

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas



**Prototipo basado en una red LoRaWAN para la obtención y  
almacenamiento de datos multivARIABLES, orientado a la  
agricultura en zonas altoandinas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

**Autor:**

Godofredo Quea Lopez

**Asesor:**

Mg. Angel Rosendo Condori Coaquira

**Juliaca, octubre de 2025**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Angel Rosendo Condori Coaquira, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **"Prototipo basado en una red LoRaWAN para la obtención y almacenamiento de datos multivariados, orientado a la agricultura en zonas altoandinas"** del autor Godofredo Quea Lopez tiene un índice de similitud del 5% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 7 días del mes de noviembre del año 2025.

  
\_\_\_\_\_  
Angel Rosendo Condori Coaquira

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 15 día(s) del mes de octubre del año 2015. Siendo las 14:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del



(de la) presidente(a): Dr. Danny Levano Rodriguez, el (la) secretario(a): Mg. David Mamani Poma y los demás miembros: Mg. Eder Gutierrez Quispe y el (la) asesor(a) Mg. Angel Rosendo Gonderi Coaguira con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

"Prototipo basado en una red LoRAWAN para la obtención y almacenamiento de datos multivariantes, orientado a la agricultura en zonas altoandinas"

del(los) bachiller/es: a) Godofredo Rúa Lopez  
 b) .....  
 c) .....

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero de Sistemas  
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Godofredo Rúa Lopez

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>20</u>	<u>A+</u>	<u>excelente</u>	<u>excelencia</u>

Bachiller (b): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]  
 Presidente/a  
[Firma]  
 Asesor/a  
[Firma]  
 Bachiller (a)

[Firma]  
 Miembro  
 .....  
 Bachiller (b)

[Firma]  
 Secretario/a  
[Firma]  
 Miembro  
 .....  
 Bachiller (c)

## ÍNDICE

<b>Resumen</b> .....	5
<b>Abstract</b> .....	6
<b>I. Introducción</b> .....	7
<b>II. Trabajo Relacionado</b> .....	9
<b>III. Materiales y Métodos</b> .....	10
3.1 Selección de componente.....	10
3.2 Arquitectura propuesta del prototipo basado en LoRaWAN .....	10
3.3 Diseño del prototipo LoRaWAN .....	12
3.4 Arquitectura de software.....	15
3.5 Servidor IoT .....	15
3.6 Visualización de los datos.....	16
<b>IV. Resultados y Discusiones</b> .....	16
4.1 Retos y tecnologías de comunicación en la agricultura altoandina .....	16
4.2 Evaluación funcional y optimización del diseño del prototipo.....	17
4.3 Diseño e implementación de la arquitectura LoRaWAN .....	18
4.4 Despliegue de la red LoRaWAN en zonas altoandinas .....	21
4.5 Recolección de datos. Almacenamiento, y evaluación de usabilidad del sistema .....	22
4.6 Pruebas del servidor IoT propio.....	23
4.7 Monitoreo y presentación de datos multivariables .....	25
<b>V. Conclusiones</b> .....	28
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	30
Anexos .....	32
<b>Anexo A: Evidencia de publicación del artículo en una revista</b> .....	32
<b>Anexo B: Resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo ....</b>	<b>33</b>

**Prototipo basado en una red LoRaWAN para la obtención y almacenamiento de datos multivariantes, orientado a la agricultura en zonas altoandinas**

**LoRaWAN-based system for multivariate data acquisition in high Andean agriculture**

**Resumen**

La agricultura altoandina en Perú enfrenta desafíos significativos debido al cambio climático y a la carencia de datos confiables para una toma de decisiones precisa. El monitoreo remoto en estas zonas se ve limitado por la falta de conectividad a Internet, especialmente en áreas agrícolas de difícil acceso. Este estudio presenta un prototipo de sistema de Internet de las Cosas (IoT) basado en tecnología LoRaWAN para la recolección y almacenamiento de datos multivariantes, orientado a la agricultura en zonas altoandinas. El sistema integra sensores de temperatura, humedad, radiación solar, velocidad del viento y dirección del viento, transmitiendo la información mediante comunicación de largo alcance y bajo consumo hacia un servidor IoT para su almacenamiento y análisis. Las pruebas en campo, realizadas a 3 800 m s. n. m., alcanzaron distancias de 5 km y 10 km con una tasa de transmisión exitosa del 100%. Los nodos fueron alimentados por energía solar, permitiendo una operación autónoma y continua. Los resultados demuestran que LoRaWAN puede superar las barreras de conectividad en entornos rurales de gran altitud, ofreciendo una solución escalable y sostenible que fortalece la resiliencia climática y optimiza las prácticas agrícolas en regiones altoandinas.

*Palabras clave: LoRa, LoRaWAN, zonas altoandinas, IoT*

## **Abstract**

High-Andean agriculture in Peru faces significant challenges from climate change and a scarcity of reliable data for precise decision-making. Remote monitoring in these zones is constrained by a lack of Internet connectivity, particularly in hard-to-reach agricultural areas. This study presents a prototype Internet of Things (IoT) system based on LoRaWAN technology for the collection and storage of multivariate data tailored for agriculture in high-Andean zones. The system integrates sensors for temperature, humidity, solar radiation, wind speed, and wind direction, transmitting the information via long-range, low-power communication to an IoT server for storage and analysis. Field tests, conducted at 3,800 m.a.s.l., achieved communication distances of 5 km and 10 km with a 100% successful transmission rate. The sensor nodes were solar powered, enabling autonomous and continuous operation. The results demonstrate that LoRaWAN can overcome connectivity barriers in high-altitude rural environments, offering a scalable and sustainable solution that strengthens climate resilience and optimizes agricultural practices in high-Andean regions.

***Keywords:*** *LoRa, LoRaWAN, high Andean areas, IoT*

## I. Introducción

El protocolo Red de Área Amplia de Largo Alcance (LoRaWAN, Long Wide Area Network) se ha convertido en una de las soluciones más eficaces en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things) [1]. Esta tecnología avanzada permite conectar múltiples dispositivos a internet, desempeñando un papel fundamental como facilitador de sistemas de IoT [2]. LoRaWAN opera en bandas de frecuencia no licenciadas y emplea la técnica Espectro Ensanchado por Chirridos (CSS, Chirp Spread Spectrum), caracterizada por el uso de chirridos de frecuencia lineal de amplio espectro. Esta técnica es fundamental para las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) [3] [4]. Además, su bajo consumo energético y resistencia a las interferencias en el espectro electromagnético hacen de LoRaWAN una tecnología ideal para aplicaciones en entornos adversos [5]. Por otro lado, los transeceptores de radio LoRa operan en frecuencias de 433 MHz y 868 MHz, con potencias de transmisión de hasta +10 dBm (10 mW) y +14 dBm (25 mW), respectivamente, permitiendo flexibilidad en diversas regiones [6]. Los dispositivos conectados a LoRaWAN son denominados como IoT inalámbricos de bajo consumo y pueden clasificarse según el alcance de las redes en las que operan:

- Red de área local (LAN, Local Area Network), con un alcance inferior a 1000 m en dispositivos de comunicación de baja potencia que involucra redes de baja potencia de corto alcance y Red de Área Personal (PAN, Personal Area Network). Estas redes incluyen tecnologías como Bluetooth, IEEE 802.15.4 e IEEE P802.1ah.
- Red de área amplia (WAN, Wide Area Network), con un alcance mayor a 1000 m en dispositivos de bajo consumo energético.

La agricultura enfrenta desafíos complejos derivados del cambio climático, variaciones en la calidad del suelo y la incidencia de plagas, heladas y sequías [7] [8]. La caracterización de los procesos agrícolas requiere datos confiables que permitan evaluar la variabilidad espacial y temporal, lo que implica la consideración de múltiples variables interdependientes. En este contexto, los avances en la ciencia de datos y las herramientas analíticas representan oportunidades significativas para integrar y analizar datos agrícolas de manera económica y automática, en tiempo real y con alta precisión [9]. Sin embargo, la implementación de Big Data en la agricultura inteligente todavía es limitada por la falta de datos en regiones donde predomina la agricultura

andina, lo cual evidencia la necesidad de aplicar nuevas tecnologías y continuar el avance en este campo.

