



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO CON SENSORES DE
REDES INALAMBRICAS CON TECNOLOGIA LORA WAN
CONTRA INCENDIOS EN LOS PASTIZALES EN EL DISTRITO
DE PUNO 2023

TESIS

PRESENTADA POR:

EDWIN IVAN CATARI VILCAPAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO CON SENSORES DE REDES INALAMBRICAS CON TECNOLOGIA LORA WAN CONTRA INCENDIOS EN LOS PASTIZALES EN EL DISTRITO DE PUNO 2023

AUTOR

EDWIN IVAN CATARI VILCAPAZA

RECUENTO DE PALABRAS

19910 Words

RECUENTO DE CARACTERES

102601 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

127 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.0MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 20, 2023 10:31 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 20, 2023 10:32 PM GMT-5

● **18% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr


Christian Augusto Romero Goyzueta
INGENIERO ELECTRONICO
CIP 133009


JAMES ROLANDO ARREDONDO MAMANI
CIP. 122404
SUB DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN
E.P. INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Resumen



DEDICATORIA

Para mis queridos padres, Rufo Rufino y Marcelina que a lo largo de mi vida y especialmente durante mi etapa universitaria, vuestro apoyo inquebrantable ha sido mi mayor fortaleza. Su confianza en mí, amor y sacrificio han hecho posible mi éxito. Siempre estaré agradecido por ser mis guías y ejemplos. Cada logro en esta etapa lleva vuestro nombre.

Edwin Ivan Catari Vilcapaza



AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a Dios y a mi respetado asesor M.Sc. Christian Augusto Romero Goyzueta. Dios ha sido mi guía y fortaleza, y su gracia hizo posible este logro. A mi asesor, gracias por tu sabiduría y apoyo constante en mi tesis. Este éxito es el resultado de sus bendiciones y orientación.

Edwin Ivan Catari Vilcapaza



INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
INDICE GENERAL	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	
INDICE DE ANEXOS	
ACRONIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1.1. Problema General.....	19
1.2. HIPOTESIS	19
1.3. JUSTIFICACION DEL PROYECTO DE INVESTIGACION.....	19
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	20
1.4.1. Objetivo general	20
1.4.2. Objetivos específicos.....	20
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	21



2.1.1. Antecedentes Nacionales.....	21
2.1.2. Antecedentes Internacionales.....	24
2.2. MARCO TEÓRICO	29
2.2.1. Identificación de las Variables	29
2.2.2. Diseño.....	30
2.2.3. Incendio en Pastizales	30
2.2.4. Ley N° 29763 Ley Forestal y de la Fauna Silvestre.....	33
2.2.5. El reglamento para la Gestión Forestal aprobado con Decreto Supremo N° 018-2015-MINANGRI.....	34
2.2.6. Microcontrolador.....	34
2.2.7. Microcontrolador Arduino	35
2.2.8. Microcontrolador TTGO LoRa32-OLED	36
2.2.9. Sensores de Redes Inalámbricas(WSN).....	37
2.2.10. Aplicaciones de la WSN	39
2.2.11. Elementos constituyentes de una red de sensores Inalámbricas	40
2.2.12. Topología de una red de sensores inalámbricas	41
2.2.13. Modulo ESP32	46
2.2.14. Programación ESP32.....	48
2.2.15. Chip LoRa SX1276	48
2.2.16. Características Chip LoRa32.....	49
2.2.17. Antena LoRa	55
2.2.18. Área de Fresnel.....	55



2.2.19. Librerías 58

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACION 62

3.1.1. Tipo de Investigación 62

3.1.2. Diseño de Investigación 62

3.1.3. Ubicación del Estudio 63

3.1.4. Origen del Material Utilizado 64

3.1.5. Población..... 65

3.1.6. Muestra..... 65

3.1.7. Técnicas e Instrumentos de Investigación..... 65

3.2. LA METODOLOGIA ESTADISTICA EMPLEADA EN EL ESTUDIO... 66

3.2.1. Nivel de Investigación..... 66

3.2.2. Procedimientos de la Investigación..... 67

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**4.1. RESULTADOS DEL DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL
PROTOTIPO DE MONITOREO 86**

4.2. RESULTADOS PARA EL REGISTRO DE LOS SENSORES APLICADOS..... 87

4.2.1. Resultados en Humedad 88

4.2.2. Resultado de Temperatura..... 89

4.2.3. Resultados de Humo..... 90



4.2.4. Resultados de Luz	92
4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	94
V. CONCLUSIONES.....	95
VI. RECOMENDACIONES	96
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
VIII. ANEXOS	101

Área: Telecomunicaciones y redes de datos.

Tema: Comunicación y enlace LoRa.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 09 DE ENERO 2024



INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Incendio de Pastizales.....	31
Figura 2 Triangulo de llama.....	32
Figura 3 Serfor Puno	34
Figura 4 Placa Arduino	36
Figura 5 Placa TTGO LoRa32-OLED.....	37
Figura 6 Arquitectura Típica del nodo sensor.....	38
Figura 7 Elementos de una WSN.....	41
Figura 8 Topología Árbol	42
Figura 9 Topología Malla	43
Figura 10 Topología Estrella	44
Figura 11 Diagrama de bloque del ESP32	47
Figura 12 Módulo LoRa32-OLED.....	47
Figura 13 ChipSX1276	49
Figura 14 Dimensiones de chip LoRa32.....	50
Figura 15 Demodulación LoRa.....	53
Figura 16 Protocolo de Comunicación LoRa WAN.....	55
Figura 17 Zona Fresnel	57
Figura 18 Zona costera ubicación transmisor y receptor LoRa	63
Figura 19 Transmisor y Receptor LoRa.....	68
Figura 20 Conexión Arduino con DTH11	69
Figura 21 Integración del DHT11 en conjunto con la placa Arduino.....	69
Figura 22 Monitor Serial DHT11	70
Figura 23 Conexión Arduino MQ-2	70



Figura 24	Integración del MQ-2 en conjunto con la placa Arduino	71
Figura 25	Monitor Serial MQ-2.....	71
Figura 26	Conexión Arduino con TSL2561	72
Figura 27	Integración del TSL2561 en conjunto con la placa Arduino.....	72
Figura 28	Monitor Serial TSL2561.....	73
Figura 29	Representación gráfica de las conexiones de la placa LoRa	74
Figura 30	Transmisor TTGO LORA32 equipado con un sensor DHT11 y MQ2	75
Figura 31	Sensor de LUZ TSL2561 para visualizar en el monitor serial	76
Figura 32	Receptor LoRa con variables de temperatura, humedad y Humo	76
Figuras 33	Inclusión de librerías del código transmisor LoRa.....	77
Figura 34	Inclusión de Librerías para el receptor LoRa	81
Figura 35	Prueba conectividad y cálculo de distancia LoRa	84
Figura 36	Elevación y distancia entre Estación base y Transmisor LoRa.....	85
Figura 37	Monitoreo de las variables de temperatura, humedad, humo y luz	87
Figura 38	Transmisor y Receptor LoRa.....	101
Figura 39	Visualización del monitoreo contra incendios de pastizales	102
Figura 40	Pines GPIO Lora32 V1.....	102
Figura 41	Especificaciones DHT11	103
Figura 42	Especificaciones MQ-2	103
Figura 43	Salidas TSL2561	104



INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Elementos constituyentes del humo generado por los incendios.....	31
Tabla 2 Sofocación debida a la inhalación del humo producido por incendios.....	32
Tabla 3 Características de TTGO LoRa32-OLED.....	49
Tabla 4 Frecuencia de LoRa en diferentes Continentes.....	52
Tabla 5 Modulación LoRa	52
Tabla 6 Especificaciones de la Antena LoRa.....	55
Tabla 7 Márgenes de transmisión de la antena LoRa	56
Tabla 8 Datos de Humedad.....	88
Tabla 9 Datos Estadísticos de Humedad.....	88
Tabla 10 Datos de Temperatura	89
Tabla 11 Datos Estadísticos de Temperatura.....	90
Tabla 12 Datos de Humo	91
Tabla 13 Datos estadísticos de Humo.....	91
Tabla 14 Datos de Luminosidad	92
Tabla 15 Datos estadísticos de luminosidad	93



INDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Variables de temperatura, humedad, luz y humo	101
ANEXO 2 Transmisor y Receptor LoRa.....	101
ANEXO 3 Visualización del Monitoreo contra incendios	102
ANEXO 4 Datasheet de los microcontroladores y sensores	102
ANEXO 5 Código Transmisor LoRa	104
ANEXO 6 Código Receptor LoRa.....	106
ANEXO 7 Código Prueba contador Emisor.....	108
ANEXO 8 Prueba Contador Receptor.....	109
ANEXO 9 Código de los Sensores.....	111
ANEXO 10 Datos obtenidos de los sensores	116
ANEXO 11 Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	126
ANEXO 12 Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional...	127



ACRÓNIMOS

OLED:	Organic Light-Emitting Diode.
GND:	Ground.
VCC:	Voltage at the Common Collector.
SCK:	Serial Clock.
MISO:	Master In Slave Out.
SS:	Slave Select.
RST:	Reset.
SPI:	Serial Peripheral Interface.
I2C:	Inter-Integrated Circuit.
SSD1306:	Dot Matrix Display.
DHT:	Digital Humidity and Temperature.
LORAWAN:	Long Range Wide Area Network.
LORA:	Long Range.
WSN:	Wireless Sensor Network.
GPIO:	General Purpose Input/Output.
SDA:	Serial Data.
SCL:	Serial Clock.
CO:	Monóxido de Carbono



RESUMEN

En la actualidad, el monitoreo contra incendios se revela crucial para el control y la prevención de desastres ambientales. Por esta razón, este estudio se enfoca en desarrollar un sistema de monitoreo mediante sensores de redes inalámbricas utilizando la tecnología LoRa. El objetivo principal es supervisar variables como temperatura, humedad, humo y luz, con el propósito de prevenir incendios, que suelen originarse en las áreas costeras de pastizales y totorales de la provincia de Puno. En este proyecto, se estableció una conexión entre dos dispositivos LoRa WAN, uno actuando como transmisor y otro como receptor, junto con sensores que miden las mencionadas variables. Los datos recopilados por los sensores se transmitieron al transmisor y se enviaron directamente al receptor LoRa. Esto permitió la visualización en tiempo real de las variables, identificando posibles incendios. Como consecuencia, se consiguió exhibir estas variables en pantallas OLED y lograr la visualización en tiempo real de dichos parámetros. Finalmente, los hallazgos se representaron gráficamente y en tablas estadísticas.

Palabras clave: LoRa WAN, sensores, incendios de pastizales, monitoreo.



ABSTRACT

Currently, fire monitoring proves crucial for the control and prevention of environmental disasters. For this reason, this study focuses on developing a monitoring system using wireless network sensors with LoRa technology. The main objective is to monitor variables such as temperature, humidity, smoke, and light, with the purpose of preventing fires, which often originate in the coastal areas of grasslands and reed beds in the province of Puno. In this project, a connection was established between two LoRa WAN devices, one acting as a transmitter and the other as a receiver, along with sensors measuring the mentioned variables. The data collected by the sensors were transmitted to the transmitter and sent directly to the LoRa receiver. This allowed the real-time visualization of the variables, identifying potential fires. As a result, these variables were displayed on OLED screens, achieving real-time visualization of said parameters. Finally, the findings were graphically represented and presented in statistical tables.

Keywords: LoRa WAN, sensors, grassland fires, monitoring.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años, el Distrito de Puno ha enfrentado desafíos significativos relacionados con incendios en sus extensos pastizales. La creciente frecuencia y gravedad de estos eventos han generado la necesidad de abordar esta problemática de manera efectiva y tecnológica. La globalización de la ingeniería y la accesibilidad a tecnologías avanzadas ofrecen una oportunidad única para desarrollar soluciones innovadoras que no solo mitiguen los impactos de los incendios, sino que también promuevan la sostenibilidad ambiental.

En consonancia con la tendencia de globalización tecnológica, este proyecto se propone diseñar un sistema de monitoreo basado en sensores de redes inalámbricas con tecnología LoRa WAN. La elección de esta tecnología se fundamenta en su capacidad para proporcionar una cobertura eficiente en áreas extensas, lo cual es esencial dada la naturaleza dispersa de los pastizales en el Distrito de Puno. La aplicación de la tecnología LoRa WAN no solo permitirá un monitoreo en tiempo real, sino que también facilitará una respuesta rápida y coordinada ante posibles incidentes de incendios.

Desde una perspectiva ética y de responsabilidad ingeniería, este proyecto reconoce la importancia de implementar soluciones que no solo sean eficientes desde el punto de vista tecnológico, sino que también estén alineadas con principios de preservación ambiental y seguridad comunitaria. La ética en la ingeniería adquiere un papel crucial en la planificación, diseño e implementación de sistemas tecnológicos, y este proyecto busca encarnar esos principios al contribuir a la prevención y control de



incendios en un entorno natural tan delicado como los pastizales de Puno(SERFOR, 2018).

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la sociedad contemporánea, los incendios de pastizales se han convertido en un desafío global de proporciones significativas. Su creciente incidencia y la consecuente dificultad para controlarlos en diversas circunstancias plantean una amenaza inminente tanto para el medio ambiente como para las poblaciones afectadas. En este contexto, el presente proyecto de investigación se enfoca en abordar una problemática específica: la quema excesiva y la propagación de incendios que tienen lugar en los pastizales y totorales ubicados en las costas de la provincia de Puno, Perú.

