la capacidad de respuesta de las autoridades locales y aumenta el riesgo de daños significativos [15].

En Ibarra, el río Ajaví se desbordó producto de las fuertes precipitaciones del sábado 22 de abril de 2023. Varias vías colapsaron, especialmente aquellas que se encuentran junto al canal de desfogue, el cual va de oriente a occidente. Los expertos consideran que la falta de mantenimiento de las acequias del cerro Imbabura y del canal del río Ajaví representa el origen del rebase de las aguas en época invernal, acarreado todo tipo de materiales e ingresando a varios sectores de la ciudad. Álvaro Castillo, alcalde electo, quien ya ejerció esta función y fue gerente de EMAPA Ibarra, explicó que se requieren aproximadamente 10 millones para enfrentar el problema. A pesar de los trabajos de limpieza que ya cumplen dos días, obreros y maquinaria municipal no logran todavía evacuar todos los escombros. En varias arterias, la tierra y el polvo alcanzan una altura de 15 centímetros; el paso de automotores levanta nubes que afectan a los transeúntes, empapan las paredes de las viviendas y no permiten un normal desenvolvimiento de las actividades en los negocios asentados en esos lugares, donde el agua de lluvia superó el metro con cincuenta centímetros ese día. En la Figura 1.1 se muestra una fotografía tomada durante un evento de inundación ocurrido el 22 de abril de 2023.



Figura 1.1: Aproximadamente 15 barrios y ciudades de Ibarra sienten los estragos de las lluvias [1]

Entre las obras inmediatas, una vez que asuma la dirección del Municipio de Ibarra, el alcalde electo anunció la ejecución de trabajos de limpieza y mantenimiento tanto de las quebradas y taludes del Imbabura como del canal de conducción del río Ajaví, así como la revisión de las concesiones de las microempresas que explotan materiales pétreos en el Imbabura de forma antitécnica, las cuales serían otra de las causas que ocasionan taponamientos y desbordamientos de quebradas [1].

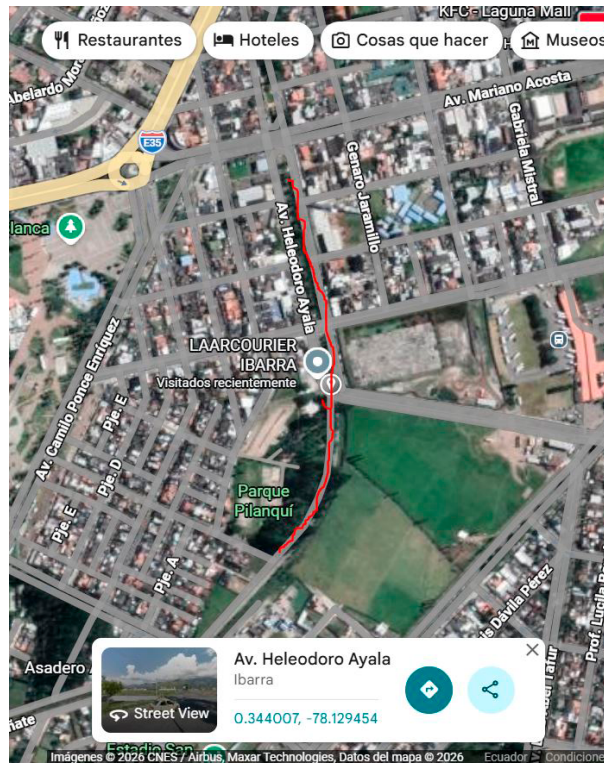


Figura 1.2: Ubicación del caudal del río Ajaví

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Desarrollar un sistema automatizado para la detección temprana de crecidas en los ríos que atraviesan la ciudad de Ibarra, mediante el uso de tecnología LoRaWAN.

1.2.2. Específicos

- Establecer una red LoRaWAN eficiente y confiable para la transmisión de datos relevantes a lo largo de los ríos locales.
- Desarrollar algoritmos de análisis de datos robustos y precisos que permitan la identificación de patrones y tendencias en los niveles de agua de los ríos.
- Desarrollar una interfaz de usuario intuitiva y accesible que proporcione información sobre el estado de los ríos y genere alertas automáticas.

1.3. Alcance

El presente proyecto tiene como finalidad monitorear las variables ambientales a través de una red LoRaWAN para el área de riesgos naturales por las crecientes de ríos. Esta información será adquirida mediante sensores y procesada por un microcontrolador y, a la vez, estos datos serán enviados en tiempo real mediante una interfaz intuitiva y accesible. Para el funcionamiento del sistema se implementará un sistema fotovoltaico. Esta implementación de energías renovables permitirá que el sistema sea portátil y que pueda mantener un flujo constante de energía en partes remotas donde no se cuente con conexión directa a la energía eléctrica. El proyecto está orientado a brindar soluciones para las comunidades que presentan inundaciones por las crecientes del río Ajaví de Ibarra.

1.4. Justificación

La implementación de un sistema automatizado para la detección de riesgos naturales utilizando tecnología LoRaWAN emplea un protocolo de comunicación de bajo consumo energético, diseñado para conexiones de larga distancia entre dispositivos de Internet de las Cosas (IoT), como sensores y actuadores con una red centralizada o descentralizada. La tecnología LoRa (Long Range), basada en una modulación de radio de espectro ensanchado, proporciona comunicaciones de largo alcance con un consumo mínimo de energía. LoRaWAN define el protocolo de comunicación y la arquitectura de red que posibilitan la comunicación bidireccional segura entre los dispositivos IoT y la infraestructura de red. Esta tecnología permite la transmisión inalámbrica de datos con bajo consumo energético y costos de implementación reducidos y, por tanto, el sistema se comunicará a través de IoT, enviando datos en tiempo real a la nube para el monitoreo continuo del nivel del agua en el río. Esto facilitará la detección temprana de posibles crecientes, brindando a la comunidad información oportuna para observar los cambios en el nivel del agua y tomar decisiones anticipadas para mejorar la capacidad de respuesta. Esto contribuirá a mitigar el impacto de este fenómeno natural en la comunidad local.

Capítulo II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Estado del Arte

Las inundaciones representan a uno de los desastres naturales más frecuentes y destructivos, ya que causan anualmente un elevado número de víctimas y significativas pérdidas económicas a nivel mundial. Frente a esta problemática, resulta fundamental fortalecer las estrategias de respuesta y gestión del riesgo de inundaciones. En la última década, el avance tecnológico ha abierto nuevas oportunidades de investigación, con múltiples estudios enfocados en el uso de imágenes provenientes de cámaras y datos obtenidos mediante redes de sensores inalámbricos, en el contexto del Internet de las Cosas (IoT), con el fin de optimizar la gestión de inundaciones, la estimación del nivel del agua y el desarrollo de sistemas de alerta temprana, un campo que hasta el momento ha sido poco explorado [16].

Ecuador es considerado uno de los países más vulnerables a los desastres naturales, según el Informe sobre Riesgos Mundiales del año 2023. El fenómeno de El Niño, responsable de inundaciones en algunas regiones del país y de sequías en otras, constituye uno de los eventos climáticos más relevantes que Ecuador ha enfrentado durante el periodo comprendido entre los años 2023 y 2024 [2].

Ecuador

- 1 Estancamiento económico prlongado
- 2 Desigualdad digital
- 3 Desastres naturales y fenómenos meteorológicos extremos
- 4 Crisis de empleo y de medios de vida
- 4 Crisis de empleo y de medios de vida
- 5 colapso del estado

Figura 2.1: Los cinco principales riesgos identificados por la Encuesta de Opinión Ejecutiva (EOS) [2]

Como respuesta inicial a esta problemática, en el marco del proyecto HIP Erosión El Coca se instalaron pluviómetros con el objetivo de fortalecer el sistema de alerta temprana comunitario en la cuenca, proporcionando información que permita alertar a la población ante posibles eventos de inundación. No obstante, estos dispositivos son monitoreados de manera visual por voluntarios comunitarios, lo que evidencia la ausencia de un mayor desarrollo tecnológico en el proceso de monitoreo y alerta [3].



Figura 2.2: Proyecto HIP [3]

A partir de estas limitaciones, diversos estudios señalan que las precipitaciones se han presentado de manera cada vez más abrupta, lo que ha ocasionado inundaciones y deslaves. Al no disponer de un sistema de alerta basado en el nivel del agua, se han producido pérdidas

económicas significativas. Para prever una posible inundación, se evalúa la cantidad de líquido recolectado en el pluviómetro, cuyos datos son procesados por un microprocesador y posteriormente transmitidos a través de un Gateway LoRa, con el fin de generar la respectiva alerta a la comunidad [17]. En este contexto, la necesidad urgente de monitorear y gestionar los riesgos naturales en zonas urbanas mediante tecnologías avanzadas que permitan un manejo preciso de los datos, junto con la implementación de una red IoT basada en tecnología LoRa, facilita la recolección y el análisis de información en tiempo real [4].

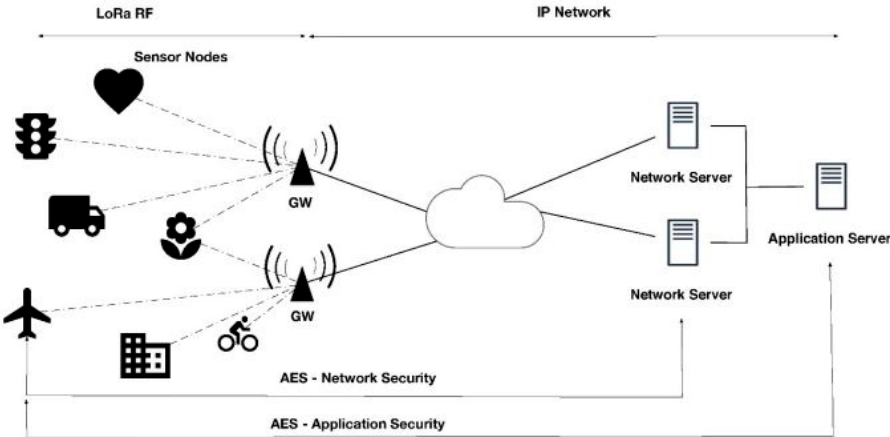


Figura 2.3: Arquitectura LoRa [4]

La búsqueda de sistemas que permitan obtener parámetros físicos asociados a las fuerzas de la naturaleza ha posicionado a la tecnología como un elemento fundamental para realizar diagnósticos rápidos y de bajo costo. En este sentido, la tecnología LoRa posee la capacidad de transmitir datos a largas distancias con un bajo consumo de energía, enviando la información hacia plataformas en la nube (IoT) y generando señales de alerta oportunas [5].

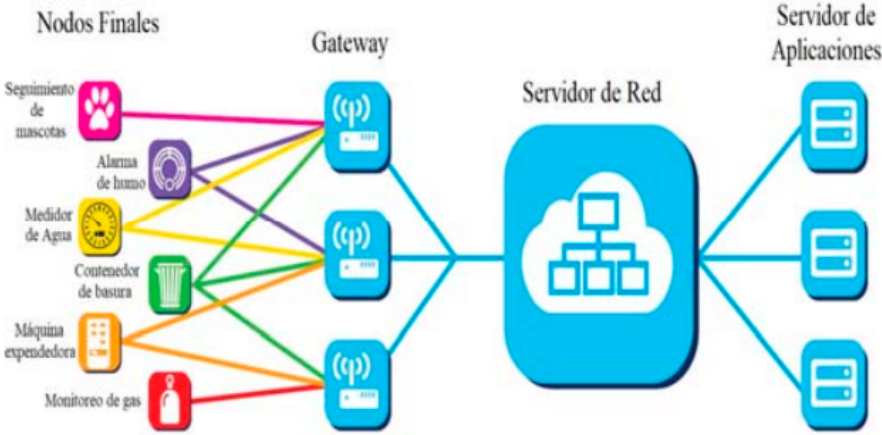


Figura 2.4: Topología estrella-de-estrella [5]

Sobre esta base tecnológica, la tecnología de comunicación LoRaWAN ha sido diseñada para aplicaciones relacionadas con el Internet de las Cosas (IoT) y se destaca por su capacidad de transmitir datos a largas distancias con un consumo energético reducido. Estas características han impulsado su adopción en diversas áreas, como el monitoreo ambiental, la agricultura de precisión y aplicaciones vinculadas con la salud y la movilidad, entre otros sectores [18]. Posteriormente, se desarrolló un sistema de monitoreo remoto basado en LoRaWAN para medir el nivel de los ríos, en el cual se analizó la cobertura de la red y la fiabilidad de la transmisión de datos, demostrando que LoRaWAN constituye una alternativa viable para la vigilancia de cuencas hidrográficas.

Asimismo, se presenta un sistema de monitoreo remoto innovador que utiliza el protocolo LoRaWAN e incorpora una interfaz web con un panel para la visualización de los datos obtenidos por un sensor de consumo de agua. La implementación del sistema incluye un microcontrolador ESP32 con radio LoRa como nodo, junto con un sensor de flujo de agua conectado a la red hidráulica del Instituto Tecnológico de La Paz. Además, se configuró una estación base (Gateway LoRaWAN) basada en una Raspberry Pi, encargada de transmitir los datos al servidor de red The Things Stack, mientras que la plataforma ThingsBoard Cloud actúa como servidor de aplicación [19].

En [20], los autores desarrollan un sistema de monitoreo de inundaciones para las llanuras a lo largo del río Muar, fundamentado en el uso de una puerta de enlace IoT móvil para monitorear en tiempo real los niveles de agua. Los datos recopilados por el nodo terminal LoRa se transmiten a la puerta de enlace IoT móvil mediante tecnología LoRaWAN antes de ser enviados a la nube, con el objetivo de advertir a las comunidades cercanas ante posibles riesgos de desbordamiento.

En continuidad con las implementaciones previas, en [21] se presenta un sistema de monitoreo de la salud de los mineros basado en IoT, que obtiene datos de la frecuencia cardíaca y los niveles de SpO₂, además de registrar condiciones ambientales como la calidad del aire. La comunicación de los datos se realiza mediante tecnología LoRaWAN.

Por otro lado, en el centro de Dublín se implementó un sistema de monitoreo del río Liffey, donde se presentan los resultados del uso de tecnologías de redes de área amplia y baja potencia (LPWAN) y PoC en el contexto de ciudades inteligentes. Para ello, se desplegó un transceptor LPWAN basado en LoRa y un módem 3G como respaldo, junto con varios sensores destinados a la medición de la temperatura y la profundidad del agua [22]. En [23], los autores analizan

el uso de las tecnologías LoRa y LoRaWAN en sistemas de monitoreo distribuidos en entornos urbanos, destacando su capacidad para transmitir datos en tiempo real con bajo consumo energético y amplia cobertura. El estudio se enfoca en la gestión inteligente de estacionamientos, y los resultados evidencian la confiabilidad de las redes LoRaWAN para aplicaciones IoT con múltiples nodos sensores, características que resultan transferibles a sistemas de monitoreo ambiental y de alerta temprana ante riesgos naturales.

La integración del Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube como soporte tecnológico para el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) es abordada en [24]. El estudio destaca que el uso de infraestructuras en la nube permite aprovechar altas capacidades de almacenamiento y procesamiento, mientras que los dispositivos IoT facilitan la automatización del proceso de recolección de datos. En este contexto, se propone un desarrollo basado en modelos que guían la implementación y el despliegue de sistemas distribuidos en entornos cloud, aplicables al monitoreo de la calidad del aire y extrapolables a sistemas de monitoreo ambiental e hidrológico.

En [25] se presenta el diseño de un Sistema de Alertas Tempranas (SAT) comunitario orientado a ríos de pequeño y mediano caudal, los cuales no son monitoreados de forma permanente por entidades estatales. El estudio se desarrolla a partir del análisis del comportamiento hidráulico de ríos cercanos a poblaciones vulnerables, la determinación de ubicaciones óptimas para el despliegue del sistema y el uso de tecnologías de comunicación de largo alcance, como LoRa y LoRaWAN, para la transmisión de información hacia la comunidad.

En [26] se presenta el desarrollo de un prototipo electrónico basado en Internet de las Cosas (IoT) orientado a la prevención de inundaciones en el embalse del Guájaro, ubicado en el departamento del Atlántico. El sistema propuesto permite la adquisición de datos para determinar los niveles de agua mediante sensores, además de una plataforma web junto con una aplicación móvil para la visualización remota de la información. Se emplean tecnologías de comunicación inalámbrica y protocolos ligeros de transmisión de datos, garantizando una operación continua, de bajo costo y con un consumo energético reducido. Los autores destacan la importancia del uso de sistemas autónomos, robustos y seguros para el monitoreo hidrológico.

2.2. Marco Teórico

En esta sección se analizan las tecnologías fundamentales que permiten el desarrollo del sistema automatizado para la detección de riesgos naturales mediante el uso de tecnología Lo-

RaWAN. Estas tecnologías hacen posible el monitoreo de variables ambientales, la adquisición de datos y su transmisión a largas distancias a través de soluciones basadas en el Internet de las Cosas (IoT). En el contexto de este proyecto, los algoritmos de análisis de datos se fundamentan en reglas lógicas, evaluación de umbrales, análisis temporal y generación de alertas automáticas, implementadas mediante plataformas IoT.

2.2.1. Riesgos naturales y su detección temprana

Ecuador es uno de los países con mayor presencia de riesgos naturales, según el reporte global del año 2023 [2]. El río Ajaví, ubicado en la ciudad de Ibarra, ha presentado varios desbordamientos durante los últimos años, los cuales han provocado pérdidas económicas y sociales en la comunidad local. Estos eventos se deben principalmente a la presencia de lluvias intensas que han ocasionado inundaciones en diversos sectores de la ciudad, poniendo en riesgo la infraestructura y la seguridad de los habitantes [27].

La detección temprana de crecidas en ríos es fundamental para la prevención de desastres naturales y la minimización de daños. Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) tienen como función principal informar con antelación y con un alto grado de precisión sobre la posible ocurrencia de una amenaza o evento adverso, ya sea de origen natural o provocado por la actividad humana. Estos sistemas permiten identificar vulnerabilidades que podrían generar situaciones de alto riesgo para la población, facilitando la toma de decisiones preventivas. Este tipo de procesos resulta aplicable tanto a eventos naturales como a aquellos generados por el ser humano, destacándose principalmente por su capacidad de vigilancia y monitoreo continuo [28].

2.2.2. Internet de las Cosas (IoT) en la gestión de riesgos naturales

El Internet de las Cosas (IoT) se define como una tecnología basada en la interconexión de diversos dispositivos inteligentes u objetos físicos a Internet, los cuales recopilan, transmiten y procesan información sobre su entorno para generar servicios de valor para los usuarios finales. Estos dispositivos son capaces de reconocer eventos o cambios en el entorno y reaccionar de forma autónoma y adecuada. Una de las principales características del IoT es la provisión de una infraestructura que permite superar la brecha entre los objetos del mundo físico y su interpretación dentro de los sistemas de información digitales [29].

La gestión del riesgo se fundamenta en tres procesos principales: el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y la gestión de desastres. El proceso de conocimiento del riesgo puede fortalecerse mediante el desarrollo de plataformas basadas en el Internet de las Cosas (IoT), a

través de sistemas de alerta temprana que permiten la recolección automática de datos provenientes de diversos sensores. Esto contribuye a mejorar la detección, monitoreo y evaluación de amenazas naturales, facilitando la toma de decisiones preventivas [30].