Además de estos desafíos generales, el cambio climático genera impactos alarmantes sobre los recursos hídricos y climáticos en diversas regiones, afectando particularmente a las zonas altoandinas. Estas áreas, situadas en la puna de los Andes a altitudes superiores a los 3500 msnm, abarcan territorios de países como Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia [10]. Debido a su fragilidad ecológica y a la limitada capacidad socioeconómica de sus habitantes, estas regiones son altamente vulnerables, enfrentando riesgos significativos, como la pérdida de biodiversidad y degradación de los ecosistemas, cuya tasa de recuperación es extremadamente baja después de una perturbación [11]. Sin embargo, a pesar de su importancia ambiental, las zonas altoandinas han recibido una atención limitada en las políticas ambientales, en contraste con los bosques tropicales, los cuales son priorizados en términos de conservación [12].

A pesar de los avances en IoT, existe una brecha en la aplicación de LoRaWAN para la recolección y almacenamiento de datos agrícolas en las zonas altoandinas. Por un lado, estudios previos se han enfocado en áreas urbanas o rurales de fácil acceso. Por otro lado, las regiones remotas, que podrían beneficiarse enormemente de estas tecnologías, han sido poco exploradas. Esta falta de investigación limita la capacidad de los agricultores locales para adaptarse a las condiciones variables y mejorar su productividad.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo desarrollar un prototipo basado en una red LoRaWAN para la recolección y almacenamiento de datos multivariados en la agricultura altoandina. Este prototipo está diseñado para operar de manera eficiente en entornos remotos, permitiendo la recopilación y almacenamiento en tiempo real de múltiples parámetros agrícolas, tales como humedad del suelo, temperatura, velocidad y dirección del viento, radiación solar y presión atmosférica. La representación gráfica de los datos recolectados facilitará su interpretación por parte de los agricultores, permitiéndoles tomar decisiones informadas y optimizar sus prácticas agrícolas. Así, esta investigación busca proporcionar una solución tecnológica adaptada a las

necesidades y limitaciones específicas de las zonas altoandinas, promoviendo el uso del IoT y Big Data para fortalecer el desarrollo sostenible en estas regiones.

## **II. Trabajo Relacionado**

La agricultura en ecosistemas altoandinos presenta desafíos ambientales específicos, los cuales fueron abordados por [12]. Quienes realizaron un análisis exhaustivo de los servicios ecosistémicos claves en la región altoandina, enfocándose en recursos esenciales como el agua, la fertilidad del suelo y la biodiversidad. Este estudio enfatiza la importancia de implementar estrategias sostenibles como la rotación de cultivos y el manejo cuidadoso de recursos hídricos frente a amenazas crecientes como el cambio climático, el sobrepastoreo y la minería, sugiriendo un monitoreo constante y multivariado del entorno para preservar estos recursos.

Por su parte, [13] desarrollaron un innovador sistema IoT basado en LoRaWAN para el monitoreo remoto en tiempo real de la calidad del agua en áreas rurales. Este sistema integró sensores específicos para medir parámetros críticos como pH, sólidos disueltos totales, turbidez y temperatura, utilizando plataformas como The Things Network (TTN) para la comunicación inalámbrica, y ThingSpeak para almacenamiento y visualización eficiente de los datos en la nube, demostrando efectividad y robustez en la implementación en entornos rurales.

presentaron una arquitectura tecnológica avanzada para automatización de hogares inteligentes, combinando LoRa con Bluetooth y servidores dedicados basados en LoRa [1]. Este estudio evaluó detalladamente parámetros técnicos cruciales como retrasos en la transmisión, niveles de señal y área de cobertura, ofreciendo valiosas recomendaciones para optimizar configuraciones en aplicaciones remotas, particularmente relevantes para entornos agrícolas similares en características. Asimismo, [14]. implementaron un sistema IoT con sensores inalámbricos utilizando técnicas avanzadas de aprendizaje automático para predecir enfermedades en cultivos de manzana en Cachemira, validando la utilidad del monitoreo constante de condiciones ambientales como humedad y temperatura para decisiones efectivas en la agricultura.

Esta investigó profundamente la optimización del rendimiento de redes inalámbricas basadas en LoRaWAN, [15] identificando cómo variables técnicas tales como frecuencia de transmisión,

distancia entre nodos y condiciones climáticas afectan directamente la eficiencia en la comunicación de datos en agricultura inteligente. Su estudio se complementó con el uso de ThingSpeak para almacenamiento en la nube y aplicaciones móviles para facilitar la visualización y análisis remoto. Finalmente, [11]. documentaron un valioso proyecto de cooperación técnica entre SENAMHI (Perú) y MeteoSwiss (Suiza), orientado al desarrollo conjunto de servicios climáticos específicos para el sector agrícola peruano. Este proyecto resalta la necesidad y efectividad de soluciones tecnológicas adaptadas localmente, respaldando directamente la importancia del desarrollo autónomo de servidores IoT para el almacenamiento seguro y controlado de datos agrícolas en la región altoandina.

### **III. Materiales y Métodos**

#### **3.1 Selección de componente**

Los componentes del sistema LoRaWAN fueron seleccionados considerando los factores ambientales característicos de las zonas altoandinas, tales como las variaciones extremas de temperatura, la radiación solar limitada y humedad relativa. La selección priorizó la relación costo-beneficio, asegurando que los sensores fueran confiables, económicos y con un margen mínimo de error en la medición de las variables de estudio. Así, el costo total del sistema asciende a aproximadamente \$ 320.00.

Los componentes de hardware comprenden sensores de temperatura y humedad del ambiente (CWT-TH04S, ComWinTop), Temperatura del suelo (DS18B20), Radiación solar (sn-300al-ran01), Anemómetro (CWT-SWS-C-RS485), Dirección del viento (zts-3000-fxjt-n01), Microcontroladores (ESP32 WROOM 32 CP2102), módulo LoRa (E220-900T22D-V1.2), Batería (18650 de 8000 mAh), Panel solar (Cafini 12V 37w), Controlador de carga (Solar MPPT 30A), Conversor de voltaje (Mini560 5v, 12v). Los componentes de software incluyen el software de IDE de Arduino 2.3 editor de código Visual Studio Code versión 1.100.3 para el desarrollo del servidor IoT, y SketchUp online versión gratuita para diseños 3D.

#### **3.2 Arquitectura propuesta del prototipo basado en LoRaWAN**

La arquitectura del prototipo se basa en una red de sensores inalámbricos que utilizan tecnología LoRaWAN, integrada en el contexto del Internet de las Cosas (IoT), para la transmisión de datos

en áreas de difícil acceso. En este contexto, se emplearon microcontroladores ESP32 como unidad central de procesamiento para integrar sensores de grado industrial mediante el protocolo de comunicación Modbus. Este protocolo facilita la recopilación de parámetros ambientales críticos, tales como la temperatura del aire y suelo, humedad ambiental, humedad del suelo, dirección y velocidad del viento, radiación solar y presión atmosférica, obtenidos a través de los sensores mencionados. La Fig. 1 presenta el diagrama de construcción del nodo transmisor y nodo receptor, integrados con el microcontrolador ESP32 y el módulo LoRa para el almacenamiento y visualización de datos. Además, presenta las interconexiones entre los componentes y describe la arquitectura global del prototipo desarrollado (Fig. 1).

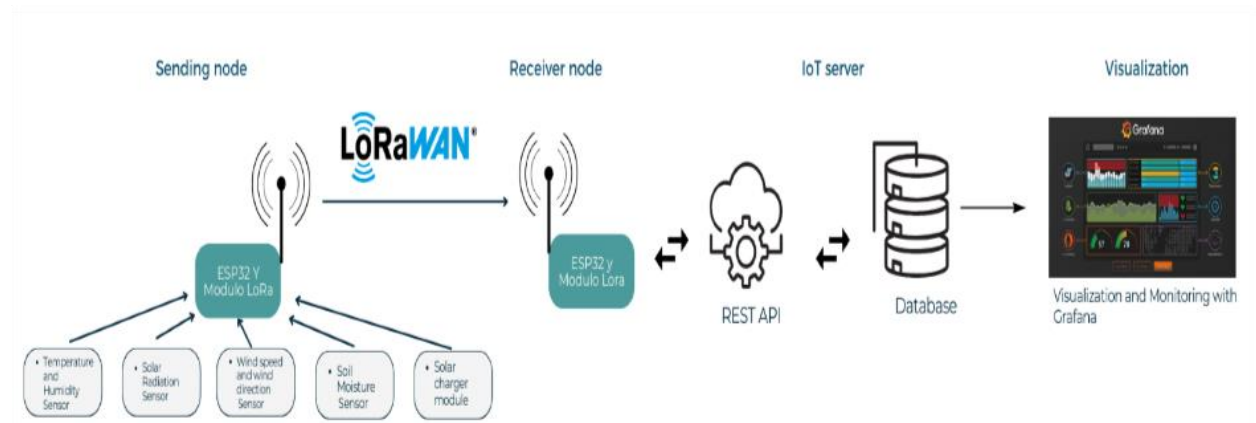


Fig. 1. Diagrama de la arquitectura propuesta del prototipo LoRaWAN

El diagrama de flujo (Fig. 2), del sistema de obtención y almacenamiento de datos muestra dos nodos principales: nodo transmisor y nodo receptor, los cuales utilizan el microcontrolador ESP32. El nodo transmisor, caracterizado por su bajo consumo energético, realiza la lectura inicial de los datos mediante los sensores de grado industrial. Estos datos son transmitidos al nodo receptor a través del módulo LoRa. El nodo receptor, una vez que obtiene la información, utiliza una API REST para enviar los datos a un servidor propio, donde son almacenados de forma segura.