Según la agencia peruana de noticias (Andina, 2023), La quema descontrolada de estos pastizales y totorales se ha erigido como un problema crítico que conlleva devastadoras consecuencias para el entorno natural y la población local. Estos incendios acarrear la destrucción de la vegetación, la pérdida de vida silvestre, la alteración de los ciclos biogeoquímicos del suelo, la contaminación del agua y del aire, y otros efectos perjudiciales. Además, estos incidentes representan una constante amenaza para las áreas tanto rurales como urbanas, dejando un impacto profundo y duradero en la región. Según datos recopilados por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) en 2017, la ocurrencia de incendios forestales en el periodo 2012-2016 resultó en la afectación de 93,365.8 hectáreas de cobertura natural, 94,239.9 hectáreas de cobertura vegetal, y la pérdida de 5,540.80 hectáreas de cultivo agrícola en el Perú.

SERFOR.(2018.p.4). El año 2016, en particular, se destacó como uno de los más críticos en términos de incendios forestales, registrándose 281 incidentes, con noviembre como el mes que reportó la mayor cantidad de casos, alcanzando un total de 93 incendios.



La cobertura más impactada por estos incendios forestales corresponde a los pastizales de la región andina, donde se registró una pérdida total de 38,930.00 hectáreas, convirtiéndose en el año de mayor incidencia de incendios forestales en todo el país. Y además en el 2021 hasta mediados de agosto, el SERFOR han emitido 374 alertas de incendios forestales. Los departamentos con mayor número de alertas de incendio forestal son: Cusco (66), Junín (47) y Puno (35). Este problema complejo tiene raíces multifacéticas. y según el SERFOR, (2018), se han identificado dos causas principales que desencadenan estos incendios en la provincia de Puno. En primer lugar, se encuentra la causa de origen natural, como la caída de rayos o truenos en los pastizales. En segundo lugar, la negligencia de los pobladores locales ha sido una fuente recurrente de incendios, ya que a menudo recurren a la quema de pastizales como una práctica tradicional para la preparación de tierras, sin considerar adecuadamente los riesgos asociados.

La trascendencia de abordar esta problemática radica en las graves consecuencias ambientales que afectan no solo a la provincia de Puno, sino también a nivel nacional. Los incendios forestales impactan negativamente en dimensiones económicas, sociales y ambientales del país. Por tanto, es imperativo desarrollar e implementar un sistema de monitoreo y prevención efectiva para mitigar el riesgo de incendios descontrolados y sus efectos perjudiciales. En consecuencia, el objetivo principal de esta investigación es el desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo específico que permita prevenir la ocurrencia y propagación de incendios en los pastizales y totorales de la provincia de Puno. Este sistema no solo beneficiará a la población en general, sino que también contribuirá a la protección de los valiosos ecosistemas afectados por los incendios forestales en el Perú, constituyendo un paso significativo hacia la mitigación de este problema creciente y global.



1.1.1. Problema General

¿Es factible diseñar y poner en funcionamiento un sistema de monitoreo basado en sensores de redes inalámbricas con tecnología LoRa WAN para la detección de incendios en los pastizales del distrito de Puno?

1.2. HIPOTESIS

El diseño de un Sistema de monitoreo basado en tecnología LoRa WAN permitirá alertar de manera eficaz los incendios en los pastizales del distrito de Puno.

1.3. JUSTIFICACION DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

La presente investigación se centra en la urgente necesidad de abordar un problema crítico que afecta a los pastizales del Distrito de Puno: los frecuentes incendios que tienen consecuencias devastadoras. Este fenómeno no solo amenaza la biodiversidad de la región, sino que también afecta negativamente la economía local y el atractivo turístico. En la revisión de la literatura, se evidencia que la frecuencia y magnitud de los incendios en pastizales han aumentado en los últimos años (Sagua, 2020). A pesar de los esfuerzos de investigación anteriores que exploran soluciones para la detección temprana de incendios, existe una brecha evidente en la aplicación de tecnologías avanzadas, como LoRaWAN, en este contexto específico (Azuay et al., 2021). La ausencia de una solución tecnológica integral y específica para los pastizales de Puno ha llevado a una gestión de riesgos insuficiente y a consecuencias ambientales y económicas significativas. Es imperativo abordar esta problemática de manera efectiva y eficiente. El enfoque metodológico propuesto por Sampieri et al. (2014) proporciona un marco sólido para la investigación, destacando la importancia de identificar y abordar brechas en el conocimiento existente. En este contexto, la aplicación de tecnologías como LoRaWAN podría marcar la diferencia, pero es crucial primero comprender completamente la



magnitud del problema y sus implicaciones antes de proponer soluciones. Por lo tanto, esta investigación se propone llenar este vacío al profundizar en la comprensión de los patrones de incendios en los pastizales de Puno antes de proponer un Sistema de Detección de Incendios basado en LoRaWAN. Al obtener una comprensión más completa de la problemática, se asegura que la solución propuesta esté en sintonía con las necesidades específicas de esta región, maximizando así su eficacia y sostenibilidad.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de Monitoreo con sensores de redes inalámbricas con tecnología LoRa WAN contra incendios en los pastizales en el distrito de Puno.

1.4.2. Objetivos específicos

- Crear un sistema de detección de incendios en áreas de pastizales y totorales utilizando tecnología de redes de sensores inalámbricos.
- Diseñar una red de sensores para recaudar información en tiempo real.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

2.1.1. Antecedentes Nacionales

(Robles, 2021) Tesis “*Diseño E Implementación De Un Sistema Comunicacion LORAWAN para la localizacion de vicuñas en la comunidad Chimpa Jilahuata- Azángaro-Azángaro-Puno*” Universidad Nacional del Altiplano-Puno.

La tesis mencionada ofrece un antecedente significativo para mi proyecto de investigación, que se centra en "Diseñar e Implementar un Sistema de Monitoreo de Vicuñas Utilizando Tecnología LoRaWAN del Distrito de Puno". La tesis aborda la preocupación por la protección de las vicuñas, un recurso natural importante en el Perú, y propone la implementación de un sistema de comunicación LoRaWAN para su localización y monitoreo. Este enfoque es relevante para mi proyecto, ya que ambos se basan en la tecnología LoRaWAN para la monitorización de animales en entornos naturales. Los resultados que muestran un amplio radio de cobertura y una precisión de localización promedio demuestran la aplicabilidad de la tecnología en áreas similares a los pastizales de Puno. Este antecedente respalda mi investigación al demostrar la efectividad de la tecnología LoRaWAN en la monitorización de vicuñas y su potencial utilidad en la protección de estos animales en áreas de difícil acceso como Puno (Robles, 2021).



(Sagua, 2020) Tesis “*Diseño e implementación del prototipo de una comunicación lora para el monitoreo meteorológico en la bahía del lago Titicaca en la ciudad de Puno*”, Universidad Nacional del Altiplano.