2.2.3. Redes de Sensores Inalámbricos e IoT

Las Redes de Sensores Inalámbricos (Wireless Sensor Networks, WSN) están compuestas por nodos sensores encargados de recopilar información del entorno y transmitirla de forma inalámbrica hacia un sistema central. Estas redes constituyen la base de múltiples aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT), especialmente cuando se combinan con tecnologías de comunicación de largo alcance como las redes LPWAN.

Las WSN se emplean principalmente en aplicaciones de monitoreo, tales como la supervisión ambiental, la medición inteligente y el control de procesos. Su alta eficiencia energética permite que los dispositivos operen durante largos periodos con un consumo mínimo de energía, lo que resulta especialmente adecuado para entornos industriales y zonas remotas donde las comunicaciones inalámbricas pueden verse afectadas por interferencias, atenuación de la señal y efectos de multipath [31].

En este contexto, tecnologías como LoRa y LoRaWAN destacan como soluciones clave dentro del ecosistema IoT industrial, debido a su capacidad para transmitir datos a largas distancias desde ubicaciones remotas, impulsando la implementación de diversos proyectos IoT en múltiples sectores.

2.2.4. Redes LPWAN

LPWAN (Low Power Wide Area Network) es un tipo de red inalámbrica de telecomunicaciones diseñada para transmitir pequeñas cantidades de datos a largas distancias, alcanzando hasta 10 km en condiciones de línea de vista. Estas redes se caracterizan por su baja tasa de transferencia de datos, generalmente en el orden de los kilobits por segundo (kbps) o incluso bits por segundo (bps), así como por su reducido consumo energético [6].

Dentro de esta categoría, la red LoRaWAN se destaca como uno de los estándares más utilizados, ya que aprovecha la tecnología de modulación LoRa para garantizar una comunicación eficiente y confiable. Además, opera en bandas de frecuencia no licenciadas, como las bandas ISM, lo que facilita su implementación en proyectos IoT orientados a la transmisión de datos desde sensores y estaciones remotas.

The Things Network (TTN) proporciona una infraestructura abierta y colaborativa para el

despliegue de redes basadas en LoRaWAN, permitiendo la interconexión de dispositivos IoT con servidores de aplicaciones de forma escalable y segura.

2.2.5. Tecnología LoRa

LoRa (Long Range) es una tecnología de comunicación inalámbrica perteneciente a las redes LPWAN, diseñada para ofrecer transmisiones de datos a distancias superiores a 2 km con un consumo energético reducido. Esta tecnología comprende dos componentes principales: LoRa, que corresponde a la capa física o técnica de modulación, y LoRaWAN, que define el protocolo de comunicación utilizado sobre dicha capa física.

La técnica de modulación empleada por LoRa es el Chirp Spread Spectrum (CSS), basada en el espectro ensanchado, la cual codifica la información mediante una secuencia de pulsos denominados chirps. Estos pulsos presentan una variación progresiva de frecuencia en el tiempo, ya sea ascendente (upchirp) o descendente (downchirp), permitiendo una comunicación robusta entre dispositivos incluso en entornos con alto nivel de ruido.

La modulación CSS se ilustra en la Figura 2.5 [6].

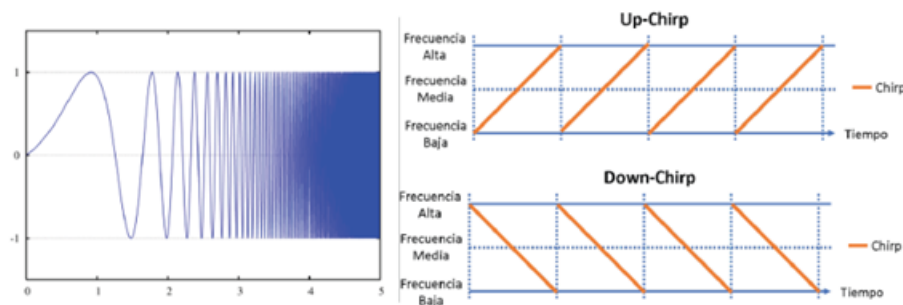


Figura 2.5: Modulación CSS [6]

2.2.6. Red LoRaWAN

Es la capa de acceso al medio de la red LoRa, a través de un protocolo de red de gran alcance y baja potencia (LPWAN), creada para vincular de manera inalámbrica “cosas” con una estructura de red en topología estrellada. Funciona a través de baterías y permite la conexión a Internet en redes regionales, nacionales o globales. Además, posibilita la comunicación bidireccional, de bajo costo, móvil y segura para aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT), comunicación máquina a máquina (M2M), ciudades inteligentes y usos industriales.

No obstante, LoRa tiene la responsabilidad de establecer la comunicación de largo alcance dentro de la capa física y, como resultado, el protocolo LoRaWAN emplea cifrado AES-128

mediante las claves AppSKey y NwkSKey, garantizando la seguridad de la red, donde se detalla la estructura de comunicación y el tipo de encriptación de los datos [32].

2.2.7. Arquitectura LoRaWAN

Las redes LoRaWAN se despliegan en una topología de estrella de estrellas, como se muestra en la Figura 2.6.

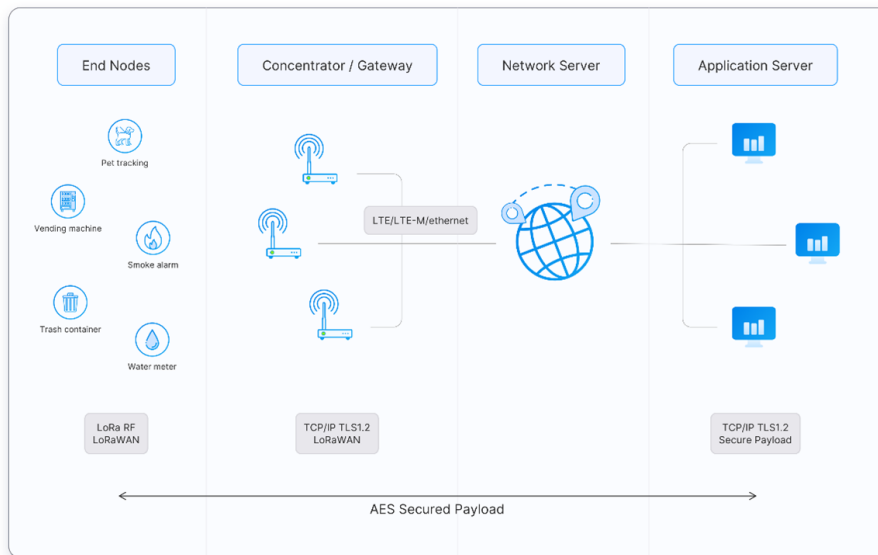


Figura 2.6: Una arquitectura de red LoRaWAN típica

- **Dispositivos finales:** Son sensores o actuadores que transmiten datos de forma inalámbrica utilizando modulación LoRa hacia las puertas de enlace o, en algunos casos, reciben instrucciones de estas.
- **Puertas de enlace:** Se encargan de recibir los mensajes enviados por los dispositivos finales y retransmitirlos hacia el servidor de red.
- **Servidor de red:** Es un software que opera en un servidor y gestiona el funcionamiento de toda la red LoRaWAN, asegurando la comunicación eficiente entre los diferentes componentes.
- **Servidores de aplicaciones:** Software implementado en un servidor cuya función principal es procesar de manera segura los datos provenientes de las aplicaciones, garantizando su integridad y disponibilidad.
- **Servidor de unión:** Es un software alojado en un servidor que maneja las solicitudes de unión enviadas por los dispositivos finales durante el proceso de autenticación y registro

en la red. Cabe destacar que este servidor no se representa en la figura correspondiente [33].

2.2.8. Desafíos LoRaWAN

Las señales LoRa pueden verse afectadas por interferencias y colisiones simultáneas de transmisión, lo que representa una limitación significativa para la red. Debido a ello, LoRaWAN enfrenta problemas de escalabilidad, principalmente en áreas con un alto número de dispositivos conectados. Para tratar estos desafíos, la LoRa Alliance ha desarrollado múltiples versiones del protocolo LoRaWAN; por otro lado, la comunidad de investigación ha trabajado en diversas soluciones para mejorar su rendimiento [34].

Desde el año 2015, LoRaWAN se convirtió en el centro de atención y, en consecuencia, atrajo el interés de la investigación en seguridad, donde se han demostrado una serie de vulnerabilidades por medio de simulaciones y enfoques teóricos. La interoperabilidad y la variedad de implementaciones dificultan la evaluación de riesgos específicos para una red LoRaWAN en particular, motivo por el cual se desarrolló ChirpOTLE, un marco de evaluación para la seguridad de LoRa y LoRaWAN [35].

2.2.9. The Things Network (TTN)

The Things Network (TTN) es una comunidad global del Internet de las Cosas basada en una plataforma abierta que permite la creación de redes, dispositivos y soluciones utilizando tecnología LoRaWAN. Este ecosistema está impulsado por The Things Stack, un servidor LoRaWAN que constituye un componente crítico para cualquier solución basada en esta tecnología. Además, es una plataforma de código abierto, cuyos componentes del backend son públicos y pueden ser accedidos por cualquier persona a través de un proyecto alojado en GitHub. Por lo tanto, esta red presenta características que la hacen ideal para el desarrollo de proyectos basados en TTN [6].

2.2.10. Gateway LoRaWAN

El Gateway desempeña un papel fundamental en el funcionamiento de LoRaWAN, ya que permite la comunicación entre los dispositivos distribuidos (sensores, actuadores, entre otros) y el Network Server, encargado de administrar la red y enviar la información a las aplicaciones. Su tarea principal es captar los datos enviados por los nodos LoRa y transmitirlos al servidor de red a través de TCP/IP, además de enviar comandos a los dispositivos cuando sea necesario.

En redes LoRaWAN de gran extensión, se emplean varios Gateways para proporcionar cobertura en áreas amplias, como ciudades. No obstante, en redes privadas o de menor tamaño, donde la distancia entre los nodos y el Gateway es reducida, un solo Gateway puede ser suficiente para gestionar la red. En estos escenarios, el Gateway puede asumir la función del Network Server, evitando la necesidad de un servidor dedicado y simplificando la infraestructura de la red [36].

2.2.11. Sistemas fotovoltaicos autónomos

Los sistemas fotovoltaicos autónomos convierten directamente la radiación solar en electricidad mediante paneles solares compuestos por células fotovoltaicas. Originalmente, esta tecnología se utilizó para alimentar satélites de comunicación en el espacio; sin embargo, en la actualidad se ha convertido en una solución ampliamente utilizada para la generación de energía renovable en zonas sin acceso a la red eléctrica.

Estos sistemas están diseñados para proporcionar energía de manera continua, ya que no solo generan electricidad durante el día, sino que también incluyen un sistema de almacenamiento que permite el uso de la energía acumulada en horas nocturnas o en días nublados. Sus principales componentes incluyen: paneles solares fotovoltaicos, baterías de almacenamiento, controlador de carga e inversor (si es necesario), el cual convierte la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA), adecuada para el funcionamiento de dispositivos eléctricos, como se muestra en la Figura 2.7 [7].



Figura 2.7: Sistema fotovoltaico autónomo [7]

Capítulo III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Modelo de Investigación

En el presente trabajo de titulación se emplea una investigación descriptiva, debido a que se recopilan y analizan datos sobre varios conceptos, aspectos, dimensiones y componentes del fenómeno en estudio [37]. Es descriptiva, ya que permite caracterizar el comportamiento del nivel del agua del río Ajaví mediante el uso de sensores LoRaWAN, así como analizar el desempeño de la red de comunicación utilizada para transmitir los datos obtenidos facilitando la observación y descripción de variables relevantes sin alterar el entorno natural del río. La investigación también es de tipo aplicada ya que consiste en abordar y solucionar un problema en específico [38], está orientada a resolver un problema específico: la prevención de riesgos naturales en la ciudad de Ibarra mediante el desarrollo de un sistema funcional. Por otro lado, también se hace uso de la investigación documental de campo dado que se realizarán pruebas de campo para validar la funcionalidad del sistema implementado.

3.2. Diseño de la Investigación

Para el desarrollo del presente trabajo, se llevan a cabo varias actividades individuales para alcanzar los objetivos establecidos. Estas actividades se realizan de manera secuencial y detallada, con el propósito de alcanzar los objetivos planteados para la implementación del sistema automatizado de detección de crecidas en el río Ajaví.

3.2.1. Fase 1: *Establecimiento de una red LoRaWAN eficiente y confiable para la transmisión de datos relevantes a lo largo de los ríos locales*

Aplicando metodología de la investigación se examinan las alternativas tecnológicas LoRaWAN existentes y se establecen los lugares estratégicos para colocar sensores a lo largo del río

Ajaví. Además, se elabora la estructura de la red, incorporando sensores, enrutadores y estaciones base, garantizando una transmisión fiable.

Actividad 1: Análisis de soluciones LoRaWAN

En esta actividad se realiza una investigación detallada sobre las opciones disponibles para establecer una red LoRaWAN, además de la selección de los respectivos sensores, considerando aspectos como cobertura, costo, y compatibilidad con los sensores seleccionados.

Actividad 2: Determinación de puntos estratégicos para la colocación de sensores LoRaWAN

Mediante una investigación de campo, se identifican las ubicaciones clave para instalar los sensores, asegurando una cobertura óptima y representativa del comportamiento del río Ajaví.

Actividad 3: Diseño de la arquitectura del sistema de sensores LoRaWAN

Se realiza el diseño de la red de sensores, estableciendo la configuración de nodos, gateways, estaciones base para la recopilación y transmisión de datos.

3.2.2. Fase 2 :Desarrollo de algoritmos de análisis de datos robustos y precisos que permitan la identificación de patrones y tendencias en los niveles de agua de los ríos

En esta fase los sensores LoRaWAN se instalan en los lugares estratégicos elegidos y se conectan a la red para recolectar información sobre el nivel del agua. Adicionalmente, se crean algoritmos para procesar y examinar estos datos, reconociendo patrones y tendencias en la conducta del río Ajaví, esenciales para la identificación precoz de crecidas.

Actividad 1: Implementación y configuración de sensores LoRaWAN

Se instalan los sensores en los puntos estratégicos identificados, y se realizan las configuraciones respectivas para recopilar datos relacionados con el nivel de agua.

Actividad 2: Integración y pruebas de la red LoRaWAN

Se implementa el sistema de red LoRaWAN. Además, de realizar la configuración y prueba de conectividad entre los sensores y la red LoRaWAN, verificando la estabilidad y confiabilidad de la transmisión de datos.

Actividad 3: *Recopilación de datos históricos de los sensores LoRaWAN instalados en el río Ajaví*

Se analizan los datos iniciales recolectados, comparándolos con registros históricos para validar su precisión y relevancia.

Actividad 4: *Desarrollo de algoritmos de análisis de datos del nivel de agua del río Ajaví*

Se diseña e implementa algoritmos que permitan procesar y analizar los datos de los sensores. Además, identifica patrones de comportamiento de posibles crecidas que puede presentar el río Ajaví y que pueda ocasionar desbordamientos.

3.2.3. Fase 3: *Desarrollo de una interfaz de usuario intuitiva y accesible que proporcione información sobre el estado de los ríos y genere alertas automáticas*

Se desarrolla una interfaz sencilla que presenta datos actualizados sobre los niveles de agua y produce alertas automáticas en situaciones de valores críticos. Se incorporan todos los elementos del sistema, desde los sensores hasta la plataforma, comprobando su operación conjunta para evitar peligros de forma eficaz.

Actividad 1: *Desarrollo de la interfaz de usuario*

Se crea una plataforma accesible para el usuario donde pueda visualizar los datos recopilados, mostrando gráficos y tendencias de los niveles de agua del río.

Actividad 2: *Desarrollo del sistema de alertas automáticas*

Se implementa a la interfaz notificaciones automáticas que alertan a los usuarios cuando los niveles de agua alcanzan valores críticos, priorizando la prevención de riesgos.

Actividad 3: *Prueba del sistema en conjunto*

Mediante una validación integral del sistema se evalúa la interacción entre sensores, red LoRaWAN, algoritmos y la interfaz de usuario, asegurando que todos los componentes funcionen de manera coordinada.

Capítulo IV

DESARROLLO

Este capítulo presenta los resultados obtenidos del desarrollo de un sistema automatizado para la detección temprana de riesgos naturales utilizando tecnología LoRaWAN. Se detallan las especificaciones técnicas del dispositivo diseñado, la selección de materiales, los cálculos realizados. Se implementa un sistema automatizado que utiliza sensores de nivel de agua y humedad, alimentados por energía fotovoltaica, y transmite los datos a través de un gateway LoRaWAN hacia la plataforma TTN. La información recopilada es visualizada mediante un servidor web; cuando se detectan niveles críticos, se generan alertas automáticas. Los resultados obtenidos demuestran la del sistema integrado, ya que permite el monitoreo y análisis continuos de las condiciones del río para la detección temprana de crecidas.

4.1. Especificaciones del sistema

El sistema desarrollado tiene como objetivo monitorear de manera autónoma el incremento del nivel del agua del río Ajaví mediante la implementación de sensores conectados a una red LoRaWAN, los cuales transmiten los datos hacia un servidor web que permite su visualización y la generación de alertas. Para ello, se establecen especificaciones técnicas y operativas que orientan la selección de los componentes, garantizando el cumplimiento de los requerimientos necesarios para su funcionamiento en zonas rurales y alineándose con los objetivos planteados en el proyecto.

4.2. Requerimientos funcionales y técnicos

El sistema debe cumplir con los siguientes requerimientos técnicos y funcionales:

- Operar de manera autónoma en exteriores sin depender de la red eléctrica.
- Transmitir datos mediante comunicación inalámbrica de largo alcance utilizando tecno-

logía LoRaWAN.

- Permitir la visualización remota de la información a través de una plataforma web.
- Generar alertas automáticas cuando el nivel del río supere los umbrales críticos establecidos.
- Almacenar y procesar datos históricos para su posterior análisis.
- Utilizar componentes de bajo consumo energético y resistentes a condiciones ambientales adversas.

4.3. Arquitectura del sistema

Como se muestra en la Figura 4.1, el sistema inicia con un nodo sensor autónomo que mide el nivel, la humedad y la temperatura del río para luego transmitir los datos mediante tecnología LoRaWAN a un gateway. Este dispositivo se conecta a internet y envía la información a TTN, donde los datos se procesan y se emiten alertas. El nodo sensor se alimenta mediante un sistema fotovoltaico, lo que permite su funcionamiento continuo en campo.