Finalmente, los datos se visualizan mediante gráficos en dispositivos móviles y computadoras, permitiendo generar alertas destinadas a los agricultores, lo que facilita la toma de decisiones.

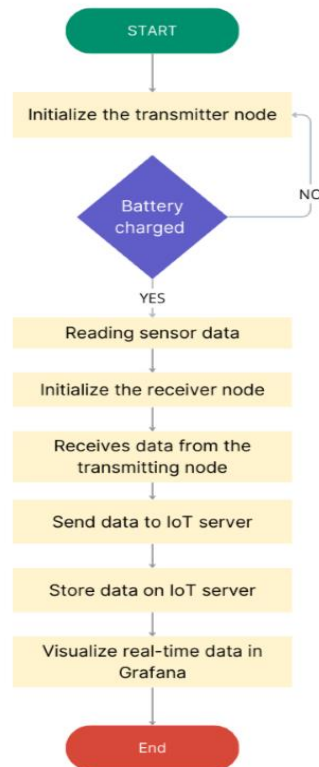
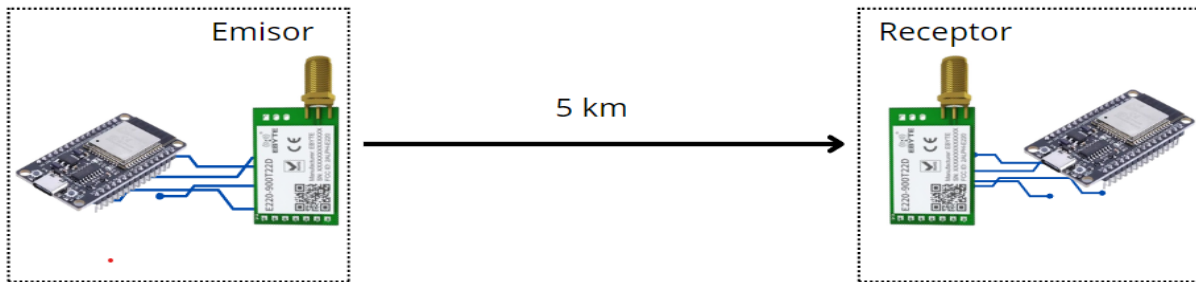


Fig. 2. Diagrama de flujo de obtención y almacenamiento de datos.

### 3.3 Diseño del prototipo LoRaWAN

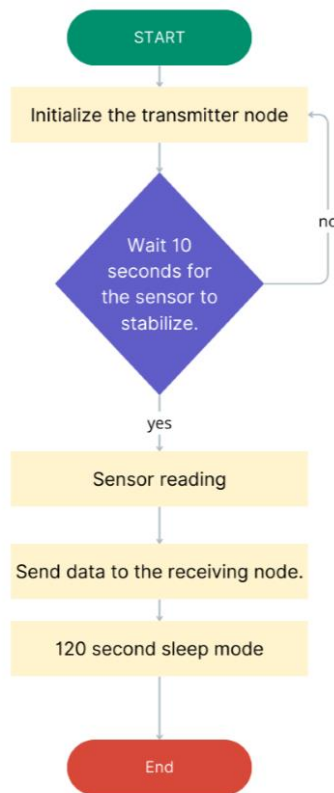
La (Fig. 3), presenta el diseño del prototipo de comunicación inalámbrica basado en LoRa, compuesto por una estación de transmisión y una de recepción, con rangos de operación de 5 km y 10 km en condiciones de línea de vista directa. El prototipo se implementó en zonas altoandinas, donde las estaciones mantienen un campo visual libre de obstáculos, lo que reduce las interferencias electromagnéticas habituales en entornos urbanos. La configuración de los módulos se efectuó mediante el software de EBYTE, estableciendo parámetros como canal de transmisión, clave de acceso (*key*) y potencia de salida, para la posterior comunicación serial con el microcontrolador ESP32. Tanto el módulo transmisor como el receptor fueron configurados con los mismos parámetros para asegurar compatibilidad y correcto funcionamiento. Asimismo, se

consideraron las bandas de frecuencia permitidas en la región, optando por 915 MHz conforme a la normativa local.



*Fig. 3. Dispositivo del nodo emisor y receptor*

Respecto al mecanismo de transmisión de datos, el nodo transmisor (Fig. 4), se alimenta con un panel solar conectado a una batería recargable LiPo 18650. Luego, una vez encendido el microcontrolador ESP32, se espera un intervalo de 10 segundos para estabilizar los sensores conectados. Seguidamente, el microcontrolador realiza la lectura de los datos provenientes de los sensores y los transmite al módulo LoRa para su envío al nodo receptor.



*Fig. 4. Diagrama de flujo del nodo transmisor.*

Por otro lado, el nodo receptor está diseñado para recibir la señal enviada por el nodo transmisor. Al detectar la señal, el microcontrolador sale del modo deep sleep, configurado previamente para optimizar el ahorro de energía. Una vez recibido el paquete de datos a través de LoRa, el nodo receptor establece una conexión Wi-Fi para transmitir los datos a la nube. Si la conexión Wi-Fi es exitosa, el sistema realiza una solicitud a la nube y, en caso de recibir un código de respuesta positivo, los datos son enviados al servidor IoT. Contrariamente, el nodo reinicia el proceso de conexión y transmisión (Fig. 5).

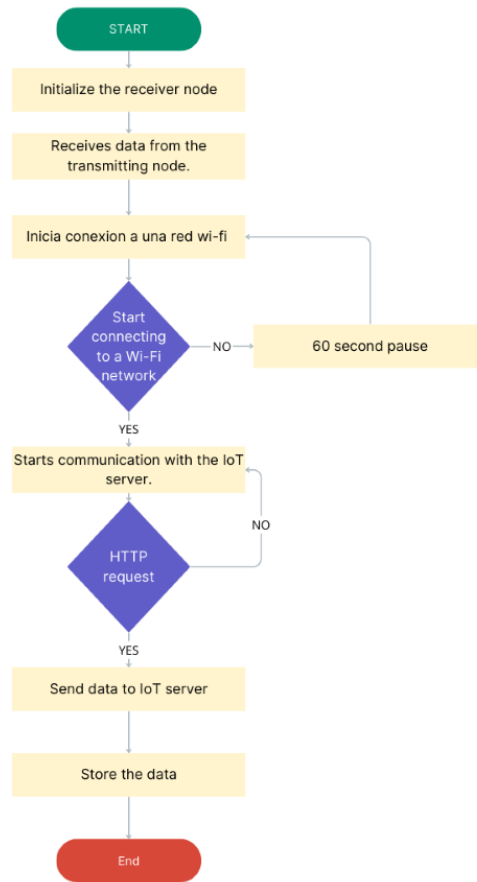


Fig. 5. Diagrama de flujo del nodo receptor

### 3.4 Arquitectura de software

El desarrollo de software se basa en una arquitectura cliente-servidor, que integra los componentes del sistema mediante lenguajes de programación específicos para distintas funciones. En primer lugar, C++ fue utilizado para la programación de los microcontroladores ESP32, permitiendo la comunicación con los sensores multivariables y la transmisión inalámbrica de datos a través de LoRaWAN y Wi-Fi. En segundo lugar, Laravel fue empleado para el desarrollo del backend del servidor, encargado del procesamiento y almacenamiento seguro de los datos. Finalmente, esta arquitectura permite la transmisión de los datos hacia la nube mediante el protocolo API REST, asegurando una comunicación fluida y confiable entre los nodos y el servidor IoT.