Menciona que, el objetivo de esta investigación fue diseñar e implementar un prototipo de comunicación LORA para el monitoreo meteorológico en la bahía del lago Titicaca, ubicada en la ciudad de Puno. La falta de conocimiento preciso de las variables meteorológicas se convierte en un problema que afecta a actividades económicas importantes en la ciudad, como el turismo, la navegación, la agricultura, la ganadería, la apicultura y la pesca. Además, la falta de acceso directo a la información por parte de las instituciones públicas dificulta su beneficio directo para la población, el prototipo diseñado e implementado permitió el registro en tiempo real de variables meteorológicas como radiación UV, temperatura, humedad, presión atmosférica y velocidad del viento en la bahía. Además, se determinó la distancia alcanzada por la comunicación LORA punto a punto. A través de la investigación experimental, se desarrolló un sistema que transmite datos en un área amplia y brinda información monitoreada en tiempo real, generando un registro de fácil accesibilidad para los usuarios, el prototipo constó de dos puntos de comunicación LORA y sensores para medir las variables. Se utilizaron instrumentos como pirómetros, termómetros, higrómetros, barómetros y anemómetros, junto con una metodología adecuada para realizar las mediciones correspondientes. El rendimiento de la comunicación fue satisfactorio, logrando transmitir todas las variables y alcanzar una distancia de 2,46 km entre los dos puntos de comunicación(Sagua, 2020).

(QUISPE ROBLES & CAMAYO HUARANCCA, 2019) Tesis “*Diseño E Implementación De Un Sistema De Riego Basado En Internet De Las Cosas*”



Aplicando Tecnologías Lpwan En La Irrigación Majes-Siguas I – El Pedregal – Arequipa” Universidad Nacional del Altiplano-Puno.

Concluyen: (...) que, En el contexto actual, las demandas relacionadas con la implementación del Internet de las Cosas (IoT) van más allá de las capacidades de las redes tradicionales como Wi-Fi y Bluetooth. Por lo tanto, están surgiendo nuevas tecnologías que se ajustan mejor a las necesidades específicas que se presentan. En el caso de la irrigación en la zona de Majes-Siguas I, se observa que el sistema de riego utilizado en su mayoría es de naturaleza manual. Esto significa que los agricultores y microempresarios de la región realizan actividades como abrir y cerrar válvulas de forma manual para llevar a cabo las tareas de riego, sin disponer de información precisa sobre la humedad y la temperatura de sus cultivos. El proyecto desarrollado tiene como punto de referencia un nivel de humedad del suelo del 60%. Esto implica que, si la medición de humedad obtenida por el cliente es inferior al 60%, se activará el actuador correspondiente (una electroválvula) para proporcionar riego. En caso contrario, si la humedad supera el 60%, el actuador se apagará. Cabe destacar que la temperatura se recopila como dato, pero no se utiliza para tomar decisiones operativas. Además, es importante mencionar que no se ha considerado un sistema de seguridad relacionado con la puesta a tierra de los equipos. El proyecto también establece horarios específicos para el suministro de agua en el sistema de riego de la IRRIGACIÓN MAJES SIGUAS I. No se incluye un análisis de las características específicas de los cultivos, ya que este no es el enfoque principal de la investigación. Los sensores ubicados en los módulos cliente recopilan datos de humedad y temperatura en varios momentos del día y en distintos puntos del campo experimental. Posteriormente, estos datos se transmiten a través de tecnología LoRa desde el



módulo cliente al módulo servidor. Una vez en el servidor, se procesan los datos y se toma la decisión de activar o desactivar una electroválvula con el fin de administrar el riego de los cultivos, en función de las condiciones de humedad detectadas (QUISPE ROBLES & CAMAYO HUARANCCA, 2019).

2.1.2. Antecedentes Internacionales

(Azuay et al., 2021) Artículo “Implementación de un Sistema de Monitoreo y Posicionamiento Geográfico para la Prevención de Incendios Forestales Mediante una Red Sensorial”, Universidad de Azuay-Ecuador

En el artículo siguiente se menciona que, El proyecto tiene como objetivo monitorear los parámetros ambientales clave, como la ubicación geográfica, temperatura, monóxido de carbono, dióxido de carbono, velocidad y dirección del viento, con el fin de detectar y alertar sobre incendios forestales. Esto se logra mediante una red de tres nodos sensores con comunicación LoRa a 915 MHz, que envían los datos recopilados a la plataforma ThingSpeak, el equipo implementado produjo resultados similares a los obtenidos por el equipo de Libelium en términos de mediciones de temperatura, velocidad y dirección del viento. Además, se determinó que la comunicación LoRa tiene un alcance máximo de 1 km. Este proyecto aborda la problemática de los incendios forestales y proporciona un sistema de monitoreo eficaz utilizando tecnología LoRa y la plataforma ThingSpeak (Azuay et al., 2021).

(Kosanke, 2019) Tesis “*Benchmark de selección de sensores para una wsn de recolección de datos para un sistema de alerta temprana de incendios forestales*”, Universidad Técnica del Norte-Ecuador



Por otra parte Kosanke(2019) después de una revisión bibliográfica sobre el fenómeno del fuego, se estableció una metodología de tres etapas para seleccionar los parámetros ambientales y no ambientales que deben ser monitoreados. Estos parámetros incluyeron la temperatura, humedad relativa, dióxido de carbono, radiación infrarroja y humo. Luego, se realizó una evaluación comparativa de diferentes sensores, teniendo en cuenta la fiabilidad, estabilidad, tiempo de respuesta, precisión, precio y disponibilidad como criterios de evaluación, con el fin de seleccionar los sensores de mayor rendimiento, finalmente, se llevó a cabo un ensayo de laboratorio en entornos controlados para probar el funcionamiento de los sensores individualmente y en conjunto. Como resultado, se desarrolló un sistema de detección de incendios multisensorial que utiliza software y hardware de código abierto. Este sistema permite verificar la adecuación del benchmark utilizado en la selección de los sensores((Kosanke, 2019).

(Guamán-Quinche et al., 2016) Artículo *“Diseño de una red de sensores para la detección y protección de incendios forestales”*, Universidad de Loja – Ecuador.

El artículo mencionado constituye un antecedente fundamental para mi investigación sobre el "Diseño de un Sistema de Detección de Incendios con Tecnología LoRaWAN en los Pastizales del Distrito de Puno". En el contexto de un crecimiento notable en la aplicación de redes de sensores en diversas áreas, incluyendo la prevención de incendios forestales, este trabajo resalta la reducción de costos en la fabricación de sensores y su potencial aplicación en lugares de difícil acceso. Aunque se enfoca en tecnología XBee y prevención de incendios forestales, el enfoque en la alerta temprana y la consideración de la distribución



estratégica de nodos sensores son aspectos directamente relevantes para mi investigación, que busca aplicar tecnología LoRaWAN en pastizales de Puno y requiere una disposición eficaz de sensores para lograr una detección efectiva de incendios.(Guamán-Quinche et al., 2016)

(Pérez-Trujillo et al., 2022) Artículo “*Cobertura de la claridad de Fresnel en LoRa IoT*”, Instituto Politecnico Nacional, CITEDI, 22435, Tijuana, Baja California, México.