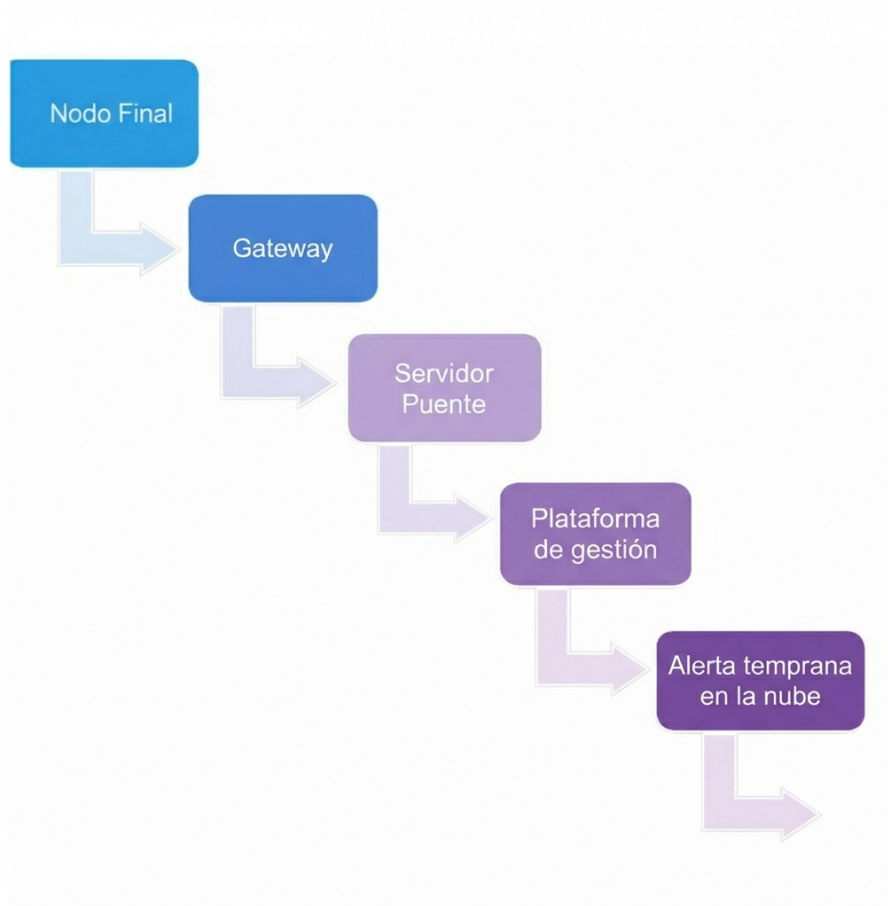


Figura 4.1: Arquitectura del sistema de monitoreo

4.4. Nodo Final

El nodo final constituye el principal elemento de adquisición de datos del sistema de monitoreo de crecidas del río Ajaví. Este nodo se conforma por sensores LoRaWAN autónomos encargados de medir el nivel del agua y las variables ambientales, así como por un sistema de alimentación fotovoltaico que garantiza su funcionamiento continuo en campo sin dependencia de la red eléctrica. El nodo final opera de manera autónoma, realiza mediciones periódicas y transmite los datos directamente al gateway LoRaWAN mediante el protocolo LoRaWAN, bajo un esquema de bajo consumo energético.

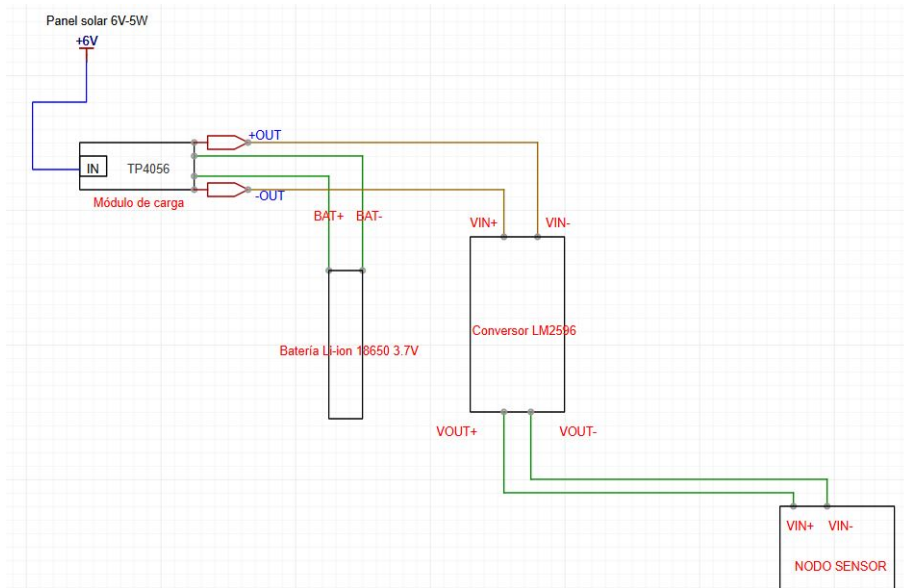


Figura 4.2: Diagrama del nodo final

4.4.1. Sensor de nivel de agua LMDS200 Dragino

El sensor LMDS200 de Dragino es un sensor de distancia basado en radar de microondas que opera como un nodo LoRaWAN autónomo. Su función principal es medir el nivel del agua del río sin contacto físico, lo que evita el deterioro del dispositivo y garantiza mediciones confiables en entornos fluviales. El sensor emplea tecnología de radar a 24 GHz para determinar la distancia entre el dispositivo y la superficie del agua, lo que permite identificar incrementos progresivos o bruscos en el nivel del río, los cuales pueden indicar un posible desbordamiento. El LMDS200 incorpora un microcontrolador interno que gestiona la adquisición de datos, la codificación del *payload* y la transmisión directa a la red LoRaWAN mediante activación OTAA o ABP [8].

En la Figura 4.3 se presenta el sensor LMDS200, mientras que en la Tabla 4.1 se detallan sus principales especificaciones técnicas.



Figura 4.3: Sensor de nivel LMDS200 [8].

Tabla 4.1: Especificaciones técnicas del sensor LMDS200 [8].

Sensor	Parámetro	Valor / Rango
LMDS200 (nivel de agua)	Rango de medición	0.5 m – 20 m
	Precisión	± 1 cm
	Frecuencia de radar	24 GHz
	Comunicación	LoRaWAN OTAA (US915)
	Protección	IP66
	Batería interna	8500 mAh
	Intervalo de transmisión	Configurable (ej. 20 min)

4.4.2. Sensor ambiental LSN50 Dragino LoRaWAN

El sensor Dragino LSN50-V2 es un nodo LoRaWAN diseñado para la medición de variables ambientales como temperatura y humedad relativa. Este dispositivo complementa el monitoreo del nivel del río, lo que permite analizar las condiciones climáticas que influyen en el comportamiento hidrológico del entorno. El LSN50 integra un microcontrolador de ultrabajo consumo STM32L0 junto con un módulo de radio LoRa basado en el chipset Semtech SX1276/SX1278, lo que le permite operar durante largos periodos con baterías de alta capacidad. Además, cuenta con una carcasa resistente con grado de protección IP66, adecuada para instalaciones en exteriores [9].

En la Figura 4.4 se muestra el sensor LSN50-V2 y en la Tabla 4.2 se presentan sus especificaciones técnicas.



Figura 4.4: Sensor de temperatura LSN50-v2 [9].

Tabla 4.2: Especificaciones técnicas del sensor LoRaWAN Dragino LSN50/LSN50-V2 [9]

Parámetro	Valor / Descripción
Modelo	Dragino LSN50 / LSN50-V2
Protocolo	LoRaWAN 1.0.3 Clase A
Microcontrolador	STM32L072xx (ARM Cortex-M0+)
Memoria	128–192 KB Flash / 20 KB RAM / 6 KB EEPROM
Chip de radio	Semtech SX1276 / SX1278
Frecuencia	433 / 868 / 915 / 920 MHz
Alcance de enlace	Hasta 168 dB (<i>link budget</i>)
Potencia de salida	+20 dBm (100 mW)
Sensibilidad RX	Hasta –148 dBm
Modulación	LoRa, FSK, GFSK, MSK, OOK
Consumo en reposo	2.7 μ A @ 3.3 V
Consumo RX	7.2 mA
Consumo TX	125 mA @ 20 dBm
Batería	Li/SOC ₁₂ 4000–8500 mAh
Temperatura de operación	–40 °C a +85 °C
Protección	Carcasa impermeable IP55
Aplicación	Monitoreo ambiental e IoT remoto

4.4.3. Sistema de alimentación autónomo del nodo final

Para garantizar el funcionamiento continuo del nodo final en zonas sin acceso a la red eléctrica, se implementa un sistema de alimentación autónomo basado en energía solar. Este sistema se compone de un panel solar, un módulo de carga, una batería recargable y un convertor DC-DC, los cuales permiten la generación, el almacenamiento y la regulación de energía para los dispositivos LoRaWAN instalados.

Panel solar 6V – 5W. El panel solar seleccionado es un panel de 6 V y 5 W, diseñado para aplicaciones de bajo consumo energético. Este panel convierte la radiación solar en energía eléctrica, lo que permite la recarga de la batería durante las horas de insolación. Su tamaño compacto y eficiencia lo hacen adecuado para alimentar nodos IoT en campo [10]. En la Figura 4.5 se muestra el panel solar y en la Tabla 4.3 se presentan sus especificaciones.



Figura 4.5: Panel solar 6V 5W [10].

Tabla 4.3: Especificaciones técnicas del panel solar [10]

Parámetro	Valor / Descripción
Tipo	Panel solar fotovoltaico monocristalino
Potencia nominal	10 W
Voltaje nominal	6 V / 12 V
Corriente máxima	1.6 A aprox.
Uso	Sistemas autónomos de bajo consumo
Instalación	Exterior

Módulo de carga TP4056. El módulo TP4056 se utiliza para la gestión de la carga de la batería de iones de litio. Este módulo permite la recarga segura de baterías de 3.7 V e incorpora protecciones contra sobrecarga, sobredescarga y cortocircuito, lo que garantiza la seguridad y prolonga la vida útil del sistema energético [11]. En la Figura 4.6 se muestra el módulo y en la Tabla 4.4 se presentan sus especificaciones.

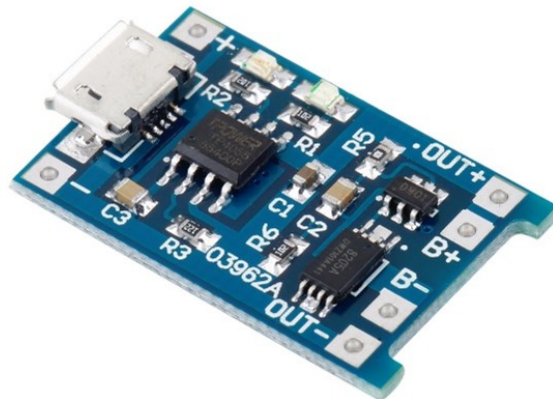


Figura 4.6: Módulo TP4056 [11].

Tabla 4.4: Especificaciones técnicas del módulo TP4056 [11].

Parámetros	Valor / Descripción
Chip principal	TP4056
Voltaje de entrada	4.5–5.5 V (micro USB o IN+ / IN–)
Voltaje de salida	4.2 V (corte de carga)
Corriente de carga	1 A máx. (ajustable con resistencia)
Protecciones integradas	Sobre/sobredescarga y cortocircuito (DW01 + MOS)
Indicadores LED	Rojo (cargando), Azul/Verde (completo)
Dimensiones	25 × 17 mm
Uso típico	Carga de baterías Li-Ion 3.7 V tipo 18650
Conectividad	Micro USB o pines de soldadura
Temperatura de operación	0 °C – 60 °C

Convertor DC-DC Step-Down LM2596. El módulo LM2596 es un convertor DC-DC tipo reductor encargado de regular el voltaje de salida del sistema de alimentación. Este dispositivo permite adaptar el voltaje proveniente de la batería al nivel requerido por los sensores LoRa-WAN, lo que asegura una alimentación estable y eficiente [14]. En la Figura 4.7 se muestra el convertor y en la Tabla 4.5 se presentan sus especificaciones.



Figura 4.7: Conversor DC-DC Step-Down LM2596

Tabla 4.5: Especificaciones técnicas del módulo LM2596 DC-DC Buck [14]

Parámetro	Valor / Descripción
Tipo de convertidor	DC-DC Step-Down (Buck)
Chip principal	LM2596
Voltaje de entrada	4 V – 40 V DC
Voltaje de salida	1.25 V – 35 V DC (ajustable)
Corriente máxima	Hasta 3 A
Eficiencia típica	80–90 %
Frecuencia de conmutación	150 kHz
Protección	Térmica y contra sobrecorriente
Método de ajuste	Potenciómetro integrado
Aplicación	Regulación de voltaje en sistemas IoT

Batería Li-Ion 18650. El sistema utiliza una batería recargable de iones de litio tipo 18650 con una tensión nominal de 3.7 V y una capacidad de 3000 mAh. Esta batería almacena la energía generada por el panel solar, lo que permite el funcionamiento del nodo final durante periodos sin radiación solar [12]. En la Figura 4.8 se muestran las baterías y en la Tabla 4.6 se presentan sus especificaciones.



Figura 4.8: Baterías 18650 Li-Ion de 3.7 V y 3000 mAh [12]

Tabla 4.6: Especificaciones técnicas de la batería 18650 Li-Ion 3.7 V [12].

Parámetro	Valor / Descripción
Tipo de batería	Litio-Ion (Li-Ion)
Tensión nominal	3.7 V
Capacidad típica	3000 mAh
Corriente de descarga continua	Hasta 2 A (variable según marca)
Ciclo de vida útil	300–500 ciclos de carga
Protección interna	No siempre incluida (según modelo)
Dimensiones	18 mm × 65 mm
Peso aproximado	45–50 g
Uso recomendado	Proyectos electrónicos, IoT, nodos LoRa
Recargable	Sí, con módulos como TP4056

Resumen de materiales del nodo final. La Tabla 4.7 presenta un resumen de los principales materiales y equipos que conforman el nodo final del sistema de monitoreo.

Tabla 4.7: Resumen de materiales y equipos del sistema

Elemento	Cantidad
Sensor de nivel LMDS200	1
Sensor ambiental LSN50	1
Gateway LoRaWAN Dragino LG308N	1
Antena LoRa 915 MHz	1
Panel solar 6 V 5 W	1
Batería Li-Ion 18650	1
Módulo TP4056	1
Convertor DC–DC LM2596	1

4.4.4. Análisis del consumo energético del sistema

El análisis energético del sistema permite verificar el funcionamiento autónomo del nodo sensor instalado en el río Ajaví. Para ello, se evalúa el consumo de los sensores, la capacidad de almacenamiento energético de la batería y el dimensionamiento del sistema fotovoltaico implementado.

El consumo energético del sistema está determinado principalmente por el sensor de nivel de agua LMDS200. Este dispositivo trabaja en modo de reposo la mayor parte del tiempo y solo demanda energía durante la medición y la transmisión de datos mediante LoRaWAN. Como se detalla en la Tabla 4.1, se presentan las especificaciones técnicas del sensor LMDS200. El consumo promedio estimado del sensor durante la operación normal es de aproximadamente 10 mA, con un voltaje de operación comprendido entre 3.3 V y 5 V, lo cual resulta adecuado para la aplicación de monitoreo autónomo en zonas sin acceso a la red eléctrica. El consumo del sensor LSN50 es menor en comparación con el LMDS200 [9], ya que opera la mayor parte del tiempo en modo de bajo consumo. Por esta razón, el análisis energético se realiza considerando el

consumo del LMDS200 como el caso más crítico, lo que garantiza un rendimiento conservador del sistema.

- **Consumo promedio estimado:** 10 mA
- **Voltaje de operación:** 3.3 V – 5 V

Capacidad de la batería. El sistema utiliza una batería recargable de iones de litio tipo 18650, con una tensión nominal de 3.7 V y una capacidad de 3000 mAh. Esta batería almacena la energía necesaria para garantizar el funcionamiento del sistema durante periodos sin radiación solar, como se detalla en la Tabla 4.6.

- **Tensión nominal:** 3.7 V
- **Capacidad:** 3000 mAh

Esto proporciona una energía disponible de:

$$E = V \times C = 3,7V \times 3Ah = 11,1Wh \quad (4.1)$$

Por lo tanto, la batería proporciona una energía aproximada de 11,1 Wh para alimentar el sistema.

Autonomía estimada sin carga solar. Se considera un consumo promedio de 10 mA a 3,7 V. La potencia consumida por el sistema se calcula de la siguiente manera:

$$P = V \times I = 3,7V \times 0,01A = 0,037W \quad (4.2)$$

$$\text{Autonomía} = \frac{11,1Wh}{0,037W} = 300h = 12,5 \text{ días} \quad (4.3)$$

Esto equivale a un aproximado de 12 días y medio de funcionamiento continuo. Sin embargo, al considerar las pérdidas por eficiencia del convertidor DC-DC, el módulo de carga TP4056 y las condiciones ambientales reales, se estima una autonomía práctica entre 5 y 7 días sin recarga solar.

Dimensionamiento del panel solar. El panel solar seleccionado es de 6 V y 5 W, como se presenta en la Tabla 4.3. Este recarga la batería durante las horas de radiación solar, y la corriente máxima suministrada por el panel se estima mediante:

$$P = 5WI = \frac{5W}{6V} = 0,83A \quad (4.4)$$

Considerando un promedio de 4 horas de radiación solar al día:

$$Energadiaria = 5W \times 4 \text{ horas} = 20Wh \quad (4.5)$$

Esta energía resulta suficiente para recargar la batería diariamente, incluso al tomar en cuenta los márgenes de eficiencia perdidos por el módulo TP4056 o por condiciones climáticas.

4.5. Gateway LoRaWAN

Se implementa un gateway LoRaWAN, es un dispositivo de bajo costo diseñado para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) que requieren comunicación de largo alcance. Se basa en Linux y utiliza un concentrador Semtech SX1301 para recibir múltiples señales de nodos LoRa de manera simultánea.

Es compatible con la banda US915, lo que permite enviar los datos recolectados a plataformas como TTN mediante conexión a Internet a través de Ethernet o Wi-Fi. Este dispositivo resulta adecuado para aplicaciones de monitoreo, ya que permite recibir datos de sensores ubicados a grandes distancias y transmitirlos a la nube en tiempo real [13]. En la Figura 4.9 se muestra el gateway y en la Tabla 4.8 se presentan sus especificaciones técnicas.



Figura 4.9: Gateway LoRaWAN Dragino LG308N [13].

Tabla 4.8: Especificaciones técnicas del Gateway Dragino LG308N [13].

Parámetro	Valor / Descripción
Modelo	Dragino LG308N
Frecuencia LoRa	US915 (compatible con Ecuador)
Concentrador LoRa	SX1301 + 2× SX1257 (8 canales)
Procesador	OpenWRT Linux Embedded
Conectividad	Ethernet RJ45 / Wi-Fi / USB
Alimentación	5 V – 2 A (micro USB) o PoE
Antena externa	SMA 915 MHz (incluida)
Alcance típico	Hasta 5–10 km en línea de vista
Interfaces adicionales	UART, GPIO, I2C
Carcasa	Plástico ABS (uso interior)
Sistema operativo	Linux OpenWRT preinstalado
Configuración	Interfaz web local y acceso remoto vía SSH
Compatibilidad LoRaWAN	Clases A y C (uplink/downlink)

4.6. Servidor Puente: TTN

Para la integración de los dispositivos LoRaWAN con la red, se utiliza un servidor puente, en este caso, TTN. Este servidor actúa como intermediario entre los nodos sensores y las aplicaciones finales, gestiona la recepción de las tramas LoRaWAN (*uplink*) enviadas por los dispositivos y permite la transmisión de comandos o mensajes (*downlink*) cuando es necesario [39].

El servidor puente proporciona servicios de registro, autenticación y gestión de dispositivos sin necesidad de implementar un servidor propietario, lo que facilita la integración rápida de sensores como el LMDS200 y el LSN50v2-8. Además, TTN permite la visualización de datos en tiempo real, la decodificación de *payloads* y la configuración de alertas automáticas, constituyéndose como la plataforma central para el monitoreo del sistema de crecidas del río Ajaví.

4.6.1. Registro y configuración de los dispositivos LoRaWAN en TTN

La configuración e integración de los dispositivos de hardware con la red LoRaWAN y las plataformas en la nube se realiza a través de TTN. En este caso, el sensor LMDS200 y el sensor LSN50-V2 cuentan con firmware incorporado, por lo que no requieren programación a nivel de microcontrolador. Sin embargo, se lleva a cabo una configuración inicial de los sensores, así como su vinculación a TTN para proceder a la transmisión adecuada de los datos. Además, se realiza la configuración del Gateway, la decodificación del *payload* y la verificación del flujo de datos transmitidos hacia la plataforma.