### 3.5 Servidor IoT

Los servicios en la nube han transformado la gestión de datos en entornos de IoT, permitiendo el almacenamiento eficiente y acceso remoto desde cualquier parte del mundo. No obstante, en este

estudio se desarrolló un servidor IoT personalizado con el objetivo de garantizar un control total sobre los datos y las operaciones del sistema.

Este enfoque permite personalizar completamente la integración del sistema de acuerdo con las necesidades específicas del proyecto. A diferencia de las soluciones en la nube, que imponen limitaciones en términos de configuración y funcionalidades, un servidor IoT personalizado ofrece una mayor flexibilidad, optimizando tanto el rendimiento como las medidas de seguridad implementada.

### **3.6 Visualización de los datos**

Para la visualización de datos en tiempo real, se utilizó Grafana, una herramienta especializada en la representación gráfica de datos y métricas. Esta plataforma permite monitorear el correcto almacenamiento de la información en la base de datos y detectar rápidamente cualquier anomalía o ausencia de datos mediante gráficos dinámicos. Además, Grafana incorpora servicios de API para el envío de notificaciones a los usuarios mediante plataformas como WhatsApp o Telegram, alertando sobre eventos críticos en el sistema.

## **IV. Resultados y Discusiones**

### **4.1 Retos y tecnologías de comunicación en la agricultura altoandina**

Se evaluaron las tecnologías de comunicación disponibles actualmente entre ellos para su aplicación en la agricultura altoandina, destacándose las redes de GSM/2G/3G/4G y Wi-Fi. Por una parte, las redes GSM/2G/3G/4G ofrecen una mayor cobertura, pero presentan desafíos importantes, tales como altos costos de implementación, necesidad de mantenimiento continuo y limitada conectividad en zonas altoandinas debido a su geografía montañosa. En estas regiones, la señal GSM tiende a captarse únicamente en áreas elevadas, donde es posible establecer conexión. Sin embargo, la agricultura generalmente se desarrolla en las faldas de las montañas para mitigar los cambios bruscos de temperatura, lo cual dificulta el acceso a estas redes.

Por otro lado, el Wi-Fi es una tecnología comúnmente utilizada que ofrece una banda ancha robusta, pero tiene un alcance limitado de 100 metros en áreas abiertas. Aunque existen antenas que pueden ampliar este rango, sus costos elevados y la falta de suministro eléctrico constante en las zonas altoandinas dificultan su implementación. Adicionalmente, estas regiones son propensas

a frecuentes tormentas eléctricas, lo que exige un cuidado especial en la instalación y mantenimiento de los equipos de comunicación.

#### **4.2 Evaluación funcional y optimización del diseño del prototipo**

Se realizaron pruebas de funcionalidad del prototipo, evaluando tanto el hardware como el software. Durante esta fase se identificaron y corrigieron varios errores en la alimentación del circuito electrónico y en la codificación del microcontrolador. El sistema emplea un panel solar de 12 V y 36 W, sensores con un rango de alimentación de 7 V a 24 V, y una batería de ion-litio de 5 Ah basada en celdas 18650. Al operar en la zona andina, a unos 4 000 msnm, las temperaturas suelen caer por debajo de 0 °C y la presión atmosférica es menor, lo que aumenta la resistencia interna de las celdas y reduce su capacidad efectiva, provocando una descarga acelerada que compromete la autonomía.

La operación en la zona andina ( $\approx 4\,000$  m s.n.m.) plantea desafíos adicionales, ya que las bajas temperaturas (frecuentes  $< 0$  °C) y la menor presión atmosférica incrementan la resistencia interna de las celdas, reducen su capacidad efectiva y aceleran la descarga, comprometiendo la autonomía. Para mitigar estos efectos se incorporó un modo de suspensión en el microcontrolador. Así, el nodo emisor transmite datos aproximadamente cada 110 s y permanece en sleep el resto del tiempo. Además, se integró un relé que desconecta la alimentación de los sensores durante el reposo, minimizando pérdidas energéticas. Previo a cada lectura, se ejecuta un intervalo de estabilización (warm-up) para asegurar la calidad de las mediciones antes del envío.

La (Fig. 6), muestra el diagrama de conexiones del nodo emisor, mientras que la (Fig. 7), muestra el diagrama de conexiones del nodo receptor.

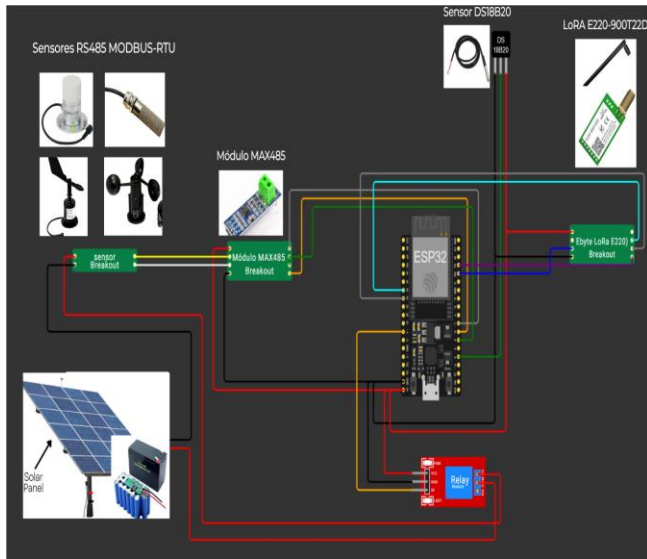


Fig. 6. Diagrama esquemático del nodo emisor

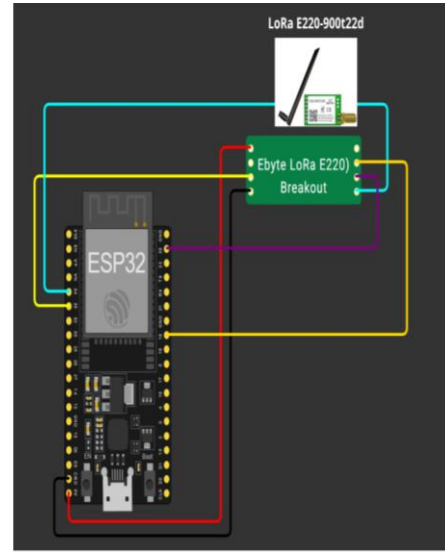


Fig. 7 Diagrama esquemático del nodo receptor

Se realizaron pruebas individuales de cada sensor compilando su respectivo código en el IDE de Arduino, con el fin de verificar lecturas correctas y aislar posibles conflictos antes de la integración completa. Durante esta etapa, se emplearon seis sensores y se monitorizó su salida a través del Monitor Serie de Arduino. Además, el uso de cables codificados por color facilitó el etiquetado y la conexión de cada dispositivo. Para detectar y diagnosticar fallos de forma eficiente, se incorporaron rutinas de depuración que emiten mensajes específicos si algún sensor no responde.

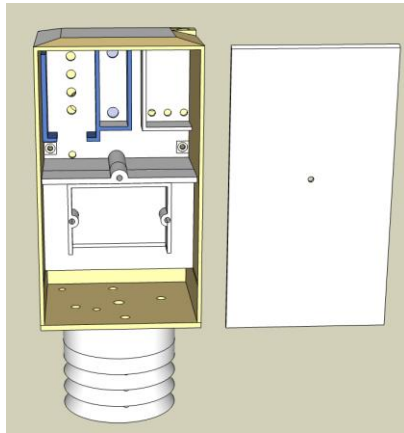
Una vez validados los sensores, se ensambló el sistema completo incluyendo el módulo LoRa en el nodo emisor y se procedió al envío de datos al nodo receptor. Este nodo decodifica las tramas recibidas, procesa la información y, tras verificar la conectividad y autenticación Wi-Fi mediante el código de Arduino, transmite los datos a la plataforma IoT o servidor propio para su almacenamiento. Esta evaluación integral confirma el correcto funcionamiento de los sensores y de los módulos LoRa en ambos nodos, así como la fiabilidad del flujo de datos hasta la nube.