Concluyen: (...) que, El desarrollo de sistemas de monitoreo de diversas variables en ubicaciones remotas y sin acceso a energía, con la necesidad de transmitir datos en tiempo real, ha llevado a la adopción de tecnologías como LoRa IoT. Estas tecnologías ofrecen conectividad en entornos como cuerpos de agua, áreas boscosas y otros lugares de difícil acceso. Esto posibilita la implementación de sensores para el monitoreo de variables relacionadas con la agricultura, ganadería, piscicultura y más. Estos sensores forman redes inalámbricas que pueden transmitir datos a largas distancias. Para garantizar una cobertura confiable en estos entornos, es esencial que los sistemas de comunicación de largo alcance tengan en cuenta el análisis de la zona de Fresnel, que describe las condiciones técnicas de operación. En este contexto, se presenta un análisis de la claridad y despeje de la primera zona de Fresnel para dispositivos IoT con conectividad LoRa. Este análisis y diseño de comunicación inalámbrica considera factores como la altura de las antenas, la curvatura terrestre y la estimación del espacio libre entre las antenas, con el objetivo de asegurar que la pérdida de señal no exceda el 60% de la claridad en la primera zona de Fresnel. Las métricas obtenidas de este análisis incluyen un radio de la primera zona de Fresnel de 9.037 metros a una distancia de 0.5 kilómetros, un 60% de radio sin



obstáculos de 5.4319 metros, una distancia total de enlace de 1 kilómetro y una distancia al obstáculo de 0.5 kilómetros. La frecuencia utilizada en este estudio es de 915 MHz.(Pérez-Trujillo et al., 2022).

(Rubio, 2022) Artículo *“Implementación de un sistema de monitoreo y control con tecnología IoT para determinar el comportamiento de las variables ambientales en la avicultura”*, Universidad de Pamplona-Colombia

Concluye: (...) que, Este estudio previo se centra en la implementación exitosa de un sistema de monitoreo y control con tecnología IoT en el contexto de la avicultura. El artículo describe la metodología utilizada, que involucra la implementación de una red inalámbrica LoRaWAN para recopilar datos de variables ambientales relevantes. Los resultados del estudio destacan cómo estas condiciones ambientales pueden afectar la cría de aves en un entorno confinado. Las conclusiones subrayan la importancia de la tecnología emergente para la automatización avícola, la supervisión remota y la centralización de información, lo que podría reducir costos y abrir la puerta a la tecnificación de granjas avícolas en el futuro. Este antecedente respalda mi investigación al demostrar la viabilidad y los beneficios de la tecnología LoRaWAN en la monitorización de condiciones ambientales en la avicultura, proporcionando una base sólida para el diseño de mi propio sistema de monitoreo en el contexto de los pastizales de Puno(Rubio, 2022).

(Burbano Ordoñez, 2017) Tesis *“Implementación de una red de sensores inalámbricos LPWAN mediante módulos LoRa para el monitoreo de la calidad del agua en 2 ríos”*, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas-Colombia.



Concluyen: (...) que, La tesis presenta un diseño y una implementación exitosa de una red de sensores inalámbricos para medir parámetros de calidad del agua en dos ríos. La utilización de módulos LoRa™ para la comunicación entre nodos resalta la relevancia de esta tecnología emergente en la transmisión de datos en áreas de difícil acceso. Además, la construcción de nodos sensores para monitorizar parámetros clave como la conductividad eléctrica, el pH y la temperatura proporciona un enfoque relevante para la detección de incendios en pastizales, donde la calidad del agua puede ser indicativa de condiciones propensas a incendios. Este antecedente fortalece la base de mi investigación al demostrar la viabilidad de la tecnología LoRaWAN en la recopilación de datos ambientales en un contexto similar, respaldando así mi enfoque en la detección temprana de incendios en pastizales de Puno (Burbano Ordoñez, 2017).

(Mañay Chochos et al., 2022) Artículo “*Diseño de una red LoRa de bajo costo para el monitoreo del sector agrícola*” Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México-México

Concluyo: (...) que, Este estudio previo se centra en el monitoreo de cultivos en tiempo real para minimizar pérdidas debido a condiciones climáticas adversas en una región andina similar. La utilización de una red LoRa, nodos finales, puerta de enlace y plataforma IoT para la interfaz gráfica de usuario destaca la relevancia de la tecnología LoRaWAN en la transmisión y visualización de datos a distancia. Además, la consideración de terrenos irregulares y los desafíos relacionados con la interferencia de vegetación y árboles en la señal de comunicación refleja la importancia de abordar condiciones topográficas difíciles, como las que se encuentran en los pastizales de Puno. Este antecedente respalda mi investigación al demostrar la aplicabilidad de la tecnología LoRaWAN en la



recopilación de datos en condiciones geográficas similares, contribuyendo a mi objetivo de mejorar la detección de incendios y la gestión de riesgos en los pastizales de Puno(Mañay Chochos et al., 2022).

2.2. MARCO TEÓRICO

En esta sección, nos enfocaremos en llevar a cabo un análisis exhaustivo y proporcionar definiciones claras de las variables independientes y dependientes, así como en explorar cómo estas variables se relacionan con los conceptos asociados a ellas.

2.2.1. Identificación de las Variables

2.2.1.1. Variable Independiente

Tecnología LoRa WAN: Esta es la variable independiente, ya que es el factor que se manipulará o diseñará en el estudio de investigación. El uso de la tecnología LoRa WAN se considera un componente clave en el diseño del sistema de monitoreo.

2.2.1.2. Variable Dependiente

Eficiencia en la Detección de Incendios: Esta variable dependiente refleja cómo el sistema de monitoreo diseñado, que utiliza la tecnología LoRa WAN, afecta la eficiencia en la detección de incendios en los pastizales del distrito de Puno en el año 2023. La eficiencia en la detección de incendios es el resultado que se espera lograr a través de la implementación del sistema.



2.2.2. Diseño

El diseño implica el proceso global en el que un ingeniero emplea su conocimiento, habilidades y perspectivas para concebir un producto o sistema que resuelva un problema y atienda una necesidad. Este diseño debe presentar un nivel de detalle suficiente para que sea posible su ejecución. En esencia, un diseño representa una idea innovadora para abordar una problemática específica y actúa como una directriz para llevar a cabo su materialización, es decir, su construcción y evaluación. (Herrera Herbert, 2022)

- El concepto de diseño implica la concepción y la descripción de una estructura que se percibe como una entidad que encarna las cualidades deseadas, especialmente en términos de sus funciones.
- El proceso de diseño implica la conversión de datos sobre las condiciones, necesidades y requisitos en una descripción que sea capaz de cumplir con esos elementos.