Gateway Dragino LG308N. El Gateway Dragino LG308N se configura mediante su interfaz web integrada, estableciendo la conexión a Internet a través de Ethernet. Se selecciona la región de operación correspondiente a la banda US915 y se habilita el funcionamiento del concentrador LoRa integrado [13].

La Figura 4.10 muestra la interfaz web del Gateway, desde donde se verifica el estado de la conexión, los paquetes recibidos y se configuran los parámetros de la red LoRaWAN.

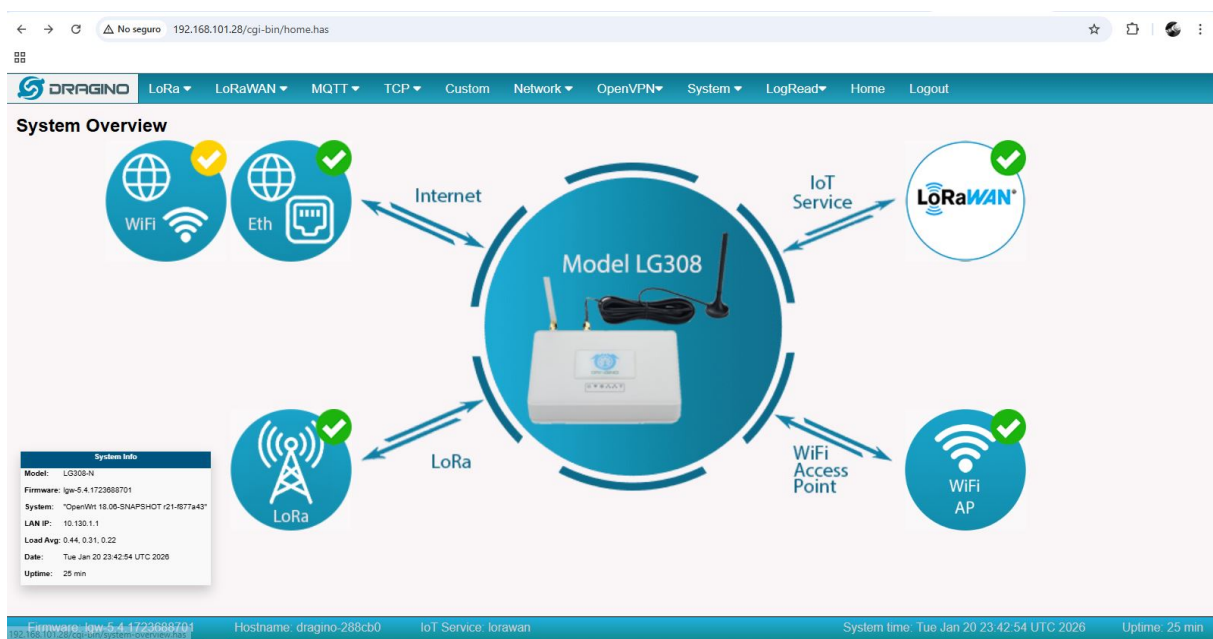


Figura 4.10: Interfaz web del Gateway Dragino LG308N [13]

Una vez conectado a la red y a Internet, el Gateway se registra en TTN como un Gateway LoRaWAN público. Para ello, se utiliza el identificador único del dispositivo (*Gateway ID*) y se configuran los parámetros de comunicación, lo que permite el envío de los datos recibidos hacia los servidores de TTN.

En la Tabla 4.9 se detallan los principales parámetros de configuración del Gateway en TTN, incluyendo el identificador, la región de operación, el tipo de conexión y otras notas relevantes para su integración en la red.

Tabla 4.9: Configuración del Gateway Dragino LG308N en TTN [13]

Parámetro	Configuración / Descripción
Nombre / ID del Gateway	Identificador único del Gateway
Región de operación	US915
Conexión a Internet	Ethernet WAN habilitado
Tipo de Gateway	Concentrador LoRaWAN
Integración con TTN	Registrado como DraginoAjavi en TTN; estado <i>connected</i>
Notas adicionales	La interfaz web permite visualizar el tráfico LoRa y realizar la configuración inicial

En la consola de TTN se verifica el estado del Gateway como *connected*, como se observa en la Figura 4.11.

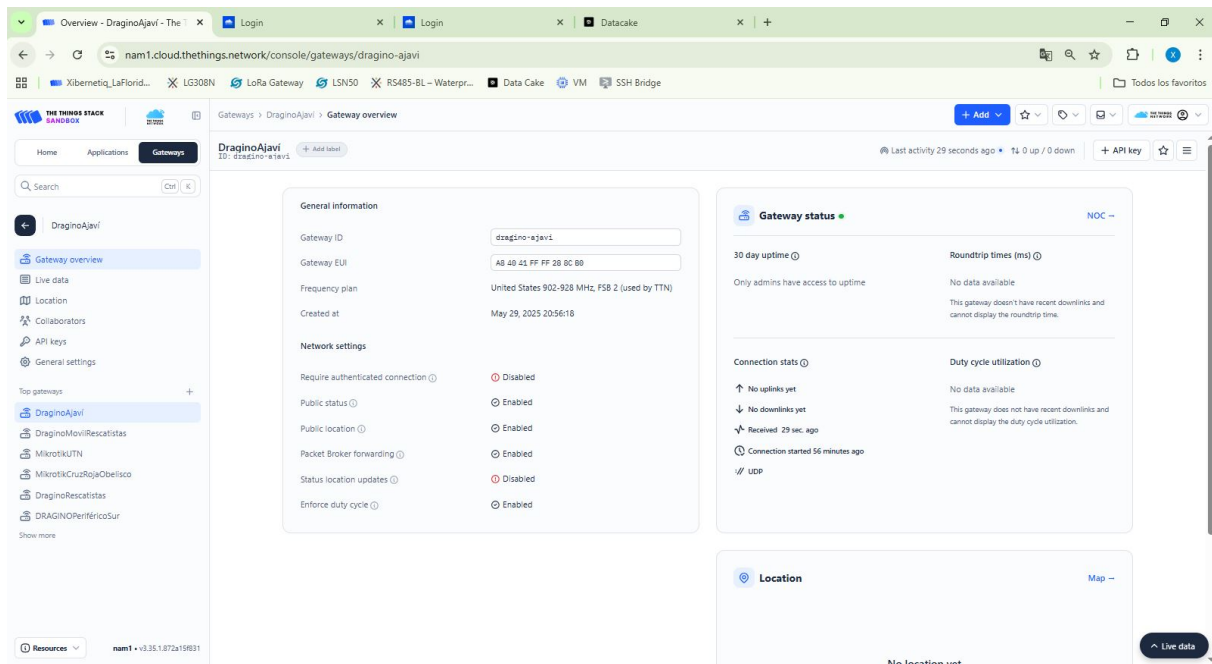


Figura 4.11: Interfaz del Gateway en TTN

Sensor de Nivel de Agua LMDS200. El sensor LMDS200 de Dragino es un nodo LoRaWAN Clase A diseñado para medir el nivel de agua en ríos o embalses. Este dispositivo cuenta con firmware incorporado y no requiere programación adicional a nivel de microcontrolador. La integración con la red LoRaWAN se realiza mediante activación OTAA, utilizando los identificadores y claves proporcionados por el fabricante: DevEUI, AppEUI y AppKey [8].

Una vez registrado en TTN, el sensor realiza el proceso de unión (*Join*) a la red y comienza a transmitir periódicamente los datos de nivel de agua al Gateway. La Figura 4.12 muestra la interfaz del sensor en TTN.

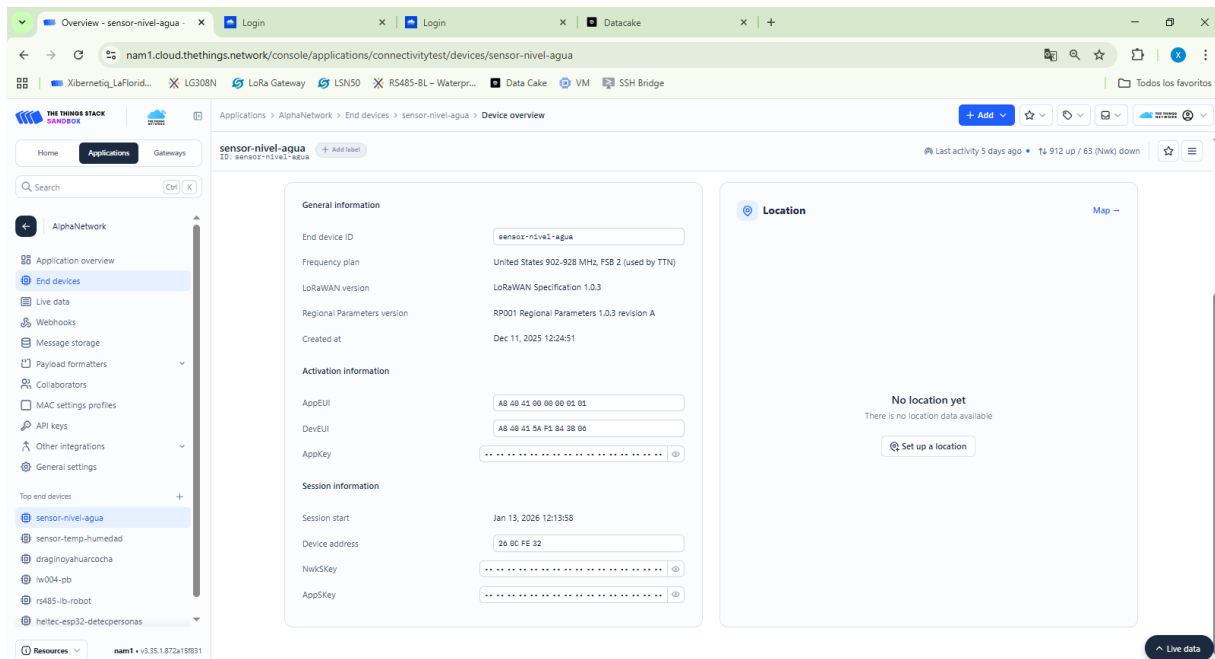


Figura 4.12: Interfaz del sensor LMDS200 en TTN

La Tabla 4.10 resume los parámetros de configuración y registro del sensor LMDS200 en TTN, incluyendo su modo de activación, identificadores y notas de integración.

Tabla 4.10: Configuración del sensor LMDS200 en TTN [8]

Parámetro	Configuración / Descripción
Tipo de dispositivo	Nodo Clase A LoRaWAN
Modo de activación	OTAA
DevEUI	Identificador único proporcionado por el fabricante
AppEUI	Clave proporcionada por el fabricante
AppKey	Clave proporcionada por el fabricante
Frecuencia de transmisión	Periódica según el firmware del sensor
Integración con TTN	Registrado como dispositivo; realiza <i>Join</i> a la red LoRaWAN
Notas adicionales	Envía mediciones de nivel de agua; el <i>payload</i> se decodifica en TTN para obtener datos en metros

Sensor Ambiental LSN50v2-8. El sensor LSN50v2-8 de Dragino es un nodo LoRaWAN Clase A destinado a la medición de variables ambientales, específicamente temperatura y humedad. Al igual que el sensor LMDS200, este dispositivo cuenta con firmware incorporado y se integra a la red LoRaWAN mediante activación OTAA [9].

Durante el proceso de registro en TTN, se utilizan los identificadores y claves proporcionados por el fabricante: DevEUI, AppEUI y AppKey. Una vez completada la activación, el sensor realiza el proceso de *Join* a la red y comienza a transmitir periódicamente las mediciones ambientales al Gateway, lo que permite un monitoreo complementario de las condiciones que influyen en el comportamiento del río Ajaví.

La Figura 4.13 muestra la interfaz del sensor LSN50v2-8 en TTN.

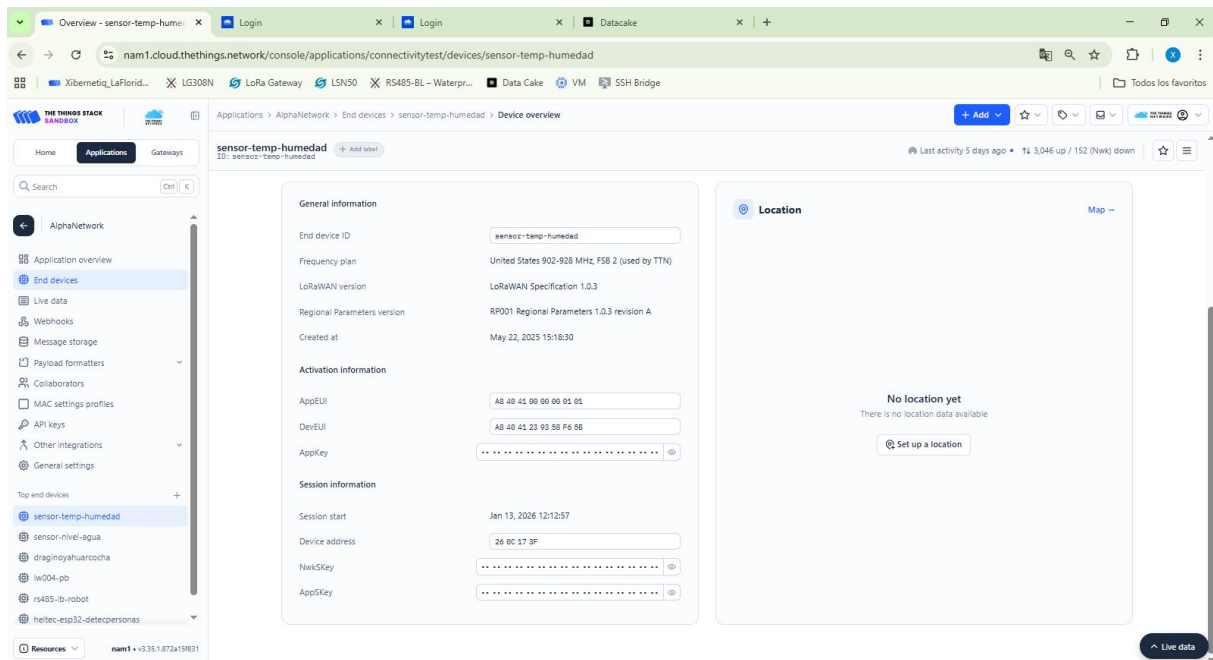


Figura 4.13: Interfaz del sensor LSN50v2-8 en TTN

La Tabla 4.11 resume los parámetros de configuración y registro del sensor LSN50v2-8 en TTN, incluyendo su modo de activación, identificadores y notas de integración.

Tabla 4.11: Configuración del sensor LSN50v2-8 en TTN [9]

Parámetro	Configuración / Descripción
Tipo de dispositivo	Nodo Clase A LoRaWAN
Modo de activación	OTAA
DevEUI	Identificador único proporcionado por el fabricante
AppEUI	Clave proporcionada por el fabricante
AppKey	Clave proporcionada por el fabricante
Variables medidas	Temperatura y humedad
Frecuencia de transmisión	Periódica según el firmware del sensor
Integración con TTN	Registrado como dispositivo; realiza <i>Join</i> a la red LoRaWAN
Notas adicionales	Permite monitoreo ambiental complementario al sensor de nivel de agua; los datos se visualizan en TTN

4.7. Plataforma de gestión

Datacake es una plataforma en la nube de bajo código orientada a la gestión, visualización y monitoreo de aplicaciones IoT, que facilita la integración de dispositivos como sensores LoRaWAN sin requerir habilidades avanzadas de programación [40].

La plataforma ofrece soporte para múltiples protocolos de comunicación, incluido LoRaWAN, y permite visualizar en tiempo real los datos enviados por los sensores mediante tableros interactivos, definición de alertas y reportes personalizables. Además, Datacake cuenta con un servidor de red LoRaWAN integrado (LNS) que simplifica la conexión de gateways y dispositivos, y ofrece plantillas de decodificación de *payload*, así como soporte para MQTT, Webhooks y APIs que permiten la interoperabilidad con otros sistemas o servicios de almacenamiento y análisis de datos [40].

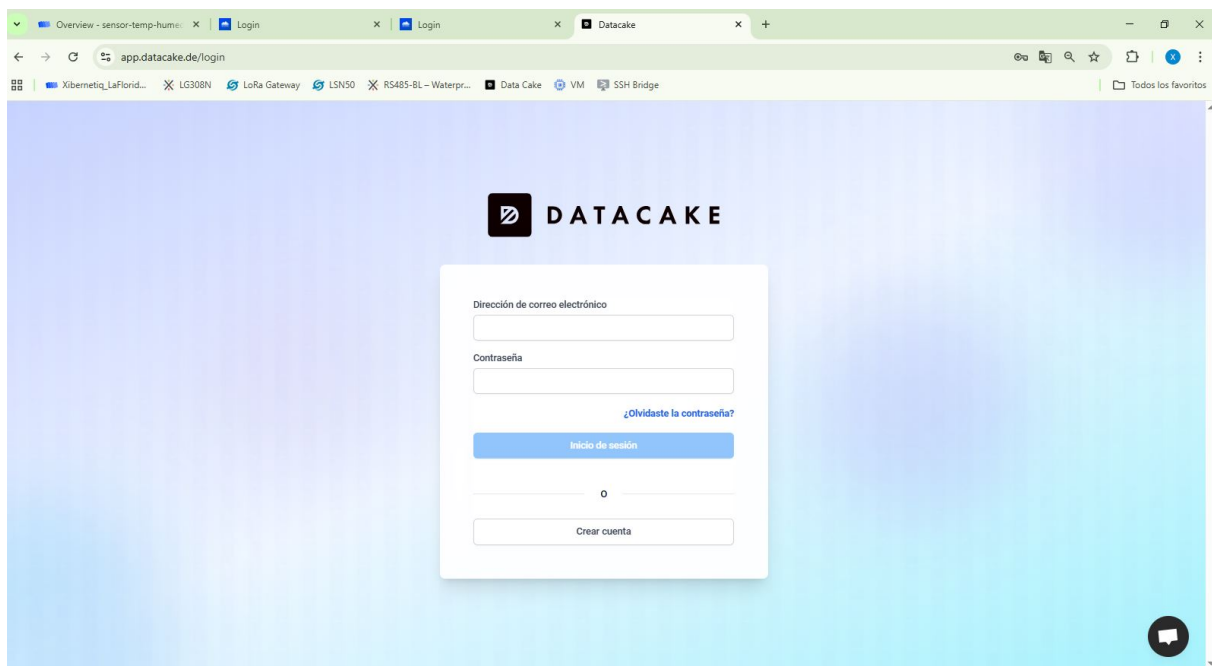


Figura 4.14: Interfaz de registro en Datacake

4.7.1. Integración de TTN con la plataforma Datacake.

La plataforma Datacake se utiliza como herramienta de visualización y análisis de datos IoT. Esta plataforma se integra directamente con TTN mediante el uso del identificador del dispositivo y la configuración del formato de decodificación del *payload* [40]. Una vez establecida la conexión, Datacake recibe automáticamente los mensajes *payload* enviados por los sensores, lo que permite almacenar los datos históricos y representarlos de forma gráfica [8].

Sensor LMDS200 en Datacake. Para la integración del sensor LMDS200 con la plataforma Datacake, se registra como un nodo LoRaWAN Clase A, configurando los parámetros de conexión al gateway, la decodificación del *payload*, la frecuencia de actualización y las alertas automáticas.