### 4.3 Diseño e implementación de la arquitectura LoRaWAN

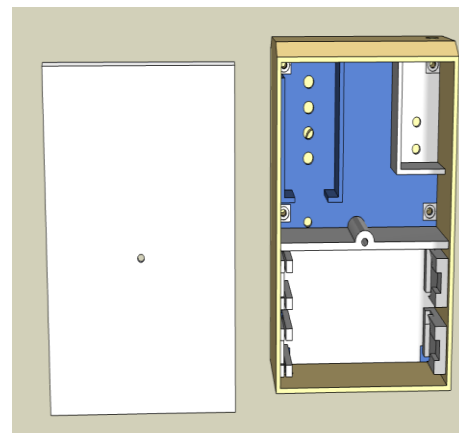
Antes de la implementación física, se diseñaron las carcasas protectoras en SketchUp, generando posteriormente los archivos STL para su fabricación mediante impresión 3D. Se utilizó filamento PETG, seleccionado por su resistencia mecánica, estabilidad térmica y baja absorción de humedad, propiedades que lo hacen idóneo para aplicaciones en campo. El resultado fue un conjunto de piezas con un ajuste preciso al circuito electrónico, capaces de proteger eficazmente los

componentes frente a lluvia y condiciones ambientales adversas, asegurando así la operación continua del sistema.

La (Fig. 8), presenta la carcasa correspondiente al nodo emisor, mientras que la (Fig. 9), muestra el diseño para el nodo receptor, ambas optimizadas para ofrecer robustez estructural y facilidad de integración de los módulos electrónicos.



*Fig. 8. Diseño 3D de la carcasa del nodo emisor*



*Fig. 9. Diseño 3D de la carcasa del nodo receptor*

Para implementar la arquitectura LoRaWAN, se seleccionaron dos ubicaciones representativas en zonas altoandinas de Puno, Perú: Muñani 4000 msnm y Juliaca 3 800 msnm. En Muñani, el nodo transmisor se equipó únicamente con el sensor de humedad y temperatura y se instaló en un punto elevado con línea de visión directa al receptor, separados por 10 km. La transmisión inicial de prueba a esta distancia confirmó la viabilidad del enlace.

Para implementar la arquitectura LoRaWAN, se seleccionaron dos ubicaciones representativas en zonas altoandinas de Puno, Perú: Muñani ( $\approx 4\ 000$  m s.n.m.) y Juliaca ( $\approx 3\ 800$  m s.n.m.). En Muñani, el prototipo transmisor (nodo emisor) se equipó con un sensor de humedad y temperatura y se instaló en un punto elevado con línea de visión directa hacia el prototipo receptor (nodo receptor), separados por aproximadamente 10 km. La transmisión inicial de prueba a esta distancia confirmó la viabilidad del enlace. La (Fig. 10), muestra el prototipo receptor (nodo receptor), mientras que la (Fig. 11), presenta el prototipo transmisor (nodo emisor), ambos diseñados y configurados para operar en el entorno altoandino



*Fig. 10. Prototipo ensamblado del nodo receptor*



*Fig. 11. Prototipo ensamblado del nodo emisor*

En Juliaca, situada en una zona agrícola más extensa, el nodo emisor integró los seis sensores del sistema. Tras la verificación de la cobertura, las variables ambientales se recopilaron y transmitieron automáticamente cada dos minutos, validando así la fiabilidad del enlace y la capacidad de la plataforma para operar en ambos entornos.

La segunda fase de la implementación se llevó a cabo en una zona agrícola representativa de mayor extensión en Juliaca. En este entorno, se desplegó el nodo emisor, cuyo diseño final integraba por el conjunto sensores para el monitoreo multivariable (Fig.12). De forma complementaria, se instaló el nodo receptor (Fig. 13), encargado de recibir los datos y enlazarse con la plataforma de almacenamiento.

El despliegue en esta ubicación sirvió para confirmar la viabilidad de la arquitectura propuesta en un escenario de campo real, asegurando la cobertura y el correcto funcionamiento de los componentes físicos.



*Fig. 12. Prototipo final ensamblado del nodo emisor*



*Fig. 13. Prototipo final ensamblado del nodo receptor*

#### **4.4 Despliegue de la red LoRaWAN en zonas altoandinas**

Para evaluar la efectividad y el alcance de la tecnología LoRaWAN en el contexto de las zonas altoandinas, se realizaron despliegues en dos escenarios representativos de la región de Puno.

El primer despliegue se efectuó en el distrito de Muñani, un entorno rural caracterizado por su topografía abierta. En este escenario, se logró validar con éxito un enlace de comunicación estable a una distancia de 10 km con línea de vista directa (LoS), cuya ubicación geográfica y alcance se detallan en la (Fig. 14). Posteriormente, la prueba se replicó en una zona rural de Juliaca, un entorno agrícola con mayor densidad de obstáculos como viviendas dispersas. El mapa de este segundo despliegue se presenta en la (Fig. 15), donde se estableció una comunicación a una distancia de 5 km.

En ambos despliegues, los datos capturados por el nodo transmisor fueron enviados de manera consistente al nodo receptor y, desde allí, a la nube para su almacenamiento en el servidor IoT. Este proceso demostró la capacidad de la arquitectura para asegurar una gestión centralizada y eficiente de la información recolectada en diferentes condiciones topográficas de la región.



*Fig. 14. Mapa geográfico de Muñani*



*Fig. 15. Mapa geográfico de Juliaca*

#### **4.5 Recolección de datos. Almacenamiento, y evaluación de usabilidad del sistema**

la correcta recepción de los datos transmitidos desde los nodos sensores fue verificada directamente en la base de datos del servidor IoT. Cada paquete de datos recibido fue procesado y almacenado de manera automática, generando un registro estructurado para su posterior consulta y análisis.

La (Fig. 16), presenta una captura de la tabla de la base de datos, donde se evidencia el almacenamiento exitoso de la información. Cada fila representa una medición única y en las columnas se pueden observar los campos clave recolectados. Estos incluyen los valores de las variables ambientales principales como temperatura, humedad, presión, suelotemp1, vientoskmh y Radiacion0. De igual importancia, el campo fechaTReg registra la marca de tiempo exacta de cada entrada, lo cual permitió validar la frecuencia de envío programada y sirvió como herramienta para la detección de incidencias en la transmisión.

		id_temperatura	ubicacion_id	Temperatura	Humedad	FechaTReg	Presion	Altitud	Suelotemp1	Vientoadc	Voltaje	Vientoskmh	Viento90	Viento91	Radiacion0	
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65001	1 -2.40	56.40	2025-08-17 06:14:28	64662.00	3631.81	4.19	0.00	0.00	0.00	4	180	22
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65002	1 -2.40	53.30	2025-08-17 06:16:19	64665.00	3631.57	4.19	0.00	0.00	0.00	4	180	23
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65003	1 -2.60	53.30	2025-08-17 06:18:09	64664.00	3631.69	4.19	0.00	0.00	0.00	4	180	24
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65004	1 -2.60	54.00	2025-08-17 06:20:00	64665.00	3631.69	4.19	0.00	0.00	0.00	4	180	26
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65005	1 -2.40	53.90	2025-08-17 06:21:50	64663.00	3631.81	4.12	0.00	0.00	0.00	4	180	27
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65006	1 -2.10	53.10	2025-08-17 06:23:41	64668.00	3631.57	4.12	0.00	0.00	0.00	4	180	28
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65007	1 -1.90	53.00	2025-08-17 06:25:31	64670.00	3631.45	4.12	0.00	0.00	0.00	4	180	30
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65008	1 -1.80	53.10	2025-08-17 06:27:22	64669.00	3630.97	4.12	5.00	0.00	0.00	4	180	32
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65009	1 -1.60	52.70	2025-08-17 06:29:12	64672.00	3631.33	4.12	0.00	0.00	0.00	4	180	35
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65010	1 -1.40	52.30	2025-08-17 06:31:03	64676.00	3630.85	4.12	0.00	0.00	0.00	4	180	37
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65011	1 -1.10	51.60	2025-08-17 06:32:54	64674.00	3630.61	4.12	27.00	0.02	0.00	4	180	39
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65012	1 -0.70	51.10	2025-08-17 06:34:44	64675.00	3630.25	4.12	0.00	0.00	0.00	4	180	42
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65013	1 -0.30	50.60	2025-08-17 06:36:34	64678.00	3629.17	4.12	0.00	0.00	0.00	4	180	46
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65014	1 0.20	49.90	2025-08-17 06:38:25	64688.00	3629.17	4.12	0.00	0.00	0.00	4	180	50
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65015	1 0.70	48.70	2025-08-17 06:40:15	64684.00	3629.05	4.19	0.00	0.00	0.00	4	180	55
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65016	1 1.10	47.80	2025-08-17 06:42:06	64688.00	3629.29	4.19	0.00	0.00	0.00	4	180	60
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65017	1 1.40	47.10	2025-08-17 06:43:56	64699.00	3628.69	4.19	0.00	0.00	0.00	4	180	65
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65018	1 1.70	46.40	2025-08-17 06:45:48	64689.00	3628.69	4.19	0.00	0.00	0.00	4	180	72
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	65019	1 2.20	45.60	2025-08-17 06:47:37	64699.00	3627.74	4.25	0.00	0.00	0.00	4	180	78