2.2.3. Incendio en Pastizales

Según Bryan et al. (2017) habla acerca de que un incendio pastizal se refiere a la propagación descontrolada del fuego, particularmente en áreas rurales, con efectos negativos en la vegetación, que incluye árboles, arbustos, hierbas, hichus y totorales. El fuego, siendo un elemento natural y una herramienta utilizada por las personas en diversas actividades agrícolas y forestales, puede convertirse en una amenaza cuando se emplea de manera inapropiada sin las debidas precauciones, lo que puede resultar en incendios que afectan la cobertura vegetal de las áreas forestales. Otra situación propicia para la ocurrencia de

incendios se da cuando confluyen tres elementos esenciales: combustible, calor y oxígeno. En tales circunstancias, la propagación del fuego puede extenderse sobre vastas superficies, ocasionando graves daños a la flora y fauna circundantes.

Figura 1

Incendio de Pastizales



Nota: (Andina, 2023)

Las consecuencias perjudiciales del humo en los seres humanos como resultado de los incendios se detallan en las tablas siguientes:

Tabla 1

Elementos constituyentes del humo generado por los incendios

Los elementos primordiales del humo generado por los incendios.	
Gases no irritantes y tóxicos del tracto respiratorio.	Monóxido de carbono.
	Cianuro.
Gases irritantes tóxicos del sistema respiratorio.	Acroleína.
	Amoniaco.
	Formaldehido y Aldehídos.
	Óxidos nitrosos
	Ácido Clorhídrico
Gases simples que causan asfixia.	Dióxido de Carbono(CO ₂)
Partículas	Hollín

Nota: (Bryan et al., 2017)

Tabla 2

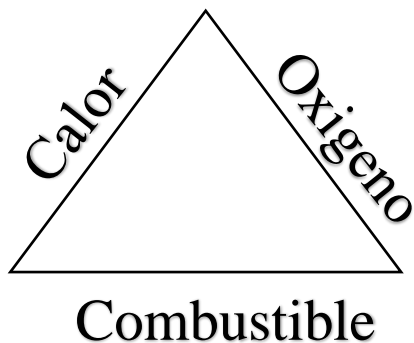
Sofocación debida a la inhalación del humo producido por incendios

Mecanismo de asfixia por inhalación de humo en incendios forestales que involucra múltiples factores.
Detención de la respiración a nivel celular debido al impacto tóxico directo del cianuro y el monóxido de carbono.
Reducción en el transporte de oxígeno causada por la formación de carboxihemoglobina.
Supresión de la función respiratoria central debido a la presencia de monóxido de carbono, dióxido de carbono y cianuro.
Bloqueo de las vías respiratorias, ya sea de pequeño o gran diámetro, ocasionado por gases irritantes, altas temperaturas y partículas de hollín.
Reducción del porcentaje de oxígeno inhalado.

Nota: (Bryan et al., 2017).

Figura 2

Triangulo de llama



Elaboración propia

2.2.3.1. Calor

Originario de eventos naturales como relámpagos, altas temperaturas o energía, es un componente fundamental para el desencadenamiento del fuego.

2.2.3.2. Oxígeno

Según (Bryan et al., 2017), nos dice que se trata del elemento presente en la atmósfera que facilita la intensificación de la llama, ya que habilita la capacidad



de combustión del material inflamable, lo que resulta en la expansión del incendio cuando soplan vientos fuertes.

2.2.3.3. Combustible

De acuerdo con nuestros hallazgos, el elemento crítico son las áreas de pastizales y totorales que se encuentran deshidratados debido a la escasez de precipitaciones y a las altas temperaturas en la provincia de Puno.

2.2.4. Ley N° 29763 Ley Forestal y de la Fauna Silvestre

Según SiarPuno (2019), La legislación forestal y de fauna silvestre que rige nuestra área de estudio se encuentra establecida en la normativa histórica proporcionada por el SERFOR. Dentro de esta normativa, se definen los recursos forestales como comprendiendo los bosques naturales, plantaciones forestales y tierras cuya principal capacidad de uso es la producción y protección forestal, junto con otros componentes de flora terrestre y acuática emergente de carácter silvestre. Los incendios forestales se definen como incendios que, sin importar su origen, representan un peligro o causan daño a personas, propiedad o el entorno, propagándose sin control en áreas rurales a través de vegetación, ya sea leñosa, arbustiva o herbácea, ya sea viva o muerta. Además, las sanciones relacionadas con los incendios forestales están reguladas por la Ley 29664, que establece la creación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, y por el Reglamento para la Gestión Forestal, aprobado mediante el Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI.

Figura 3

Serfor Puno



Nota: (SiarPuno, 2019)

2.2.5. El reglamento para la Gestión Forestal aprobado con Decreto Supremo N° 018-2015-MINANGRI

Define las pautas para la administración de recursos forestales, abarcando tanto las acciones preventivas como correctivas, así como las penalizaciones relacionadas con los incendios forestales.

Según (LaRepublica, 2022) Frente a la persistente ocurrencia de incendios forestales en la región de San Román-Juliaca, el líder de la Defensoría del Pueblo en esta área, Nivardo Enríquez, hace hincapié en que este acto ilícito conlleva una pena de prisión de al menos 2 años o más.

2.2.6. Microcontrolador

Es un dispositivo electrónico programable que se compone de varios módulos funcionales diseñados para llevar a cabo una o múltiples funciones específicas. Incluye las tres unidades fundamentales de una computadora: una unidad de procesamiento, memoria, y dispositivos de entrada y salida. En el contexto de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN, por sus siglas en inglés), la



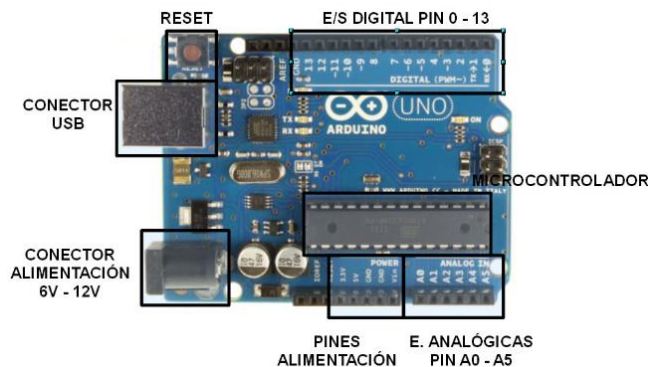
tarea principal del microcontrolador es recopilar, procesar y almacenar datos provenientes de los sensores, con el propósito de transmitir posteriormente esta información a través del transmisor de radio. Por lo general, el microcontrolador se encuentra acompañado de un Reloj en Tiempo Real (RTC, por sus siglas en inglés), el cual proporciona información precisa sobre la hora actual. Esto permite que los datos recopilados se almacenen con fecha y hora, además de permitir la programación de eventos temporizados en caso de ser necesario (Burbano Ordoñez, 2017).