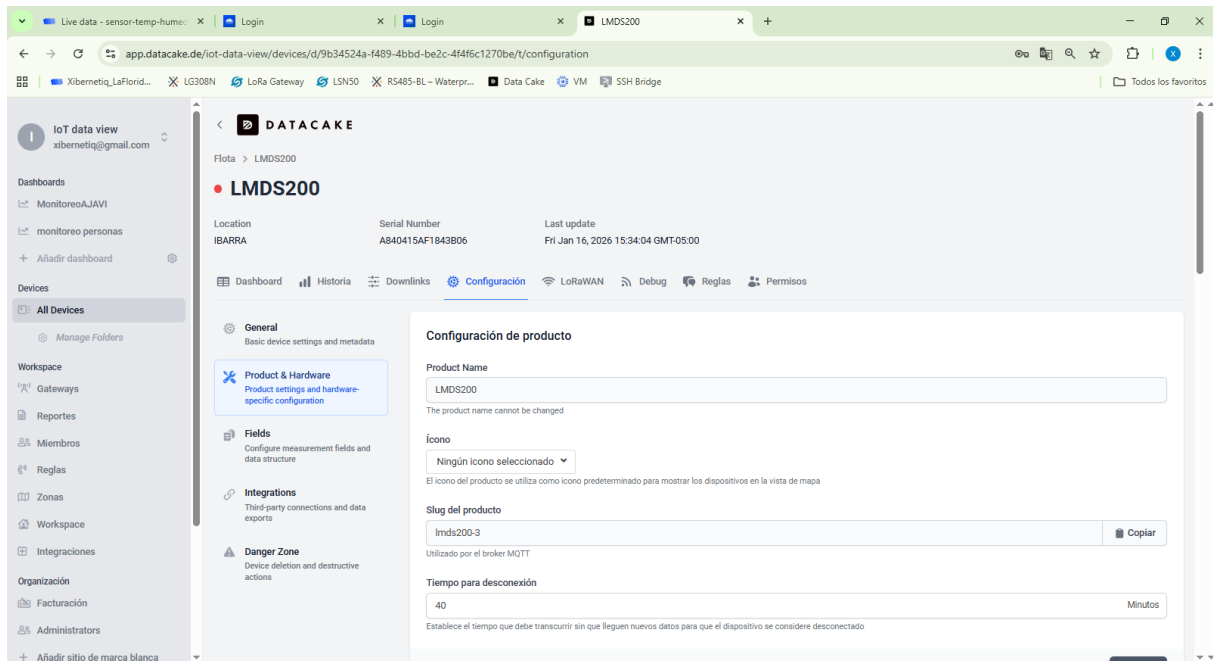


Figura 4.15: Registro del sensor LMDS200 en Datacake

La Tabla 4.12 muestra la configuración detallada del sensor LMDS200 en Datacake, lo que permite la visualización de las mediciones de nivel de agua y la generación de notificaciones según los umbrales definidos.

Tabla 4.12: Configuración del sensor LMDS200 en Datacake

Parámetro	Configuración / Descripción
Plataforma	Datacake IoT Cloud
Tipo de dispositivo	Nodo LoRaWAN Clase A
Sensor	LMDS200; mide el nivel de agua del río y transmite la distancia en metros
Modo de activación	OTAA, registrado previamente en TTN
Gateway	Dragino LG308N; integración TTN → MQTT / API
Decodificación de <i>payload</i>	Plantillas en Datacake para obtener el nivel de agua en metros
Frecuencia de actualización	Tiempo real según el intervalo de transmisión del sensor
Alertas automáticas	Umbrales configurables con notificaciones por correo, SMS o Webhook
Notas adicionales	<i>Dashboards</i> interactivos, registro histórico y exportación de datos

Sensor LSN50v2-8 en Datacake. Para la integración del sensor LSN50v2-8 con la plataforma Datacake, se registra como un nodo LoRaWAN Clase A, configurando los parámetros de conexión al gateway, la decodificación del *payload*, la frecuencia de actualización y las alertas automáticas.

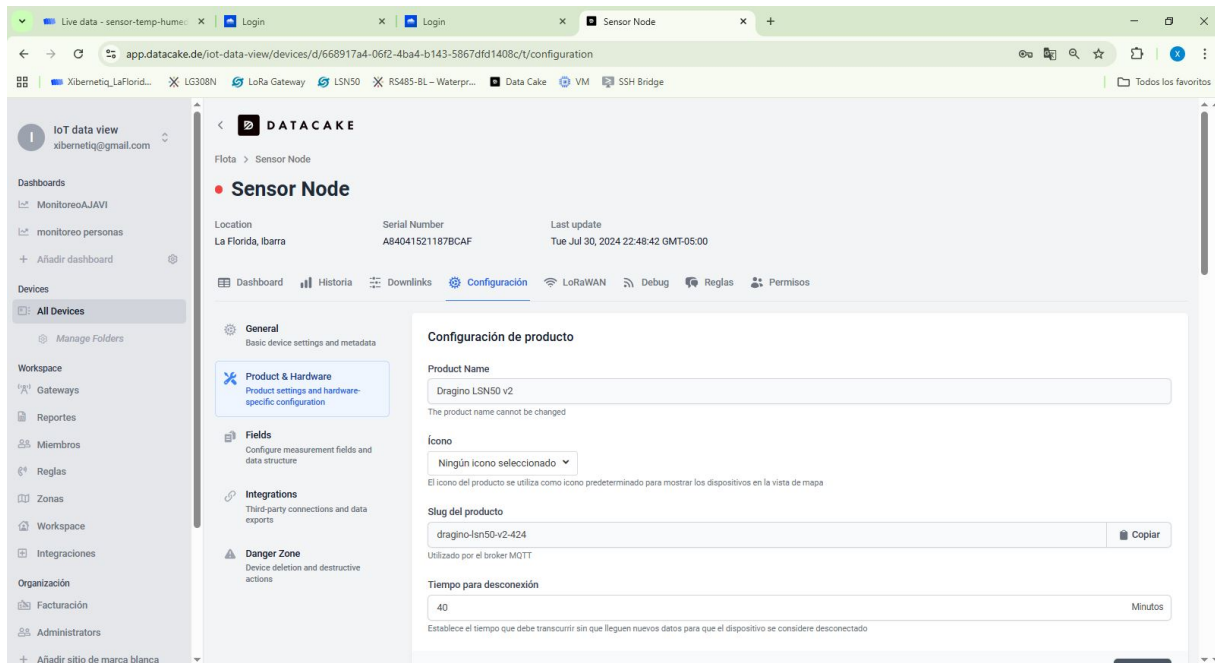


Figura 4.16: Registro del sensor LSN50v2-8 en Datacake

La Tabla 4.13 muestra la configuración detallada del sensor LSN50v2-8 en Datacake, lo que permite la visualización de las mediciones de temperatura y humedad, así como la generación de notificaciones según los umbrales establecidos.

Tabla 4.13: Configuración del sensor LSN50v2-8 en Datacake

Parámetro	Configuración / Descripción
Plataforma	Datacake IoT Cloud
Tipo de dispositivo	Nodo LoRaWAN Clase A
Sensor	LSN50v2-8; mide temperatura (°C) y humedad (%)
Modo de activación	OTAA, registrado previamente en TTN
Gateway	Dragino LG308N; integración TTN → MQTT / API
Decodificación de <i>payload</i>	Plantillas en Datacake para conversión a unidades métricas
Frecuencia de actualización	Tiempo real según el intervalo de transmisión del sensor
Alertas automáticas	Umbrales configurables con notificaciones por correo, SMS o Webhook
Notas adicionales	<i>Dashboards</i> interactivos, histórico y exportación de datos

4.8. Alerta temprana en la nube

El almacenamiento de los datos recopilados por los sensores del sistema de monitoreo se realiza directamente en la plataforma Datacake, la cual actúa como servidor central de gestión de información IoT. Los sensores LMDS200 y LSN50v2-8 envían sus mediciones periódicas al Gateway Dragino LG308N, el cual las transmite a TTN. Desde TTN, los datos son recibidos por Datacake, donde se registran y se mantienen organizados para su visualización y análisis en tiempo real [40, 39].

Gracias a este almacenamiento interno, Datacake permite generar gráficos históricos de nivel de agua, temperatura y humedad, así como configurar alertas automáticas basadas en umbrales críticos definidos por el usuario. Esta funcionalidad asegura la disponibilidad de la información para la toma de decisiones y la prevención temprana de crecidas del río Ajaví.

Visualización de variables monitoreadas. Las principales variables visualizadas en la plataforma Datacake corresponden al nivel del agua del río, la temperatura ambiente y la humedad relativa. Estas variables se representan mediante gráficos temporales que permiten analizar la evolución de las mediciones a lo largo del tiempo, lo que facilita la identificación de patrones o incrementos anómalos en el nivel del río.

El sensor LMDS200 proporciona los valores de distancia entre el sensor y la superficie del agua, los cuales se interpretan como el nivel del río. Por su parte, el sensor LSN50v2-8 entrega mediciones de temperatura y humedad ambiental, las cuales permiten complementar el análisis del comportamiento del río. Esta información se resume en la Figura 4.17.

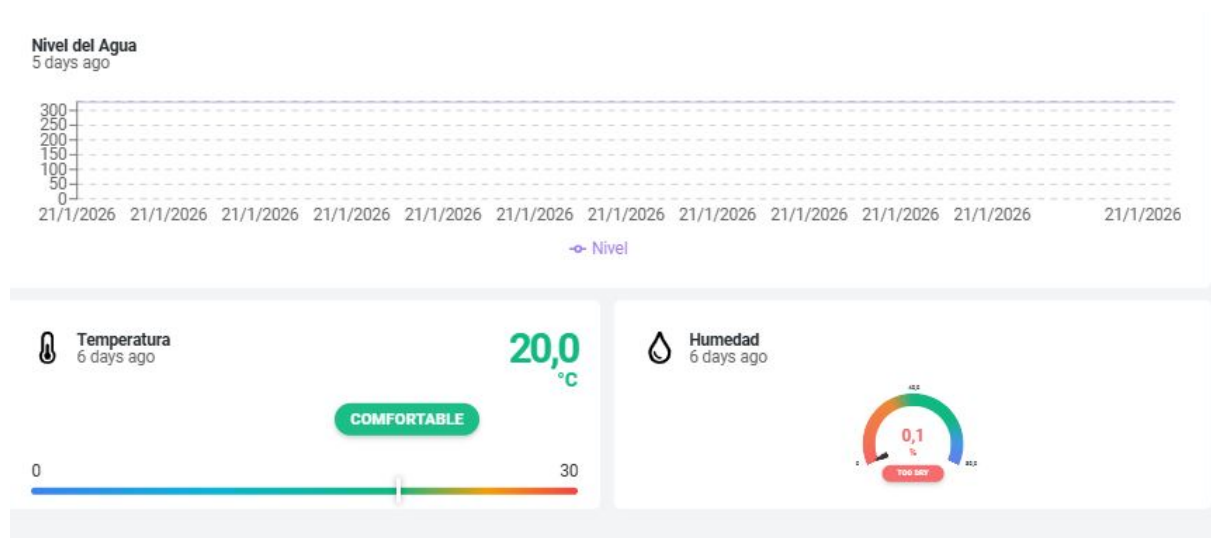


Figura 4.17: Datos históricos de los sensores

En la Tabla 4.14 se presentan los datos almacenados en Datacake por cada sensor, incluyendo variables, unidades y descripción de la medición.

Tabla 4.14: Resumen de datos almacenados en Datacake por sensor

Sensor	Variable	Unidad	Descripción
LMDS200	Nivel de agua	cm	Medición de la distancia entre el sensor y la superficie del río. Calcula el nivel de agua en metros.
LSN50v2-8	Temperatura	°C	Medición de la temperatura ambiental alrededor del río.
LSN50v2-8	Humedad	%	Medición de la humedad relativa del aire en el entorno del río.

4.8.1. Generación de alertas

La plataforma Datacake permite configurar reglas de alerta automáticas basadas en los valores medidos por los sensores, lo que facilita la prevención de riesgos asociados a crecidas del río Ajaví. Para ello, se establecen umbrales críticos para cada variable monitoreada, de manera que, cuando una medición supera el límite definido, Datacake genera notificaciones inmediatas al usuario [40].

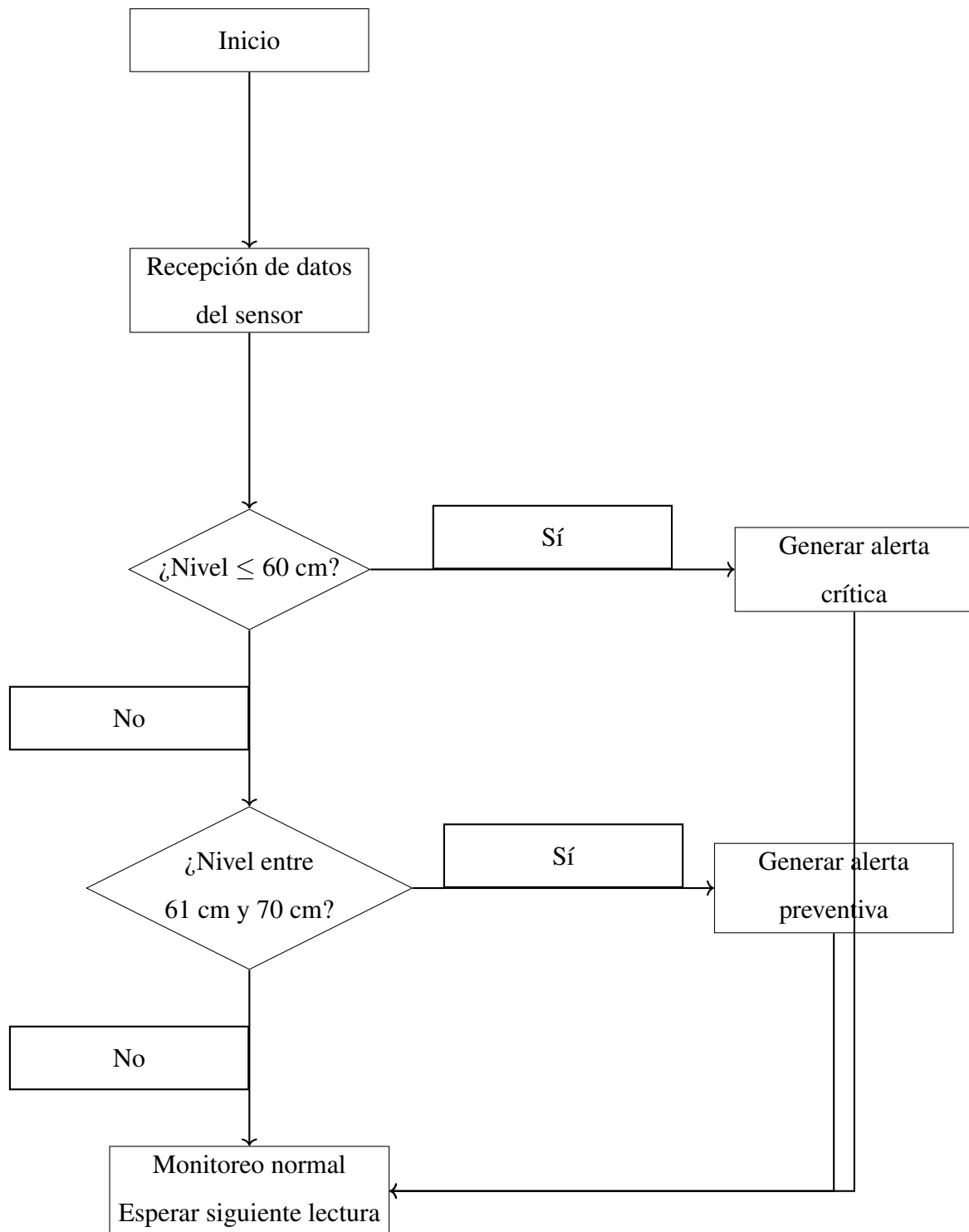


Figura 4.18: Diagrama de decisión para la generación de alertas según los umbrales del sensor

En este proyecto, las alertas se aplican únicamente al sensor LMDS200, encargado de medir el nivel de agua. Se definen dos tipos de alertas:

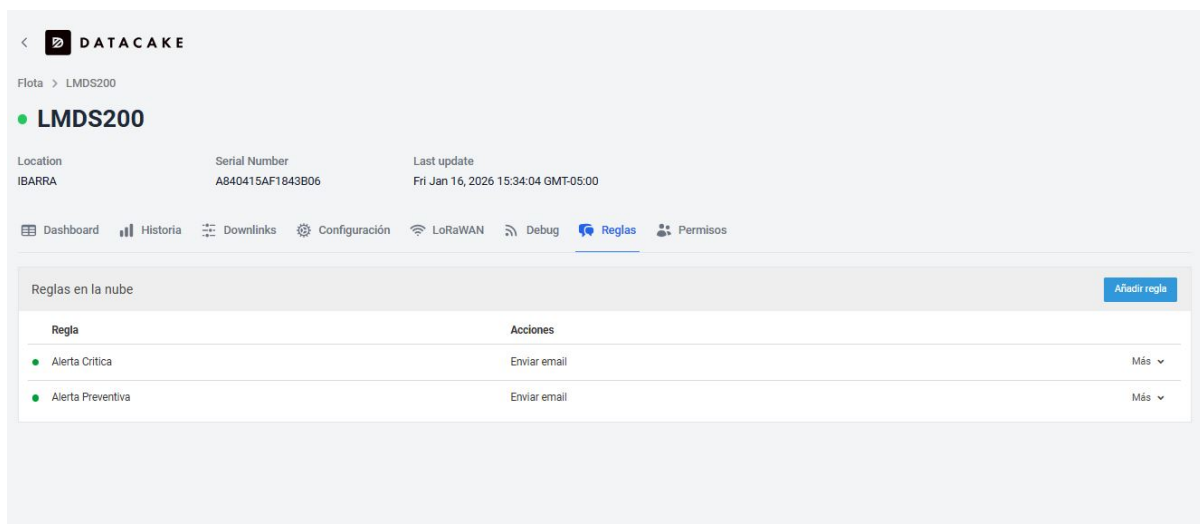


Figura 4.19: Alertas del sensor LMDS200 en Datacake

Alerta crítica. Se genera cuando el nivel de agua alcanza un valor que indica un riesgo inminente de crecimiento.

La Tabla 4.15 muestra la configuración de la alerta crítica del sensor LMDS200 en Datacake, definida para niveles de agua iguales o inferiores a 60 cm. Esta alerta indica un riesgo inminente de crecimiento y genera notificaciones inmediatas al usuario.