Fig. 16. base de datos MySQL

#### 4.6 Pruebas del servidor IoT propio

El uso de un servidor IoT personalizado, desarrollado en este proyecto, demostró un rendimiento robusto al proporcionar control completo sobre el almacenamiento de datos y la gestión de conexiones. Su arquitectura cliente-servidor, basada en API REST, permitió la comunicación fluida y segura entre los nodos y el servidor mediante métodos HTTP estándar, como GET y POST. Este diseño soportó múltiples nodos distribuidos en diversas zonas geográficas, asegurando estabilidad incluso con un alto volumen de solicitudes simultáneas. Para evitar conflictos en la administración de datos, se implementaron bases de datos independientes para cada zona, optimizando el manejo de la información recolectada. Adicionalmente, se utilizó la plataforma Grafana en una computadora portátil para monitorear los valores obtenidos del nodo transmisor. Los datos multivariados registrados en la base de datos proporcionaron información valiosa para evaluar la correcta funcionalidad del sistema y detectar posibles anomalías en tiempo real.

Con el fin de describir formalmente el comportamiento periódico de los nodos LoRa, se estableció

un modelo matemático que caracteriza la dinámica de transmisión y almacenamiento de datos en el servidor. Cada ciclo de operación del nodo se compone de dos fases: (i) la fase de encendido previo o warm-up, donde los sensores permanecen activos durante un intervalo fijo de tiempo hasta alcanzar condiciones estables, y (ii) la fase de reposo o sleep, destinada a minimizar el consumo energético antes de la siguiente transmisión.

Para verificar que el servidor almacena los registros con la cadencia prevista, se extrajeron de la base de datos MySQL las marcas temporales  $T(n)$  (columna FechaTReg) asociadas a cada paquete recibido (Fig. 12). A partir de estas marcas se definió el intervalo elemental entre llegadas consecutivas como

$$\Delta t(n) = T(n + 1) - T(n) \quad (1)$$

La métrica (1) cuantifica la regularidad (jitter) observada en los datos del servidor y constituye la base para estimar el periodo de operación.

El periodo experimental  $t_{periodo}$  se obtuvo como el promedio de estos intervalos elementales, atenuando así pequeñas variaciones debidas a latencias de red o del stack de comunicación:

$$t_{periodo} = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-2} (T(n + 1) - T(n)) \quad (2)$$

Aplicada a los datos recolectados, esta estimación atenúa pequeñas variaciones debidas a latencias de red o del stack de comunicación; aplicada a los datos de Fig. 12, produce un periodo estable cercano a 110s Ec. (2).

Conociendo el tiempo de la fase de encendido previo  $t_{warmup}$  se puede despejar la duración de la fase de reposo  $t_{sleep}$ :

$$t_{sleep} = t_{periodo} - t_{warmup} \quad (3)$$

El valor resultante,  $t_{sleep} = 95$  s, evidencia que la fracción dominante del ciclo opera en bajo consumo, contribuyendo al ahorro energético.

Definición de variables

- $T(n)$  : marca temporal del  $n$ -ésimo registro en el servidor (tabla MySQL)

- $\Delta t(n)$ : intervalo entre registros consecutivos (Ec. (1)).
- $N$  : número total de registros analizados (filas del fragmento mostrado en **Fig. 12**).
- $t_{periodo}$ : periodo experimental estimado (Ec. (2)).
- $t_{warmup}$ : tiempo de encendido previo para estabilización de sensores (fijado en diseño; 15 s).
- $t_{sleep}$ : tiempo en bajo consumo por ciclo (Ec. (3)).

#### 4.7 Monitoreo y presentación de datos multivariados

Para el monitoreo se empleó Grafana, una plataforma de visualización de datos de código abierto que permite conectarse a diversas bases de datos relacionales y no relacionales mediante controladores nativos y consultas SQL. Gracias a esta flexibilidad, se diseñaron paneles personalizados que representan gráficamente en tiempo real cada variable medida por los seis sensores, actualizadas cada dos minutos. Grafana facilita la verificación de lecturas correctas del nodo emisor: la detección de ausencia de datos en los gráficos permite identificar fallos de transmisión o sensores inoperantes, y, de forma opcional, se configuraron alertas para notificar la falta de actualización de datos.

En el tablero de control se muestran las siguientes variables:

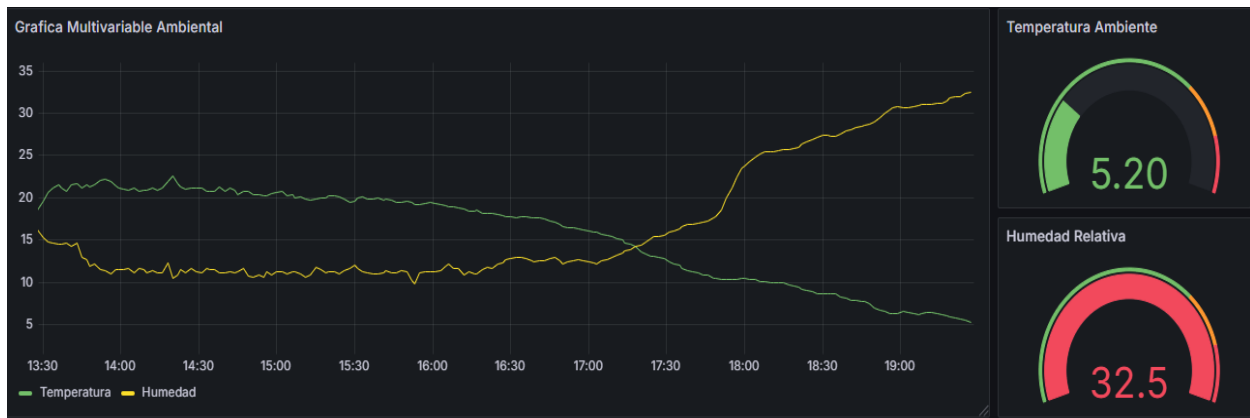


Fig. 17. Grafica de temperatura y humedad

La (Fig. 17), ilustra la dinámica de la temperatura ambiental y la humedad relativa. Se observa una clara correlación inversa, característica del ciclo diurno. La temperatura (línea verde) inicia el periodo en torno a los 22 °C y desciende de manera constante hasta un mínimo de aproximadamente 5 °C al final del registro. Por el contrario, la humedad (línea amarilla), tras

mantenerse en valores bajos (~12%), inicia un marcado ascenso a partir de las 17:00, superando el 30% hacia las 19:30, coincidiendo con el descenso de la temperatura al anochecer

Temperatura del suelo (medida a 5 cm de profundidad)

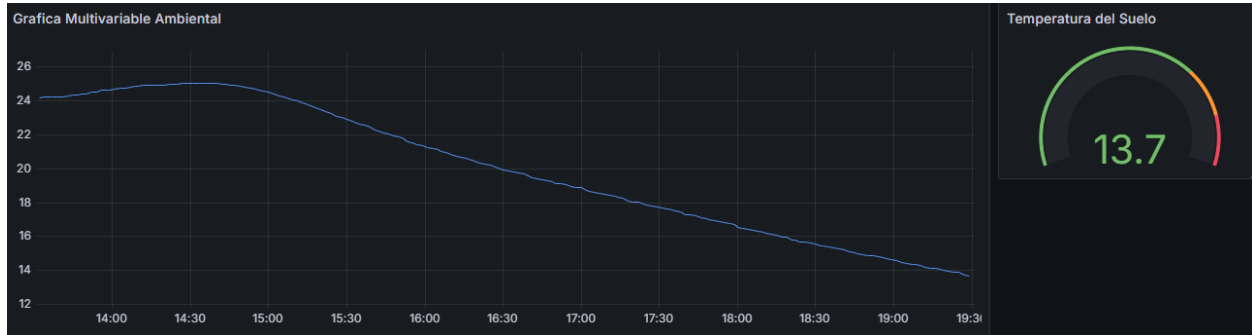


Fig. 18. Diagrama de temperatura del suelo

la temperatura del suelo a 5 cm de profundidad (Fig. 18) muestra una mayor inercia térmica. Alcanza su máximo de 25 °C aproximadamente a las 14:30, una hora después del inicio del periodo, y luego describe un descenso suave y sostenido hasta los 13.7 °C. Este comportamiento atenuado y retardado es fundamental para entender las condiciones a nivel de la raíz de los cultivos.