2.2.7. Microcontrolador Arduino

Según Carrillo (2021), concluye que Arduino, en la actualidad, se ha convertido en una herramienta valiosa para el proceso educativo, ya que brinda a los estudiantes la capacidad de desarrollar sus habilidades creativas y innovadoras en el ámbito de la electrónica y la robótica. Esto posibilita la creación de proyectos interactivos que pueden enriquecer el aprendizaje en diversas materias, incluso aquellas que no están directamente relacionadas con la tecnología, como la informática, la mecánica o la electrónica. El uso de la placa de Arduino implica el empleo de hardware y software de código abierto, elementos cruciales no solo en el ámbito tecnológico, sino en la vida en general. Esto estimula el pensamiento lógico de las personas, lo que facilita la comprensión de la tecnología y ofrece la oportunidad de concebir proyectos que podrían contribuir al desarrollo de tecnologías futuras.

Figura 4

Placa Arduino



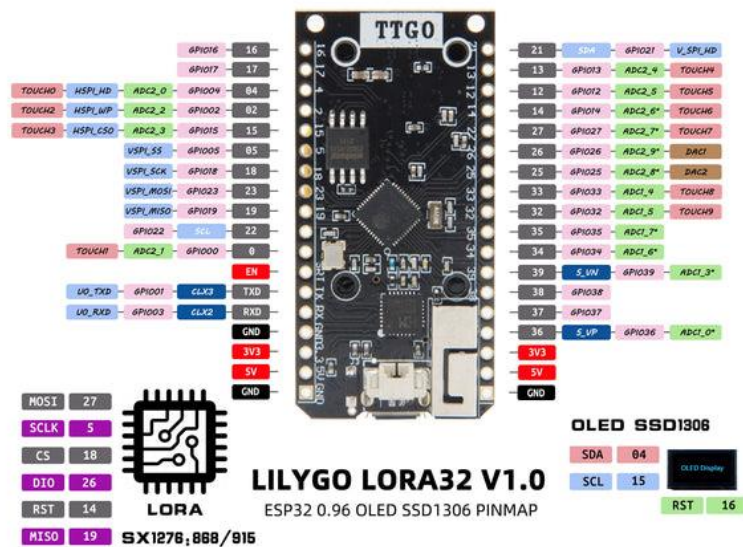
Nota: (Carrillo, 2021)

2.2.8. Microcontrolador TTGO LoRa32-OLED

El TTGO LoRa32-OLED es un microcontrolador muy interesante que combina un potente microcontrolador ESP32 con conectividad WiFi y Bluetooth, un módulo LoRa para comunicación de largo alcance y una pantalla OLED de 0,96 pulgadas para mostrar información. Esto lo hace ideal para proyectos de IoT que requieren una comunicación fiable a distancias considerables y una visualización de datos sencilla. Además, su capacidad de funcionar con una batería recargable lo hace portátil y adecuado para aplicaciones móviles. La compatibilidad con Arduino y el código abierto fomentan una comunidad activa de usuarios y desarrolladores, lo que lo convierte en una opción atractiva para proyectos de electrónica y programación. Desde la monitorización ambiental hasta la geolocalización, las posibilidades de aplicación son amplias y emocionantes(LilyGO, 2023).

Figura 5

Placa TTGO LoRa32-OLED



Nota: (LilyGO, 2023)

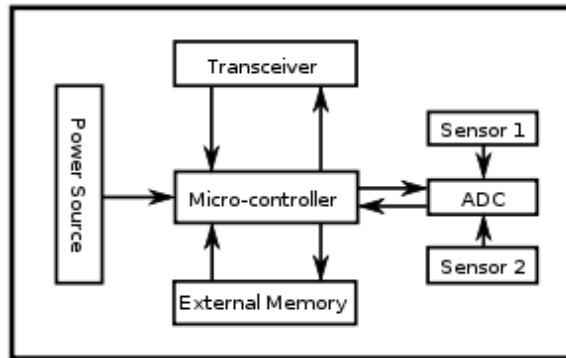
2.2.9. Sensores de Redes Inalámbricas(WSN)

Hoy en día, las redes de sensores inalámbricos (WSN) son ampliamente utilizadas en la industria debido a su versatilidad y su eficiencia en el consumo de energía, equipo compacto, facilidad de instalación, medición en tiempo real de parámetros físicos y capacidad para comunicarse en distancias relativamente cortas. Estas características hacen que las redes de sensores inalámbricos sean la mejor opción para recopilar información del entorno instalado, lo que les permite colocarse en cualquier lugar sin restricciones de espacio, instalación, cableado o un obstáculo gracias a un enlace inalámbrico.

WSN consta de nodos sensores, también conocidos como especificaciones, que consisten principalmente en una batería (fuente de alimentación), microprocesador, memoria para almacenamiento y procesamiento, uno o dos sensores y un módulo tranceptor o tranceptor que proporciona comunicación. entre nodos sensoriales(Cajas, 2022).

Figura 6

Arquitectura Típica del nodo sensor



Nota: (Wikipedia, 2022)

De acuerdo con el propósito de la medición y la expansión del entorno, el número y la posición de los nodos están determinados para obedecer la recopilación de información necesaria, tan pronto como el sensor mide los parámetros físicos. El convertidor (convertidor digital similar) para procesar y transmitir después de los últimos nodos dependiendo de la estructura vinculada utilizada, las tres estructuras vinculadas se pueden usar, acuerdan que necesitan un puerto, es decir, la conexión externa fuera del WSN para el servidor para el servidor o computadora directamente para procesar datos para mayor capacidad, porque los botones tienen un procesamiento limitado, admiten recopilación de datos, transmisión /GET y almacenan información de inmediato(Cajas, 2022).



2.2.10. Aplicaciones de la WSN

Principales aplicaciones son en seguridad industrial, automatización de procesos industriales, monitoreo en las industrias de energía, agricultura y ganadería, medición de factores ambientales, monitoreo de vida silvestre, tráfico, vivienda, ciudad, edificio inteligente.

Según (Wikipedia, 2022) también se aplica en:

Eficiencia energética: Se utiliza una red de sensores para monitorear el uso eficiente de la electricidad, como es el caso de Japón y España.

Ambiente de alta seguridad: hay lugares donde se requiere alta seguridad para prevenir ataques terroristas, como plantas de energía nuclear, aeropuertos, edificios gubernamentales con acceso limitado. Aquí, gracias a la red de sensores, es posible detectar situaciones que no son posibles con las cámaras convencionales. **Sensor ambiental.** El monitoreo ambiental en grandes áreas de bosques u océanos no sería posible sin una red de sensores. Controla diversas variables como temperatura, humedad, fuego, actividad sísmica, etc. También ayudan a los profesionales a diagnosticar o prevenir problemas o errores y minimizar el impacto de la actividad humana en el medio ambiente natural.

2.2.10.1. Sensores Industriales

las fábricas cuentan con sofisticados sistemas de control de calidad, estos sensores se seleccionan para adaptarse a donde se necesitan.