Tabla 4.15: Configuración de la alerta crítica para el sensor LMDS200 en Datacake

Parámetro	Configuración / Descripción
Sensor	LMDS200
Variable monitoreada	Nivel de agua
Umbral	≤ 60 cm
Tipo de alerta	Crítica
Acción	Notificación inmediata al usuario (correo electrónico, SMS o Webhook)
Frecuencia de revisión	Cada lectura del sensor
Configuración en Datacake	Alerta definida en <i>Rules / Alerts</i> con umbral ≤ 60 cm
Notas adicionales	Indicador de riesgo inminente de creciente; prioridad máxima en notificaciones

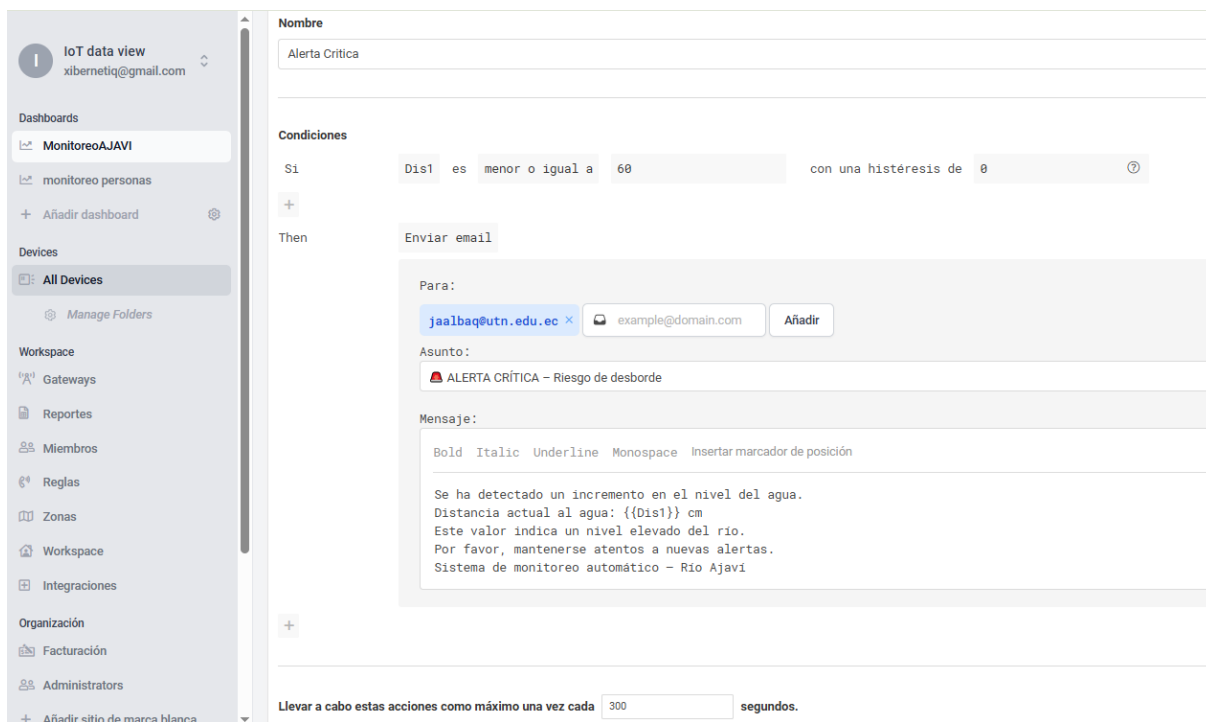


Figura 4.20: Alerta crítica del sensor LMDS200 en Datacake

Alerta preventiva. Se genera cuando el nivel de agua se encuentra dentro de un rango que indica un riesgo potencial creciente.

La Tabla 4.16 presenta la configuración de la alerta preventiva del sensor LMDS200 en la plataforma Datacake, establecida para niveles de agua comprendidos entre 61 y 70 cm. Esta alerta permite realizar un monitoreo anticipado del comportamiento del río, advirtiendo sobre un posible riesgo antes de que la situación alcance un nivel crítico.

Tabla 4.16: Configuración de la alerta preventiva para el sensor LMDS200 en Datacake

Parámetro	Configuración / Descripción
Sensor	LMDS200
Variable monitoreada	Nivel de agua
Umbral	61 – 70 cm
Tipo de alerta	Preventiva
Acción	Notificación al usuario por riesgo potencial
Frecuencia de revisión	Cada lectura del sensor
Configuración en Datacake	Alerta definida en <i>Rules / Alerts</i> con rango 61–70 cm
Notas adicionales	Monitoreo temprano; prioridad menor que la alerta crítica

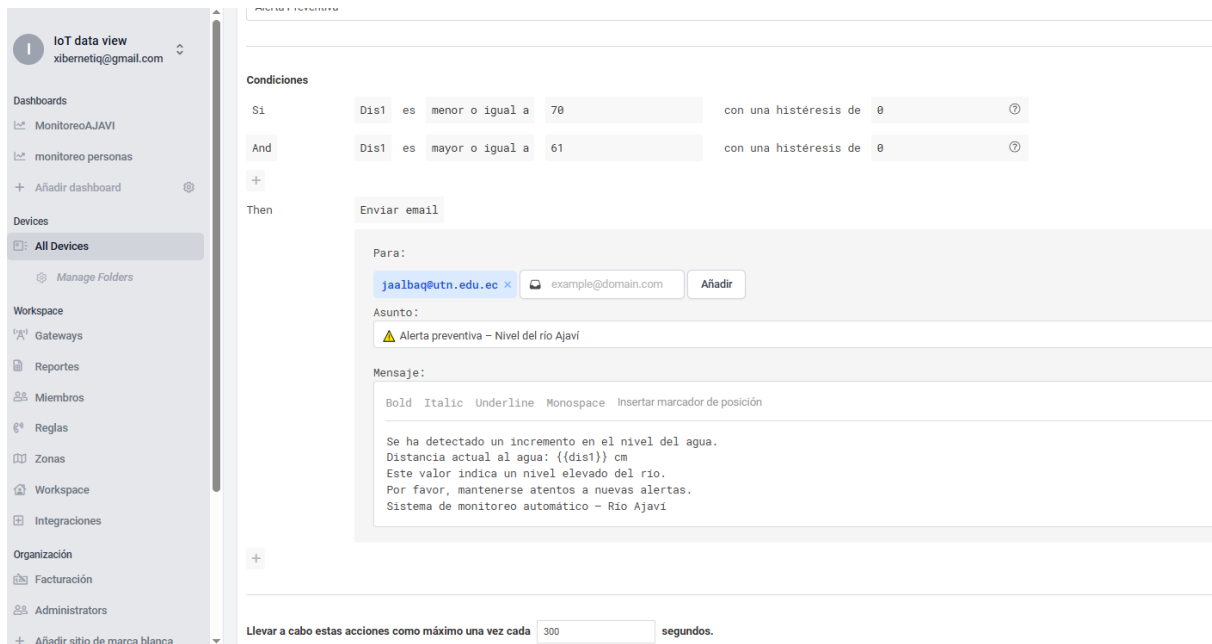


Figura 4.21: Alerta preventiva del sensor LMDS200 en Datacake

Las notificaciones generadas por el sistema pueden enviarse mediante correo electrónico, mensajes SMS o integraciones vía *webhook*, según la configuración establecida en la plataforma Datacake. Este mecanismo permite una respuesta rápida y oportuna, garantizando que las autoridades o usuarios responsables puedan tomar decisiones informadas para la gestión y mitigación del riesgo natural.

4.9. Funcionamiento general del sistema

El sensor LMDS200 y el sensor LSN50v2-8 funcionan como nodos finales encargados de medir de forma periódica el nivel del agua del río mediante radar de microondas, así como las variables ambientales de temperatura y humedad del entorno. Cada medición es codificada internamente por los dispositivos y transmitida como una trama LoRaWAN al Gateway Dragino LG308N, el cual se encuentra instalado en una vivienda cercana con acceso a Internet.

El Gateway envía los datos recibidos a la plataforma TTN, donde se almacenan y se ponen a disposición de servicios externos a través de protocolos como MQTT o HTTPS. Posteriormente, un flujo implementado en Node-RED se encarga de extraer los datos desde TTN [33], visualizarlos en un panel web y evaluar los umbrales definidos. Cuando el nivel del agua supera los valores establecidos como críticos o preventivos, el sistema genera automáticamente una alerta mediante mensajes o notificaciones, permitiendo una detección temprana y una respuesta oportuna ante posibles crecidas del río Ajaví.

Capítulo V

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

En este capítulo se presenta la implementación del sistema de monitoreo de crecidas del río Ajaví mediante sensores LoRaWAN y la plataforma Datacake. Se describen los procedimientos de montaje de los sensores y del gateway, así como las pruebas realizadas para validar el correcto funcionamiento del sistema. Finalmente, se analizan los resultados obtenidos durante las pruebas, verificando la transmisión de las mediciones y la efectividad de las alertas automáticas.

5.1. Montaje

5.1.1. Instalación y protección del dispositivo

Estructura metálica de soporte. Para la instalación del sistema de monitoreo en campo, se diseña e implementa una estructura metálica que permite fijar de manera segura los sensores y el sistema de alimentación sobre el puente del río Ajaví. La estructura garantiza la estabilidad mecánica, resistencia a vibraciones y una correcta orientación del sensor de nivel de agua hacia la superficie del río. En la Figura 5.1 se muestra la estructura instalada en el sitio de monitoreo.



Figura 5.1: Estructura metálica instalada en la zona de monitoreo

Caja de protección IP55. Los componentes electrónicos del sistema, incluyendo el módulo de carga, la batería y el convertor DC-DC, se alojan dentro de una caja de protección con grado IP55, garantizando el aislamiento frente al ingreso de polvo y agua, condición indispensable para instalaciones en entornos exteriores. En la Figura 5.2 se observa la caja de protección utilizada durante la implementación del sistema.



Figura 5.2: Caja de protección IP55 instalada

En la Tabla 5.1 se describen las características de la estructura metálica y de la caja de protección IP55.

Tabla 5.1: Características de la estructura de instalación y protección del sistema

Elemento	Descripción
Tipo de estructura	Estructura metálica fija instalada sobre el puente del río Ajaví
Material	Acero galvanizado
Altura de instalación	2 metros desde el nivel del puente hasta el sensor
Función principal	Soporte mecánico de los sensores y del sistema fotovoltaico
Resistencia ambiental	Alta resistencia a humedad, lluvia y exposición solar
Método de fijación	Anclaje mecánico al puente mediante pernos y soportes metálicos
Orientación del sensor	Vertical, apuntando directamente a la superficie del río
Protección electrónica	Caja estanca con grado de protección IP55
Función de la caja IP55	Protección contra polvo, lluvia y salpicaduras de agua
Ubicación de la caja	Fijada a la estructura metálica, fuera del alcance directo del agua
Aplicación	Instalación permanente en entorno fluvial

Gateway Dragino LG308N. Se coloca en una vivienda cercana al puente, asegurando una alimentación eléctrica estable y conexión a Internet mediante Ethernet. Su ubicación permite una recepción óptima de las tramas LoRaWAN enviadas por los sensores, garantizando la transmisión continua de datos hacia la plataforma TTN y posteriormente a Datacake. En la Figura 4.11 se observa el estado operativo del Gateway Dragino LG308N, verificando su conexión con TTN.



Figura 5.3: Evidencia del funcionamiento del Gateway

5.2. Pruebas

Con el sistema montado, se realizan pruebas para validar la transmisión de datos, la generación de alertas y la correcta visualización en Datacake. Las pruebas se enfocan en diferentes aspectos del sistema: comunicación LoRaWAN, precisión de los sensores y funcionamiento de las alertas.

5.2.1. Prueba de transmisión de datos

La prueba de transmisión de datos consiste en verificar la comunicación entre los sensores LoRaWAN y el Gateway, asegurando que las mediciones de nivel de agua y las variables ambientales se envíen correctamente a la plataforma TTN y se visualicen posteriormente en Datacake.

Conexión estable del Gateway a la red LoRaWAN. El Gateway Dragino LG308N se conecta a la red LoRaWAN, recibe las tramas transmitidas por los sensores y las reenvía a la plataforma TTN para su procesamiento y visualización. Nótese que en la Figura 5.4 hay conexión estable del Gateway con TTN.

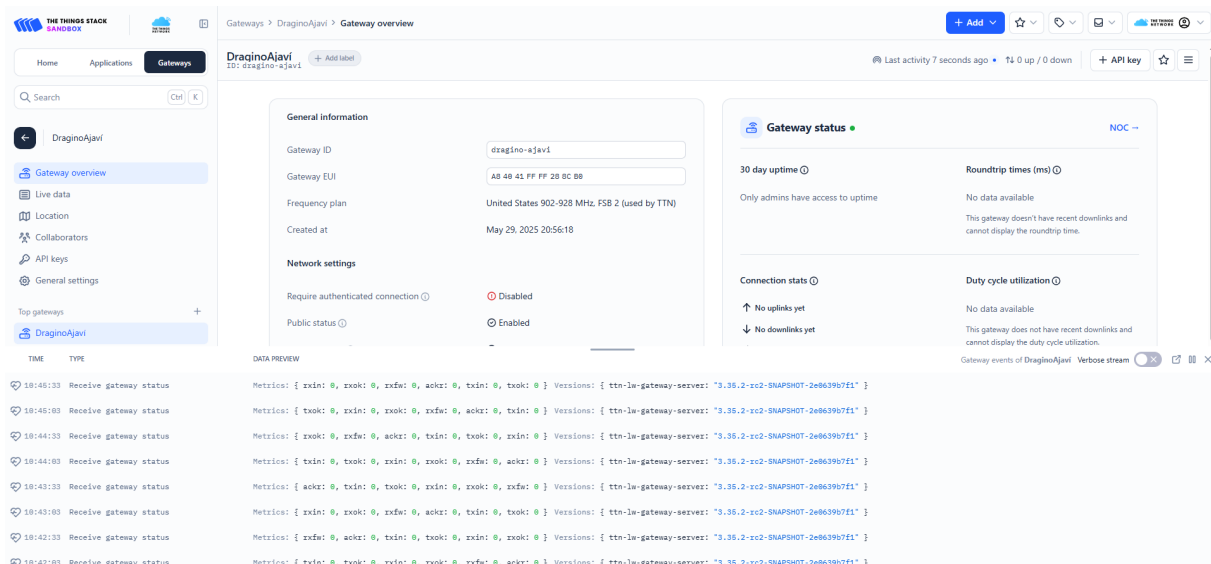


Figura 5.4: Conexión del Gateway con TTN

El registro corresponde a un evento *gs.status.receive* que demuestra que TTN recibió un mensaje de estado por el gateway, indicando que se encuentra encendido, conectado a Internet y comunicándose con el servidor de TTN.

Tabla 5.2: Resumen de la lectura de estado del gateway en TTN

Parámetro	Valor	Interpretación
ID del gateway	dragino-ajavi	Gateway identificado por TTN
EUI del gateway	A84041FFFF288CB0	Identificador único global del gateway
Tipo de evento	gs.status.receive	TTN recibe el estado del gateway
Fecha y hora	2026-01-06 16:32:20 (UTC)	Comunicación activa en tiempo real
Dirección IP	138.185.138.109	Gateway con conectividad a Internet
Paquetes recibidos (rxok)	0	No existen nodos activos durante la prueba
Paquetes transmitidos (txok)	0	No se enviaron mensajes de bajada
Estado general	Activo y conectado	Gateway operativo y enlazado a la nube

TTN

Se verifica que los sensores LMDS200 y LSN50v2-8 se encuentran conectados al gateway en TTN. Nótese en la Figura 5.5 la conexión de los sensores con el Gateway en TTN.

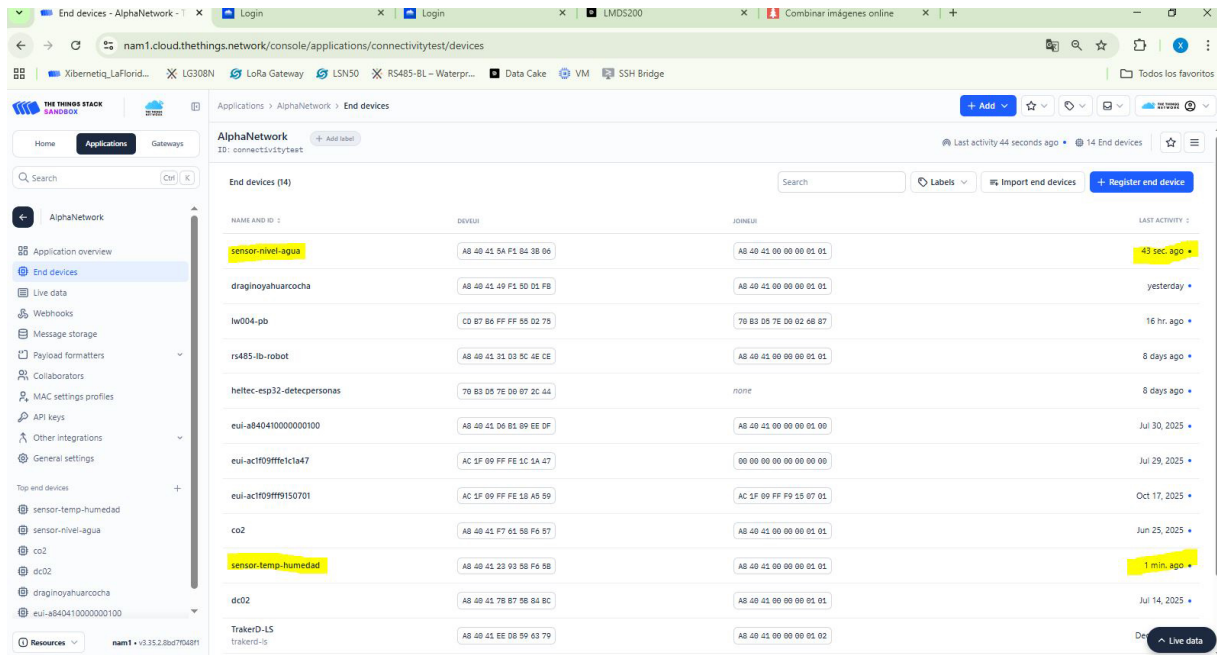


Figura 5.5: Sensores conectados al Gateway en TTN

Recepción de tramas periódicas (*uplinks*) desde los sensores. Para validar la comunicación del sistema, se realiza la supervisión de las tramas periódicas enviadas por los sensores LoRaWAN hacia el Gateway. La Figura 5.6 muestra los sensores encendidos y funcionando correctamente.



Figura 5.6: Funcionamiento de los sensores

Lectura sensor LMDS200. La Figura 5.7 muestra la recepción periódica de las tramas enviadas por el sensor LMDS200 hacia el Gateway y su correcta visualización en la plataforma TTN.