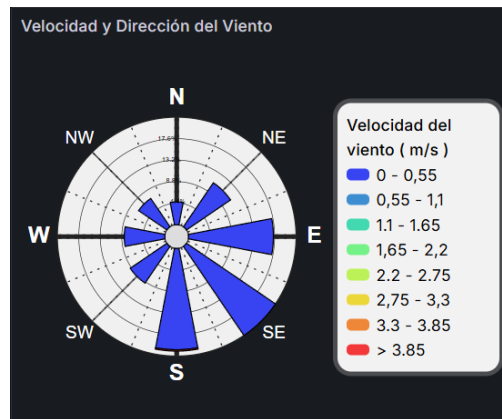
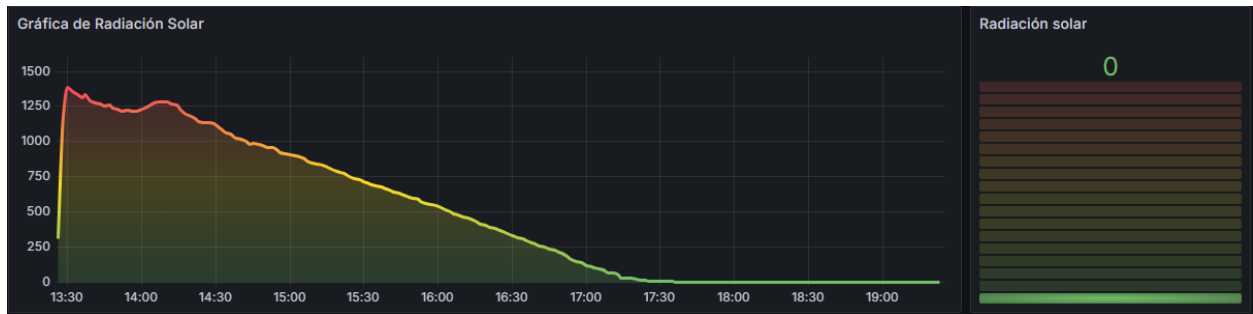


Fig. 19. Gráfico de la velocidad del viento y dirección del viento

El análisis de la velocidad y dirección del viento, presentado en el diagrama de rosa de vientos de la (Fig. 19), revela patrones predominantes claros. La dirección principal del viento es del Este (E) y Sureste (SE). Si bien las velocidades más frecuentes son bajas (0 - 0.55 m/s), se registran ráfagas significativas que alcanzan hasta 3.3 m/s, provenientes mayoritariamente de estas direcciones dominantes.



*Fig. 20 Gráfico de la radiación solar*

El perfil de la radiación solar, detallado en la (Fig. 20), corresponde al de una tarde despejada en una zona de gran altitud. El registro comienza con valores muy elevados, cercanos a los 1400 W/m<sup>2</sup>, que descienden de forma progresiva hasta anularse aproximadamente a las 17:30, marcando la puesta del sol.



*Fig. 21. Gráfico de presión atmosférica*

La (Fig. 21), muestra el monitoreo de la presión atmosférica. El valor absoluto registrado, en torno a los 64454 Pa (644.5 hPa), es consistente con la altitud de la región de Puno (~3800 m.s.n.m.) y valida la correcta calibración del sensor en este entorno. La gráfica evidencia las fluctuaciones barométricas naturales durante el periodo de seis horas.

Más allá de la monitorización en tiempo real, la plataforma demostró su potencial para funcionalidades avanzadas. Se verificó la capacidad de Grafana para generar informes históricos, esenciales para el análisis de tendencias climáticas estacionales, y para configurar umbrales de

alerta. Esta última característica es fundamental para evolucionar el sistema hacia una herramienta de agricultura de precisión.

## V. Conclusiones

Los objetivos de esta investigación se cumplieron exitosamente mediante la propuesta, desarrollo e implementación de un prototipo basado en la tecnología inalámbrica LoRaWAN. Este sistema permite la recopilación de datos multivariantes en tiempo real en las zonas altoandinas de la región de Puno, Perú, donde la agricultura es una actividad fundamental.

El prototipo se desarrolló e implementó en la región de Puno, Perú, una zona de gran altitud. Demostró ser eficaz en la transmisión de datos a grandes distancias, utilizando módulos LoRa y LoRaWAN, y microcontroladores de bajo consumo. Dada la ausencia de fluido eléctrico en estas áreas, el nodo transmisor se diseñó para operar con energía solar renovable, lo que lo convierte en una solución ideal y sostenible para el contexto altoandino. Las pruebas iniciales validaron su funcionalidad a 10 kilómetros, y se realizaron pruebas adicionales en zonas agrícolas con mayor densidad poblacional, confirmando su rendimiento. El sistema permitió la comunicación a internet, el almacenamiento de datos en la nube y su visualización en web y móvil, facilitando un monitoreo continuo y accesible.

Estos resultados son prometedores, ya que la implementación de este sistema puede mejorar significativamente la toma de decisiones de los agricultores y autoridades al proporcionar información en tiempo real sobre el comportamiento de las variables ambientales.

Es importante reconocer que el rendimiento del sistema puede verse afectado por factores climáticos adversos característicos de la zona altoandina, como las descargas eléctricas, que podrían generar interferencias o la pérdida del circuito. Además, la dependencia de baterías de ion de litio implicará costos operativos a largo plazo debido a la necesidad de mantenimiento o sustitución.

Como trabajo futuro, se propone realizar un análisis más profundo y detallado del consumo energético del sistema. Asimismo, se buscarán formas de aislar los circuitos electrónicos para

protegerlos de las descargas eléctricas durante las tormentas. La continuidad de esta tecnología permitirá penetrar en zonas sin conectividad a internet, recolectar más información multivariable y, de esta manera, comprender mejor el comportamiento de los datos ambientales en las zonas altoandinas dedicadas a la agricultura.

Para una mejora adicional del prototipo, se sugiere utilizar los datos históricos recopilados para aplicar técnicas de integración de inteligencia artificial. Esto permitirá realizar predicciones fundamentales para la toma de decisiones del agricultor, especialmente en una zona que padece sequías, bajas temperaturas o cambios en las fechas de siembra. La implementación de algoritmos de inteligencia artificial permitirá aprovechar al máximo estos datos multivariados para la predicción en el sector agrícola, siempre y cuando se asegure la recolección de datos fiables para obtener resultados igualmente fiables en el entrenamiento de los modelos de IA.

## Referencias bibliográficas

- [1] R. Islam, M. W. Rahman, R. Rubaiat, M. M. Hasan, M. M. Reza, and M. M. Rahman, “LoRa and server-based home automation using the internet of things (IoT),” *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 6, pp. 3703–3712, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.JKSUCI.2020.12.020.
- [2] M. I. Zakaria, W. A. Jabbar, and N. Sulaiman, “Development of a smart sensing unit for LoRaWAN-based IoT flood monitoring and warning system in catchment areas,” *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, vol. 3, pp. 249–261, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.iotcps.2023.04.005.
- [3] L. Leonardi, L. Lo Bello, and G. Patti, “LoRa support for long-range real-time inter-cluster communications over Bluetooth Low Energy industrial networks,” *Comput Commun*, vol. 192, pp. 57–65, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.COMCOM.2022.05.026.
- [4] L. Prade, J. Moraes, E. de Albuquerque, D. Rosário, and C. B. Both, “Multi-radio and multi-hop LoRa communication architecture for large scale IoT deployment,” *Computers and Electrical Engineering*, vol. 102, p. 108242, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.COMPELECENG.2022.108242.
- [5] C. Prakash, L. P. Singh, A. Gupta, and S. K. Lohan, “Advancements in smart farming: A comprehensive review of IoT, wireless communication, sensors, and hardware for agricultural automation,” *Sens Actuators A Phys*, vol. 362, p. 114605, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.SNA.2023.114605.
- [6] L. Moiroux-Arvis, C. Cariou, and J.-P. Chanet, “Evaluation of LoRa technology in 433-MHz and 868-MHz for underground to aboveground data transmission,” *Comput Electron Agric*, vol. 194, p. 106770, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.compag.2022.106770.
- [7] S. Vishnoi and R. K. Goel, “Climate smart agriculture for sustainable productivity and healthy landscapes,” *Environ Sci Policy*, vol. 151, p. 103600, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.envsci.2023.103600.
- [8] L. Newman, E. Fraser, R. Newell, E. Bowness, K. Newman, and A. Glaros, “Cellular agriculture and the sustainable development goals,” in *Genomics and the Global Bioeconomy*, Elsevier, 2023, pp. 3–23. Doi: 10.1016/B978-0-323-91601-1.00010-9.
- [9] Q. Wang and Z. Mu, “Risk monitoring model of intelligent agriculture Internet of Things based on big data,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 53, p. 102654, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.seta.2022.102654.
- [10] W. O. Meneses-Quelal, B. Velázquez-Martí, J. Gaibor-Chávez, and Z. Niño-Ruiz, “Biochemical potential of methane (BMP) of camelid waste and the Andean region