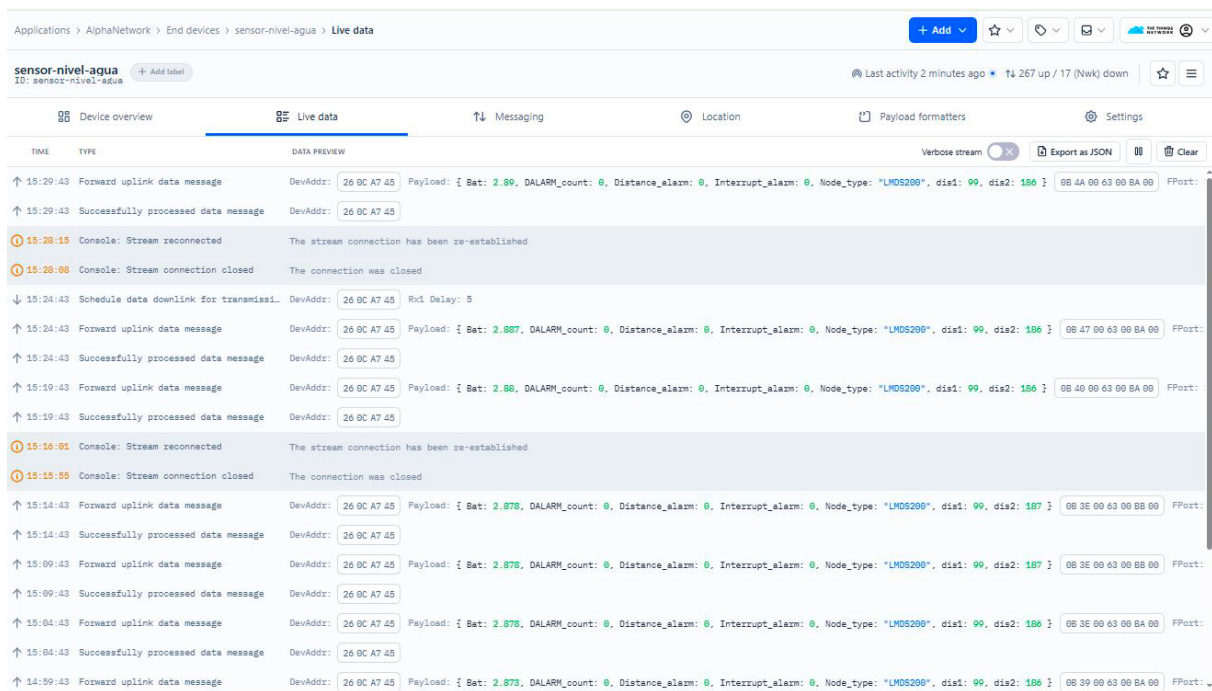


Figura 5.7: Live Data del sensor LMDS200

El registro corresponde a un evento de tipo *as.up.data.forward* que demuestra que el sensor LMDS200 mide el nivel del agua; el dato se transmite vía LoRaWAN y se recibe por el gateway Dragino para ser procesado por la plataforma TTN. Se identifican dos valores principales: *dis1* y *dis2*, los cuales pertenecen a distancias medidas en centímetros desde el sensor hasta la superficie del agua. Además, el sensor reporta un voltaje de batería de 3.362 V, valor dentro del rango normal de operación. Los indicadores de comunicación muestran una intensidad de señal RSSI de -73 dBm y una señal-ruido SNR de 11.2 dB (transmisión confiable) y la ausencia de alarmas (*Distance_alarm = 0*). En la Tabla 5.3 se muestra el resumen de lectura del sensor.

Tabla 5.3: Resumen de la lectura del sensor de nivel de agua LMDS200 en TTN

Parámetro	Valor	Interpretación
ID del dispositivo	sensor-nivel-agua	Nodo LoRaWAN registrado en TTN
Tipo de sensor	LMDS200	Sensor ultrasónico de nivel de agua
Fecha y hora	2026-02-06 16:59:56 (UTC)	Recepción del dato en tiempo real
Puerto LoRaWAN	f_port = 2	Puerto asignado a datos de aplicación
Contador de tramas	f_cnt = 3	Transmisión continua sin pérdidas
Voltaje de batería	3.362 V	Nivel de batería adecuado para operación
Distancia medida 1	102	Medición de referencia del sensor
Distancia medida 2	252	Medición asociada al nivel del agua
RSSI	-73 dBm	Intensidad de señal buena
SNR	11.2 dB	Alta calidad del enlace LoRaWAN
Gateway receptor	dragino-ajavi	Gateway que recibió el paquete
Estado de transmisión	Exitosa	Datos recibidos y decodificados

Lectura sensor LNS50v2-8. En la Figura 5.8 se evidencia la recepción continua de las tramas del sensor, mostrando las mediciones de temperatura y humedad registradas en TTN.

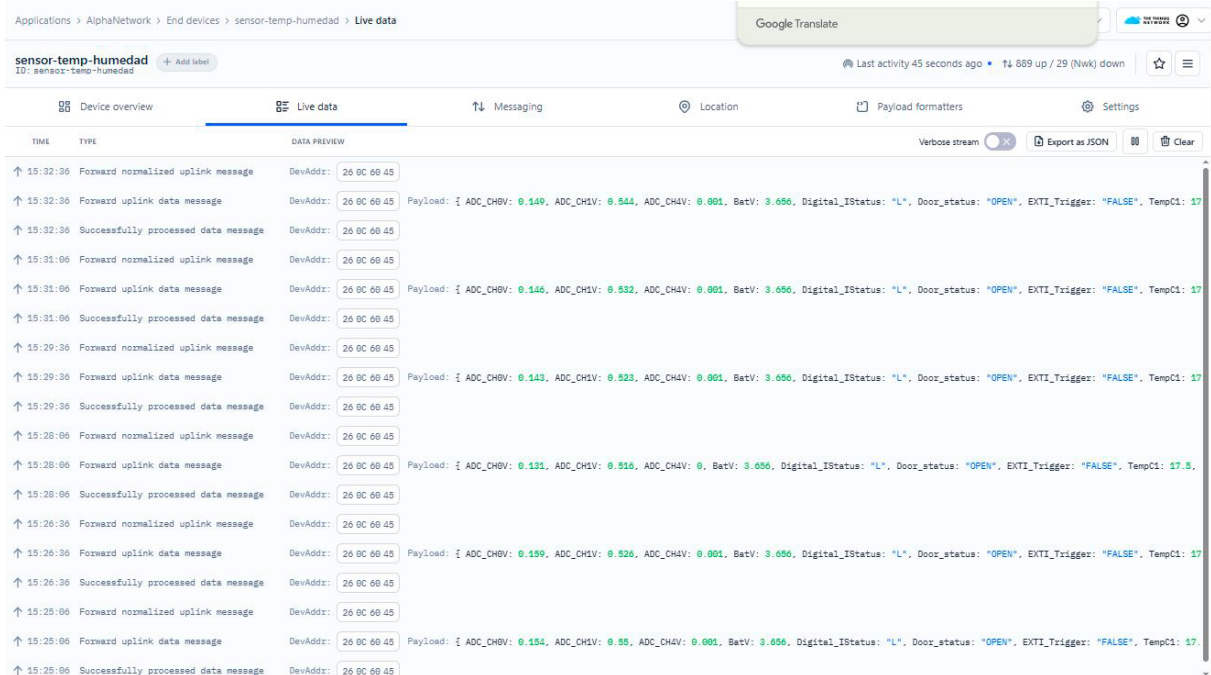


Figura 5.8: Live Data del sensor LSN50v2-8

El registro corresponde a un evento de tipo *as.up.data.forward* que confirma que el sensor LSN50 mide las variables ambientales y transmite los datos vía LoRaWAN al gateway para ser decodificados por TTN para su interpretación. Lectura realizada operando en el modo 3ADC + 1DS18B20, registrando una temperatura ambiente de 20.1 °C. El voltaje de la batería que reporta es de 3.686 V, valor que se encuentra dentro del rango. En términos de calidad de enlace de LoRaWAN, se tienen valores de RSSI de -48 dBm y SNR de 13 dB, los cuales demuestran una excelente calidad. Las entradas analógicas (*ADC_CH0V*, *ADC_CH1V*, *ADC_CH4V*) evidencian la capacidad del sensor para la integración de señales externas. La Tabla 5.4 resume la lectura realizada por el sensor.

Tabla 5.4: Resumen de la lectura del sensor LSN50 (temperatura y señales analógicas) en TTN

Parámetro	Valor	Interpretación
ID del dispositivo	sensor-temp-humedad	Nodo LoRaWAN registrado en TTN
Modelo del sensor	LSN50 v2 (Dragino)	Sensor LoRaWAN multipropósito
Fecha y hora	2026-02-06 17:22:35 (UTC)	Recepción del dato en tiempo real
Puerto LoRaWAN	f_port = 2	Puerto asignado a datos de aplicación
Contador de tramas	f_cnt = 19	Transmisión continua y estable
Modo de trabajo	3ADC + 1DS18B20	Configuración activa del sensor
Temperatura medida	20.1 °C	Valor ambiental registrado
Voltaje de batería	3.686 V	Nivel de batería óptimo
RSSI	-48 dBm	Intensidad de señal excelente
SNR	13 dB	Muy buena relación señal-ruido
Gateway receptor	dragino-ajavi	Gateway que recibió el paquete
Estado de transmisión	Exitosa	Datos recibidos y decodificados

5.2.2. Prueba de generación de alertas automáticas

Se evalúa la generación automática de alertas para el sensor LMDS200 mediante los umbrales previamente definidos en Datacake. Se validan los siguientes aspectos:

- Activación de la alerta preventiva cuando el nivel de agua se encuentra entre 61 y 70 cm.
- Activación de la alerta crítica cuando el nivel de agua se encuentra en un rango menor a 60.
- Recepción de notificaciones de alerta vía correo electrónico y SMS.
- Correcta visualización de los eventos de alerta en el tablero de Datacake.

En la Tabla 5.5 se presentan muestras representativas de las lecturas obtenidas.

Tabla 5.5: Lecturas registradas por los sensores LoRaWAN

Fecha	Hora	Nivel de agua (cm)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Estado
15/01/2026	08:15	72	18.6	86	Normal
15/01/2026	10:45	68	19.2	84	Alerta preventiva
15/01/2026	13:20	63	20.1	82	Alerta preventiva
15/01/2026	15:50	59	21.0	80	Alerta crítica
15/01/2026	18:10	61	19.8	83	Alerta preventiva

A partir de los datos enviados por el sensor LMDS200, se valida la generación de las alertas correspondientes al algoritmo de decisión mostrado en la Figura 4.18, ya que este sensor es el encargado de medir directamente el nivel del agua. Las alertas se visualizan correctamente en la plataforma Datacake y se envían mediante notificaciones o correos electrónicos. En la Figura 5.9 se evidencia la recepción de una alerta crítica generada por el sistema.

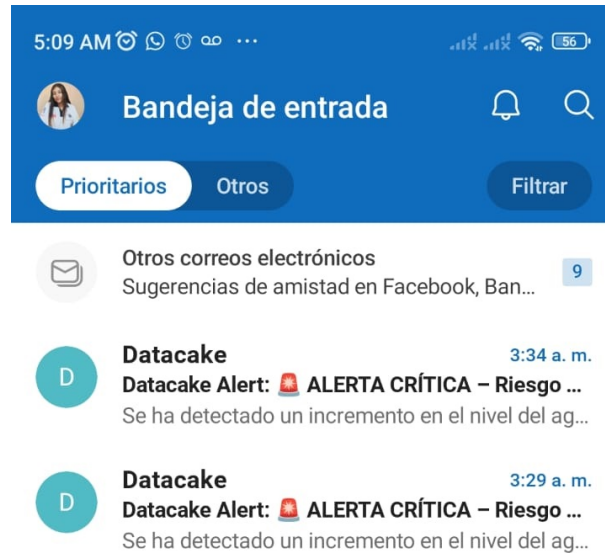


Figura 5.9: Correos de alerta crítica

5.2.3. Prueba de variables ambientales

Se verifica que el sensor LSN50v2-8 transmita correctamente las mediciones de temperatura y humedad a Datacake, visualizándose en los gráficos interactivos de la plataforma. Se comprueba que los valores sean coherentes con las condiciones ambientales observadas durante las pruebas.

La Tabla 5.6 presenta los resultados de la prueba de variables ambientales realizada con el sensor LSN50v2-8. Las mediciones de temperatura y humedad se registran cada 3 minutos durante el período de prueba, verificando la consistencia y estabilidad de los datos transmitidos hacia el Gateway y visualizados en TTN.

Tabla 5.6: Resultados de la prueba de variables ambientales del sensor LSN50v2-8

Variable	Rango	Valor observado	Frecuencia de medición	Observaciones
Temperatura (°C)	18 – 32	19.5 – 31.8	Cada 3 min	Valores consistentes con las condiciones ambientales; lecturas estables y coherentes durante todo el período de prueba.
Humedad (%)	40 – 90	42 – 88	Cada 3 min	Lecturas estables y coherentes con la humedad relativa observada en la zona; no se detectan anomalías en la transmisión de datos.

5.2.4. Prueba de cobertura LoRaWAN

La prueba de cobertura de LoRaWAN tiene como objetivo determinar la distancia máxima a la que los sensores pueden transmitir datos de manera confiable al Gateway. Durante esta prueba se registra la pérdida de paquetes en diferentes puntos, considerando la presencia de obstáculos y las características del entorno, con el fin de establecer la ubicación óptima de los sensores y del Gateway.

La Tabla 5.7 muestra las lecturas obtenidas durante la prueba de cobertura de LoRaWAN para los sensores LMDS200 y LSN50v2-8. Se registran la distancia al Gateway, la intensidad de la señal (RSSI), la relación señal-ruido (SNR), el voltaje de la batería y observaciones sobre la estabilidad de la transmisión. Estos datos permiten evaluar la confiabilidad de la comunicación y verificar la correcta operación del sistema de monitoreo en diferentes ubicaciones del río Ajaví.

Tabla 5.7: Prueba de cobertura LoRaWAN con lecturas reales de LMDS200 y LSN50v2-8

Sensor	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Batería (V)	Observaciones
LMDS200	10	-64	14	3.392	Señal estable; tramas recibidas correctamente, sin pérdidas de paquetes.
LMDS200	50	-66	13	3.385	Señal confiable; pequeñas variaciones en RSSI, transmisión estable.
LSN50v2-8	10	-44	13	3.691	Lecturas de temperatura y humedad recibidas sin errores; señal fuerte.
LSN50v2-8	50	-46	12	3.680	Tramas recibidas correctamente; estabilidad en los valores de humedad y temperatura.

5.2.5. Prueba de estabilidad de las mediciones

Esta prueba consiste en registrar de forma continua las mediciones del nivel de agua, la temperatura y la humedad durante un período prolongado de 24 horas. El objetivo es verificar la consistencia de las lecturas, identificar posibles valores atípicos y detectar errores de comunicación, asegurando la confiabilidad de los datos transmitidos por los sensores.

Se registran lecturas periódicas de los sensores LMDS200 y LSN50v2-8 durante un intervalo de 24 horas, con un tiempo de muestreo de 3 minutos. En cada registro se monitorean:

- Nivel de agua (cm) para el sensor LMDS200.
- Temperatura (°C) y humedad (%) para el sensor LSN50v2-8.
- Voltaje de la batería para verificar la alimentación continua.
- Consistencia de los valores medidos y posibles errores de comunicación.

La Tabla 5.8 presenta un extracto de las mediciones periódicas obtenidas durante la prueba de estabilidad, mostrando la consistencia de las lecturas de ambos sensores.

Tabla 5.8: Resultados de la prueba de estabilidad de lecturas de LMDS200 y LSN50v2-8

Sensor	Hora	Nivel (cm)	Temp (°C)	Humedad (%)	Batería (V)	Observaciones
LMDS200	17:01	103	-	-	3.392	Lectura estable, sin alarmas.
LMDS200	17:04	104	-	-	3.390	Variación mínima de 1 cm; transmisión confiable.
LSN50v2-8	17:03	-	19.5	54	3.691	Lecturas consistentes; temperatura y humedad estables.
LSN50v2-8	17:06	-	19.6	53	3.689	Variación mínima; transmisión sin errores.
LMDS200	17:07	103	-	-	3.389	Nivel se mantiene dentro del rango normal.
LSN50v2-8	17:09	-	19.5	54	3.687	Lecturas repetidas confiables; sin anomalías.

5.2.6. Prueba de alimentación solar

Se evalúa la capacidad de los paneles solares para proveer energía suficiente a los sensores durante todo el día, incluyendo períodos con baja radiación solar. La prueba permite observar la continuidad de las transmisiones y la operación estable de los nodos, sin pérdida de datos por falta de alimentación.

Se realiza un seguimiento del comportamiento de la batería bajo tres condiciones distintas:

- Sensores funcionando únicamente con la batería cargada, sin aporte solar.
- Sensores con alimentación solar durante días nublados.
- Sensores con alimentación solar durante días soleados.

Durante cada condición se registra la duración de la batería y la continuidad de la transmisión de datos, considerando el intervalo de muestreo de cada sensor:

- LMDS200: cada 5 minutos.
- LSN50v2-8: cada 3 minutos.

La Tabla 5.9 muestra los resultados obtenidos en cada escenario de prueba.

Tabla 5.9: Resultados de la prueba de alimentación solar para los sensores LMDS200 y LSN50v2-8

Sensor	Condición	Duración de la batería	Transmisión de datos	Observaciones
LMDS200	Sin alimentación solar	3 días	Cada 5 min	La batería se descarga completamente en 3 días; la transmisión se mantiene hasta su agotamiento.
LSN50v2-8	Sin alimentación solar	3 días	Cada 3 min	Comportamiento similar al LMDS200; sin aporte solar, la batería se agota en 3 días.
LMDS200	Alimentación solar (días nublados)	5 días	Cada 5 min	La batería alcanza una duración de 5 días con recarga parcial; transmisión estable.
LSN50v2-8	Alimentación solar (días nublados)	5 días	Cada 3 min	Las lecturas periódicas se mantienen; la batería permanece dentro de un rango seguro.
LMDS200	Alimentación solar (días soleados)	Continuo	Cada 5 min	La energía solar mantiene el sensor operativo de forma continua, sin interrupciones.
LSN50v2-8	Alimentación solar (días soleados)	Continuo	Cada 3 min	La transmisión y las lecturas se mantienen sin interrupciones; energía suficiente garantizada.

5.2.7. Prueba de integridad de datos en la plataforma

La prueba de integridad consiste en comparar los datos recibidos en la plataforma Datacake con los valores reales medidos por los sensores. Esto permite verificar la correcta decodificación de los *payloads* y asegurar que la información registrada en la plataforma refleje con precisión las condiciones reales del río y del entorno.

Se realiza un seguimiento simultáneo de las siguientes mediciones:

- Nivel de agua registrado por el sensor LMDS200.
- Temperatura y humedad registradas por el sensor LSN50v2-8.
- Comparación de las lecturas en Datacake con las mediciones directas en campo o simuladas.

- Verificación de la consistencia de los valores y la ausencia de errores de transmisión.

La Tabla 5.10 muestra un ejemplo de la comparación entre las lecturas recibidas en Datacake y los valores medidos por los sensores.

Tabla 5.10: Prueba de integridad de datos de los sensores LMDS200 y LSN50v2-8 en Datacake

Sensor	Hora	Valor del sensor	Valor en Datacake	Diferencia	Observaciones
LMDS200	17:01	103 cm	103 cm	0 cm	Lectura exacta; transmisión correcta.
LMDS200	17:06	104 cm	104 cm	0 cm	Valores coincidentes; sin pérdida de datos.
LSN50v2-8	17:03	19.5 °C	19.5 °C	0 °C	Lectura consistente; datos recibidos correctamente.
LSN50v2-8	17:06	54 %	54 %	0 %	Humedad coincidente; integridad confirmada.
LSN50v2-8	17:09	19.5 °C	19.5 °C	0 °C	Sin desviaciones; datos confiables.

5.3. Análisis de resultados y definición de algoritmos

En el presente proyecto, el desarrollo de algoritmos de análisis de datos se aborda desde un enfoque aplicado, orientado al procesamiento, evaluación y toma de decisiones automáticas a partir de la información adquirida por los sensores LoRaWAN instalados en el río Ajaví. Los sensores transmiten las mediciones del nivel de agua y las variables ambientales hacia la plataforma TTN, desde donde los datos se envían a la plataforma Datacake para su almacenamiento, visualización y análisis. Cada lectura recibida se evalúa en función de umbrales previamente definidos, los cuales representan distintos niveles de riesgo.

El algoritmo de análisis implementado se basa en una secuencia de etapas representadas mediante el diagrama de flujo mostrado en la Figura 4.18.

Los resultados de las pruebas confirman que el sistema de monitoreo del río Ajaví opera de manera confiable y eficiente. Los sensores LMDS200 y LSN50v2-8 mantienen una comunicación estable con el Gateway Dragino LG308N dentro del área de cobertura, sin pérdida significativa de paquetes, y sus lecturas periódicas resultan consistentes, reflejando con precisión los cambios reales en el nivel de agua, la temperatura y la humedad. La alimentación solar garantiza la continuidad de la operación, con una duración de la batería de 3 días sin aporte solar, 5 días durante jornadas nubladas y operación continua en días soleados. Además, los datos recibidos en la plataforma Datacake coinciden exactamente con las mediciones de los sensores, validando la correcta decodificación del *payload* y asegurando la integridad de la información

para la generación de alertas y la visualización de gráficas. En conjunto, estos resultados evidencian que el sistema cumple los objetivos de monitoreo, proporciona información confiable y permite una gestión efectiva del riesgo de crecidas del río Ajaví.