- agricultural crops,” *Renew Energy*, vol. 168, pp. 406–415, May 2021, doi: 10.1016/j.renene.2020.12.071.
- [11] S. Gubler *et al.*, “Twinning SENAMHI and MeteoSwiss to co-develop climate services for the agricultural sector in Peru,” *Clim Serv*, vol. 20, p. 100195, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.cliser.2020.100195.
- [12] J. L. Rolando, C. Turin, D. A. Ramírez, V. Mares, J. Monerri, and R. Quiroz, “Key ecosystem services and ecological intensification of agriculture in the tropical high-Andean Puna as affected by land-use and climate changes,” *Agric Ecosyst Environ*, vol. 236, pp. 221–233, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.agee.2016.12.010.
- [13] W. A. Jabbar *et al.*, “Development of LoRaWAN-based IoT system for water quality monitoring in rural areas,” *Expert Syst Appl*, vol. 242, p. 122862, May 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.122862.
- [14] R. Akhter and S. A. Sofi, “Precision agriculture using IoT data analytics and machine learning,” *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 8, pp. 5602–5618, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2021.05.013.
- [15] Y. T. Ting and K. Y. Chan, “Optimising performances of LoRa based IoT enabled wireless sensor network for smart agriculture,” *J Agric Food Res*, vol. 16, p. 101093, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.JAFR.2024.101093.

## Anexos

### Anexo A: Evidencia de publicación del artículo en una revista

Manuscript Number: ATECH-D-25-02194

Manuscript Title: LoRaWAN-based system for multivariate data acquisition in high Andean agriculture

Journal: **Smart Agricultural Technology**

Dear Godofredo Quea Lopez,

Your submitted manuscript is currently under review. You can track the status of your submission in Editorial Manager, or track the review status in more detail using Track your submission here:

<https://track.authorhub.elsevier.com?uiid=8c01c700-b8b5-4d99-a8d3-13c33883363c>

This page will remain active until the peer review process for your submission is completed. You can visit the page whenever you like to check the progress of your submission. The page does not require a login, so you can also share the link with your co-authors.

If you are a WeChat user, then you can also receive status updates via WeChat. To do this please click the following link; you will be taken to Elsevier China's website where further instructions will guide you on how to give permission to have your submission's details made visible in WeChat. Note that by clicking the link no submission data is transferred to the WeChat platform. If you have any questions about using Track your submission with WeChat please visit [在线客服](#)

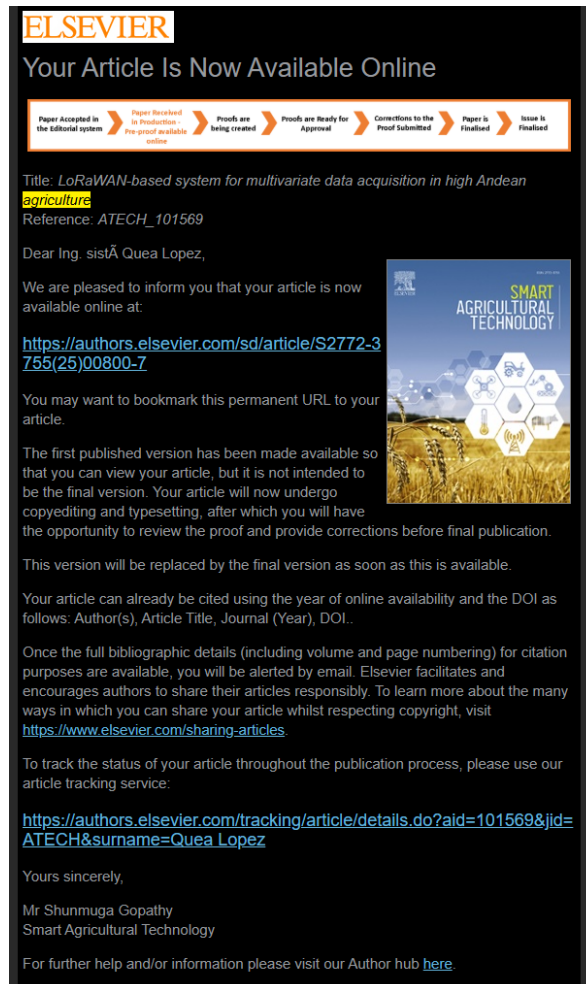
[https://cn.service.elsevier.com/app/chat/chat\\_launch/supporthub/publishing/session/](https://cn.service.elsevier.com/app/chat/chat_launch/supporthub/publishing/session/) - Journal Article Publishing 支持中心

<https://webapps.elsevier.cn/st-wechat/subscribe?signature=1756427609-51294cc778f4b4e530f530fc856983d2&uiid=8c01c700-b8b5-4d99-a8d3-13c33883363c>

We hope you find this service useful.

Kind regards,

Journal Office of **Smart Agricultural Technology**  
Elsevier B.V.



**ELSEVIER**

### Your Article Is Now Available Online

Paper Accepted in the Editorial System → Paper Ranked in Production - Pre-proof available online → Proofs are being created → Proofs are Ready for Approval → Corrections to the Proof Submitted → Paper is Finalized → Issue is Finalized

Title: **LoRaWAN-based system for multivariate data acquisition in high Andean agriculture**  
Reference: ATECH\_101569

Dear Ing. sistÁ Quea Lopez,

We are pleased to inform you that your article is now available online at:

[https://authors.elsevier.com/sd/article/S2772-3755\(25\)00800-7](https://authors.elsevier.com/sd/article/S2772-3755(25)00800-7)

You may want to bookmark this permanent URL to your article.

The first published version has been made available so that you can view your article, but it is not intended to be the final version. Your article will now undergo copyediting and typesetting, after which you will have the opportunity to review the proof and provide corrections before final publication.

This version will be replaced by the final version as soon as this is available.

Your article can already be cited using the year of online availability and the DOI as follows: Author(s), Article Title, Journal (Year), DOI.

Once the full bibliographic details (including volume and page numbering) for citation purposes are available, you will be alerted by email. Elsevier facilitates and encourages authors to share their articles responsibly. To learn more about the many ways in which you can share your article whilst respecting copyright, visit <https://www.elsevier.com/sharing-articles>

To track the status of your article throughout the publication process, please use our article tracking service:

<https://authors.elsevier.com/tracking/article/details.do?aid=101569&jid=ATECH&surname=Quea Lopez>

Yours sincerely,

Mr Shunmuga Gopathy  
Smart Agricultural Technology

For further help and/or information please visit our Author hub [here](#).

## Anexo B: Resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0617-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 31 de octubre de 2023

### VISTO:

El expediente de **Godofredo Quea Lopez**, identificado(a) con Código Universitario N° 201811302, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

### CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Godofredo Quea Lopez**, ha solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Prototipo basado en una red LoraWAN para obtención y almacenamiento de datos multivariable, orientado a la agricultura en zonas altoandinas" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;


Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 31 de octubre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

### SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Prototipo basado en una red LoraWAN para obtención y almacenamiento de datos multivariable, orientado a la agricultura en zonas altoandinas**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar como asesor a **Mg. Condori Coaquira Angel Rosendo** para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Mg. Otazu Luque Jorge Eddy** y **Mg. Gutiérrez Quispe Eder**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
DECANA



  
Mg. Ketty Magaly Arellano Lino  
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:  
-Interesado  
-Asesor  
-Dirección General de Investigación  
-Archivo