Capítulo VI

CONCLUSIONES

Se ha diseñado e implementado un sistema funcional que permite el monitoreo automatizado del río Ajaví, integrado por sensores de nivel de agua, humedad y temperatura con comunicación LoRaWAN. El sistema proporciona la información esperada y genera alertas tempranas para prevenir riesgos de inundaciones en la ciudad.

La red LoRaWAN instalada demostró tener una cobertura adecuada entre los nodos y el gateway, a pesar de la distancia y de los posibles intermediarios naturales.

Los sensores funcionan de manera autónoma y transmiten datos críticos a intervalos configurables, asegurando la continuidad del monitoreo y la información verídica.

Se implementaron reglas de alerta basadas en umbrales críticos y se verificó la consistencia de los datos transmitidos y junto a los algoritmos aplicados se permitió identificar cambios en los niveles de agua que podrían indicar riesgos de creciente, apoyando la toma de decisiones tempranas y la prevención de desastres.

La interfaz, desarrollada mediante la plataforma Datacake , permite a los usuarios observar lecturas en tiempo de 5 minutos el nivel del agua y en un tiempo de 3 minutos las condiciones del entorno natural que realizan los sensores y recibir alertas automáticas. Esto garantiza que la información sea confiable.

Capítulo VII

RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar el número de nodos y ubicarlos a lo largo del cauce del río Ajaví para mejorar la cobertura del monitoreo.

Integrar más variables climáticas (como presión atmosférica o velocidad del viento) para enriquecer el análisis de datos y mejorar los modelos predictivos.

Realizar mantenimientos periódicos al sistema fotovoltaico y a los sensores para garantizar su precisión y funcionamiento continuo.

Considerar la implementación de protocolos de cifrado para asegurar la integridad y confidencialidad de los datos transmitidos por LoRaWAN.

Bibliografía

- [1] El Universo, “Se estima que se necesitan 10 millones de dólares para enfrentar inundaciones en Ibarra,” 2023. Diario El Universo.
- [2] World Economic Forum, “The global risks report 2023,” 2023.
- [3] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, “El monitoreo de la cuenca del río Coca se refuerza con la instalación de 12 pluviómetros,” 2021.
- [4] I. A. L. Reinoso, “Red IoT comunitaria con tecnología LoRa para cultivos urbanos inteligentes,” 2024.
- [5] D. E. A. Priori and J. J. N. Guayllas, “Sistema de alerta temprana de riesgo de inundaciones basado en el protocolo de comunicación LoRa,” 2020.
- [6] E. R. Ramos Silvestre, R. I. Fuentes Tellería, and A. Otálora Rodríguez, “Desarrollo de una plataforma de monitoreo para una red de dispositivos IoT empleando tecnología LoRaWAN,” *Journal Boliviano de Ciencias*, vol. 18, pp. 6–25, 12 2022.
- [7] Enercity S.A., “Sistemas fotovoltaicos autónomos,” 11 2019.
- [8] Dragino, “Mds200-lb/lr LoRaWAN microwave radar distance sensor user manual,” 2025. Accessed: Jan. 21, 2026.
- [9] L. Dragino Technology Co., “Lsn50 & lsn50-v2 LoRaWAN sensor node user manual.” <https://www.dragino.com/products/lora-lorawan-end-node/item/155-lsn50-v2.html?>, 2025. Accessed: Feb. 2, 2026.
- [10] Generic, “6V 5W solar panel for Arduino and IoT projects,” 2024.
- [11] Generic, “TP4056 Li-ion battery charger module with protection,” 2024.
- [12] Coonyard, “Batería recargable 18650 Li-ion 3.7V 3000mAh (pack 2 unidades).” <https://uelectronics.com/producto/bateria-18650-3-7v-3000mah/?srsltid=>

[AfmBOop7VZqZrxaXjGBoNGCbJD-sfHb7CPapuUI5_g65R-ft2Ajl9d2](#), 2024. Accessed: Feb. 2, 2026.

- [13] Dragino, “Lg308n lorawan gateway user manual,” 2 2025.
- [14] Texas Instruments, *LM2596 SIMPLE SWITCHER® 4.5 V to 40 V, 3 A Low Component Count Step-Down Regulator*. Texas Instruments, Dallas, TX, USA, 2026. Datasheet and product information page.
- [15] C. S. C. Ramírez, “Análisis del flujo en el colector ajaví, drenaje principal de la ciudad de Ibarra,” 2013.
- [16] B. Arshad, R. Ogie, J. Barthelemy, B. Pradhan, N. Verstaevel, and P. Perez, “Computer vision and iot-based sensors in flood monitoring and mapping: A systematic review,” *Sensors*, vol. 19, no. 22, p. 5012, 2019.
- [17] J. A. G. Puente, “Desarrollo de un pluviómetro de bajo costo para monitorización y alerta de precipitaciones utilizando tecnología lora,” 2022.
- [18] C. Perera, M. Barhamgi, D. A. Meedeniya, V. Bonilla, B. Campoverde, and S. G. Yoo, “A systematic literature review of lorawan: Sensors and applications,” *Sensors*, vol. 23, no. 20, p. 8440, 2023.
- [19] J. P. Morales-Alvarez, E. Cruz-Sánchez, D. A. Hiraes-Valles, V. I. Rodríguez-Abdalá, J. N. García-Verdugo, and G. E. Vázquez-Morales, “Sistema de monitoreo lorawan de consumo de agua,” *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, vol. 11, pp. 183–189, 9 2023.
- [20] F. A. Saparudin, M. S. Halim, N. S. A. Ibrahim, and M. F. Baharom, “Real-time flood monitoring using mobile lorawan iot gateway: A case study of the muar river catchment,” in *2024 IEEE 1st International Conference on Communication Engineering and Emerging Technologies (ICoCET)*, pp. 1–4, 2024.
- [21] J. P. B. B., R. R. I., M. S., and S. P., “Iot-based mine environmental monitoring system using lorawan and cloud integration,” in *2025 International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics, Ubiquitous Communication, and Computational Intelligence (RAEEUCCI)*, pp. 1–6, 2025.

- [22] W. Guibene, J. Nowack, N. Chalikias, K. Fitzgibbon, M. Kelly, and D. Prendergast, "Evaluation of lpwan technologies for smart cities: River monitoring use-case," in *2017 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*, pp. 1–5, 2017.
- [23] O. J. M. Arévalo, "Seguridad y eficiencia de redes lora y lorawan para estacionamientos." <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/66396>, 2025. Accessed: Feb. 2, 2026.
- [24] D. Rodríguez, J. Rodríguez, M. Zúñiga, and L. Solano, "Un enfoque para la integración de dispositivos iot en el desarrollo de sig en la nube," *Maskana*, vol. 8, pp. 57–65, 2017.
- [25] R. Castillo and J. C. Espitia, "Caracterización de zonas de riesgo por crecientes de ríos de bajo caudal, para la implementación de un sistema de alertas tempranas (sat) con tecnología lora y lorawan," *Información Tecnológica*, vol. 31, no. 2, pp. 47–54, 2020.
- [26] D. E. D. L. R. Morrón, "Prototipo electrónico basado en iot para prevención de inundaciones en el embalse del guájaro-ecoguájaro," *Revista de Ingeniería y Tecnología Ambiental*, 2024.
- [27] El Universo, "Desbordamiento del río ajaví en ibarra inunda varios sectores," 2023.
- [28] I. Aguiar and J. Bernal, "Revisión del estado del arte de los sistemas de monitoreo para la prevención de desastres naturales en el ecuador," 2018.
- [29] M. Barrio, *Internet de las Cosas*. Editorial Reus, 2021.
- [30] E. A. Aguirre, L. E. Torres, L. C. Romero, E. P. Holguín, and R. Ferro, "Modelo para la implementación de una plataforma de iot para el conocimiento del riesgo," *Ingeniería y Competitividad*, vol. 24, no. 2, pp. 1–11, 2022.
- [31] M. Latorre, L. Buitriago, and J. Gutierrez, "Redes lorawan: Revisión de componentes funcionales en aplicaciones iot," *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 1 2019.
- [32] J. Castillo, "Redes de comunicación iot en ciudades inteligentes mediante la aplicación de tecnología lora," tech. rep., Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2023.
- [33] The Things Network, "Lorawan architecture," 2024.

- [34] M. Jouhari, N. Saeed, M.-S. Alouini, and E. M. Amhoud, “A survey on scalable lorawan for massive iot: Recent advances, potentials, and challenges,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 4, pp. 3057–3088, 2020.
- [35] F. Hessel, L. Almon, and F. Álvarez, “Chirpotle: A framework for practical lorawan security evaluation,” *Proceedings of the 2020 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, 2020.
- [36] Becolve, “Gateway lorawan: el elemento clave de la red,” 7 2020.
- [37] R. H. Sampieri, C. F. Collado, and P. B. Lucio, *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill, 2006.
- [38] A. F. C. Ventimilla, E. F. P. Luna, D. J. S. Chasipanta, and M. S. O. Vergara, *Métodos y técnicas de investigación*. Guayaquil, 2017.
- [39] The Things Network, “The things network,” 2026.
- [40] D. GmbH, *Datacake | Low Code IoT Platform*, 2026. Accessed: Jan. 21, 2026.

Anexos

0.1. Anexo A. Mensajes JSON decodificados de los sensores LoRaWAN

Sensor LMDS200:

```
{
  "decoded_payload": {
    "Bat": 3.362,
    "DALARM_count": 0,
    "Distance_alarm": 0,
    "Interrupt_alarm": 0,
    "Node_type": "LMDS200",
    "dis1": 102,
    "dis2": 252
  },
  "uplink_message": {
    "f_port": 2,
    "f_cnt": 3,
    "consumed_airtime": "0.056576s"
  },
  "rx_metadata": {
    "rssi": -73,
    "snr": 11.2,
    "gateway_id": "dragino-ajavi"
  }
}
```

Sensor LNS50v2-8

```
{
  "decoded_payload": {
    "Bat": 3.45,
    "Temperature": 22.6,
    "Humidity": 78,
    "Node_type": "LSN50"
  },
  "uplink_message": {
    "f_port": 2,
    "f_cnt": 12
  },
  "rx_metadata": {
    "rssi": -75,
    "snr": 9.5,
    "gateway_id": "dragino-ajavi"
  }
}
```

0.2. Anexo B. Estructura metálica

El presente anexo muestra el plano de la estructura diseñada para la instalación del sistema de monitoreo en el río Ajaví.

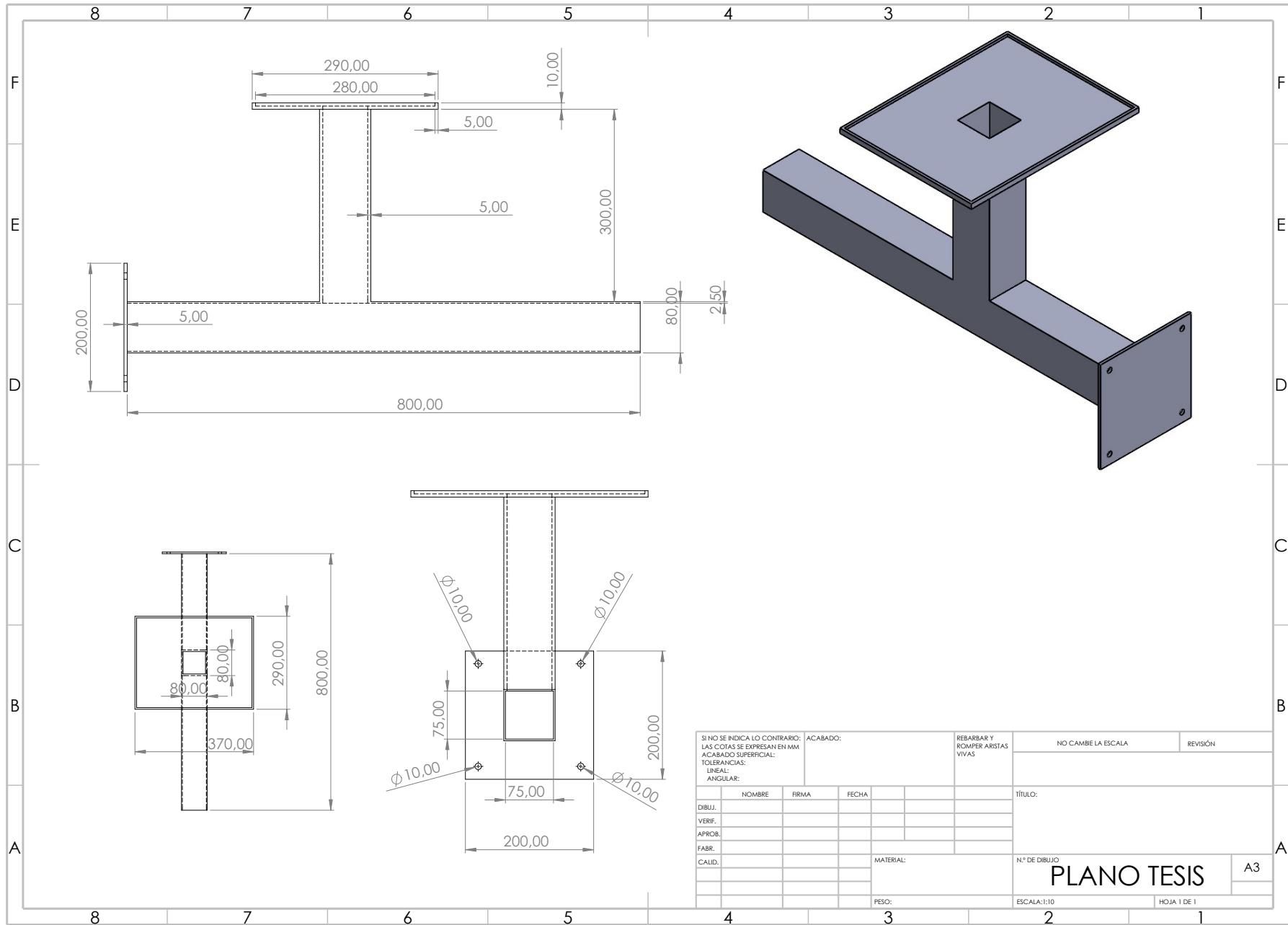


Figura 0.1: Plano de la estructura metálica

0.3. Anexo C. Instalación del dispositivo



Figura 0.2: Instalación del dispositivo parte 1

0.5. Anexo E. Gráfica del monitoreo de temperatura y humedad

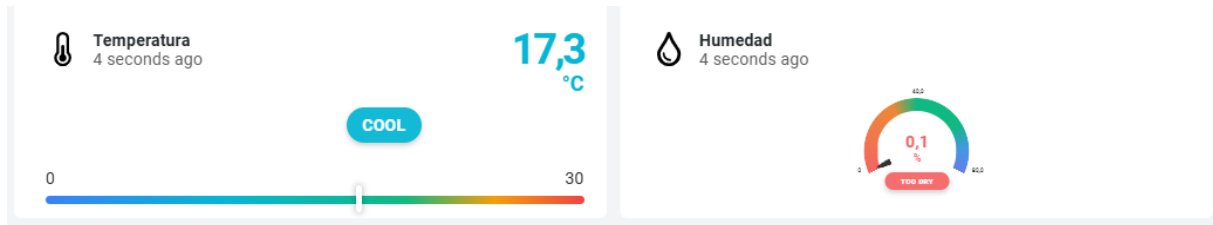


Figura 0.5: Temperatura y Humedad

0.6. Anexo F. Alertas enviadas por correo

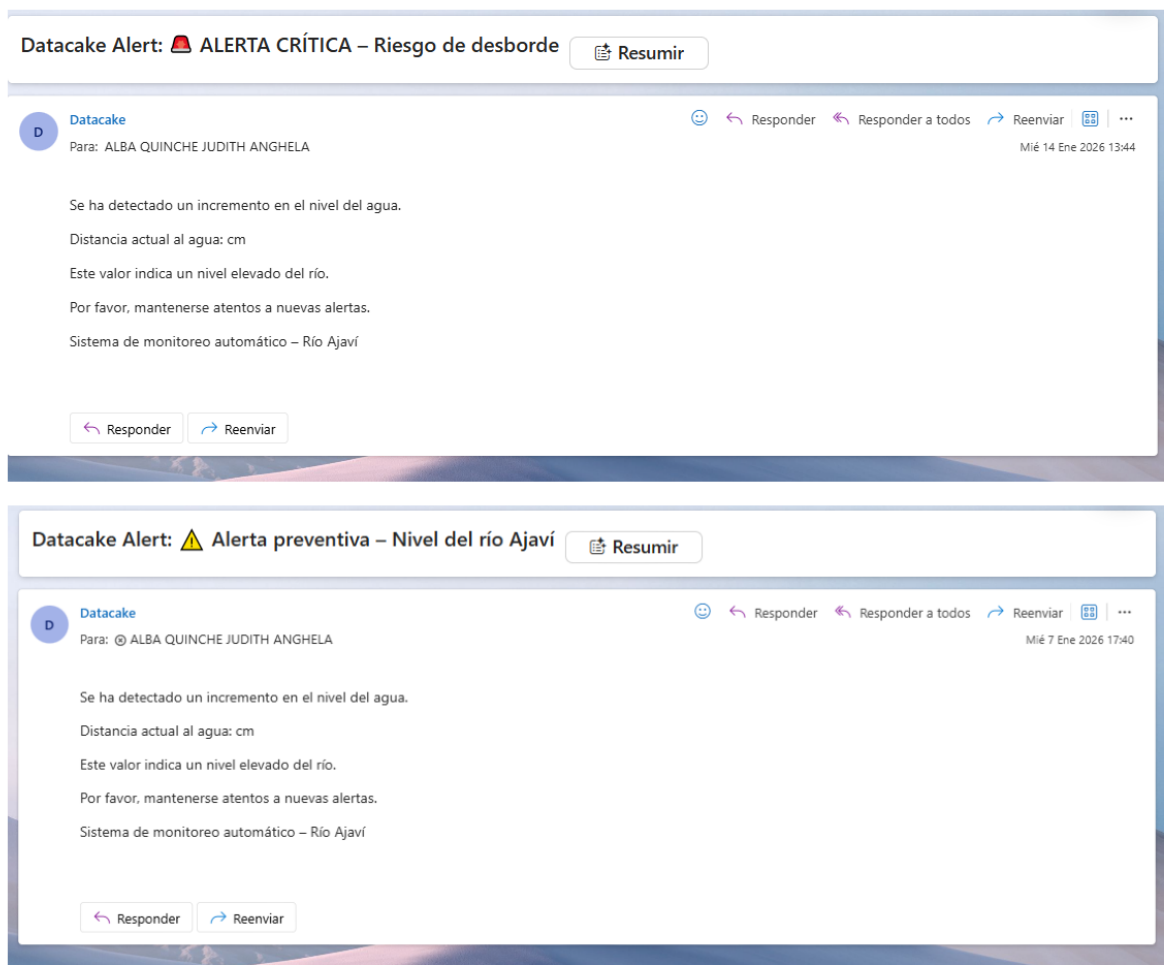


Figura 0.6: Correo de advertencia