2.2.10.2. Automación

Las redes de sensores son un complemento ideal para los radares de tráfico, ya que pueden informar sobre el estado de la carretera en puntos ciegos que no pueden cubrir las cámaras, y también pueden avisar a los conductores del estado de la carretera en caso de atasco o accidente. Tratando con. capacidad de reacción ante la elección de rutas alternativas.

2.2.10.3. Medicina

Esta es otra área muy prometedora. Al reducir el tamaño de los nódulos sensoriales, el bienestar de los pacientes que requieren el seguimiento de sus signos vitales (pulso, presión arterial, azúcar en la sangre, etc.) puede mejorar significativamente.

2.2.11. Elementos constituyentes de una red de sensores Inalámbricas

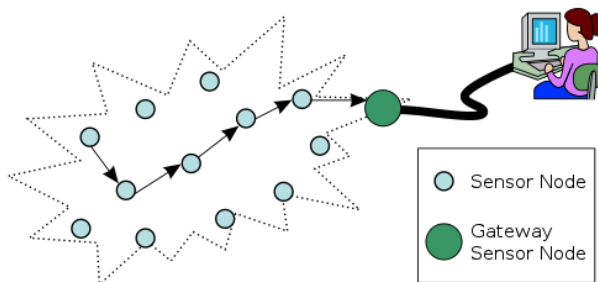
Una red de sensores inalámbrica, al igual que una red tradicional de datos o comunicación, consta de varios elementos que permiten la comunicación entre los nodos que la componen y es adecuada para el propósito para el diseño (Campaña, 2019, p. 21). La red de sensores inalámbricas generalmente consta de cuatro componentes principales, tales como:

- Nodos Sensores
- Gateway
- Estación Base
- Red Inalámbrica

De acuerdo a los elementos puede ser visualizada en la figura 7 que sigue:

Figura 7

Elementos de una WSN



Nota: (Wikipedia, 2022)

2.2.12. Topología de una red de sensores inalámbricas

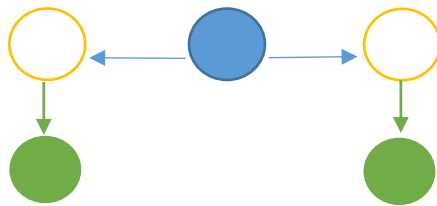
Los sensores de red inalámbrica generalmente trabajan con 3 topologías y son topología de árbol, topología de malla y principalmente con el que trabajaremos es la topología estrella.

2.2.12.1. Topología Árbol




En esta configuración, se identifican tres elementos principales: un nodo terminal y un nodo que desempeña la función de enrutador y un nodo despachador que actúa como puerta de enlace, también conocido como despachador, y recopila datos para su uso posterior. enviarlo al servidor o directamente a la computadora, en esta topología hay niveles conectados por buses en los que hay nodos router y nodos finales conectados a ellos, la principal ventaja es la facilidad de expandir la red, pero si la conexión del bus se quiebra, toda la red colapsará.

Figura 8

Topología Árbol



Elaboración propia

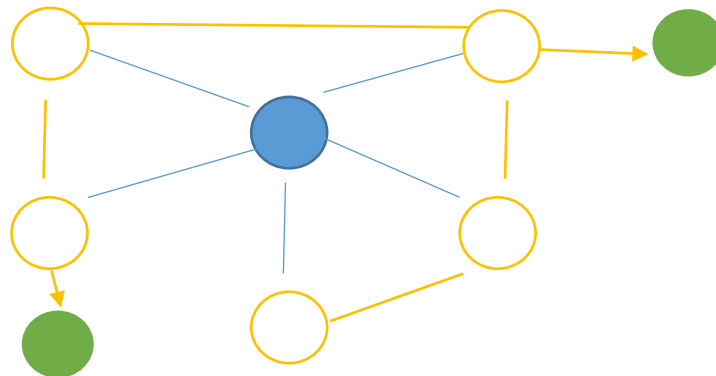
-  Nodo Central
-  Nodo Sensor
-  Enrutador

2.2.12.2. Topología Malla


Esta topología facilita la instalación y expansión de la red, Dado que la transmisión de información se realiza entre nodos dentro del rango de cobertura de radio, si el nodo A necesita comunicarse con el nodo B, que se encuentra fuera de su alcance, La recepción del mensaje requiere la intervención de un nodo intermedio C, y retransmitirlo al nodo B, siguiendo una topología similar a un árbol. también utiliza tres elementos: nodo final, nodo de enrutador y puerta de enlace.

Figura 9

Topología Malla



Elaboración Propia

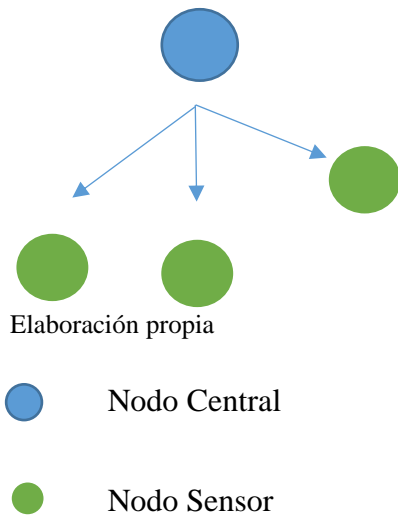
-  Nodo Central
-  Nodo Sensor
-  Enrutador

2.2.12.3. Topología Estrella

Esta topología es la más simple de las tres porque requiere solo dos componentes: Los nodos finales se conectan directamente a la puerta de enlace para minimizar la demora entre ambos puntos, lo cual es una de las ventajas del punto principal de Otra ventaja de esta topología está relacionada con el consumo de energía debido a que está relativamente más cerca de la puerta, los nodos finales mantienen bajos los niveles de energía, pero la comunicación se limita al área de transmisión de radio de la puerta(Cajas, 2022).

Figura 10

Topología Estrella



2.2.12.4. Gateway

Según (Campos, 2020) nos dice que el objetivo de la puerta de enlace o Gateway es establecer una red LoRaWAN inalámbrica para garantizar la cobertura de los nodos. La principal tarea de la puerta de enlace es establecer la comunicación bidireccional utilizando los nodos tanto para recibir los datos que emiten como para enviar las instrucciones requeridas. Además, se encarga de establecer la comunicación con los servidores de red superiores utilizando una conexión TCP/IP. En resumen, la puerta de enlace es un dispositivo que integra hardware distribuido, como sensores, actuadores e instrumentación, utilizando un servidor web que administra la red y envía información a aplicaciones de nivel superior.

2.2.12.5. Estacio Base

Actúa como la interfaz dentro de la red de sensores inalámbricos (WSN) y la red externa, permitiendo el almacenamiento o procesamiento de la información recibida de la WSN a través de la puerta de enlace.

Esta información está disponible para el usuario y se puede acceder a ella localmente a través de forma remota en la estación base.

2.2.12.6. Sensores WSN

- **Sensor de Temperatura y Humedad (DHT11)**

El sensor DHT11 es ampliamente utilizado para medir la temperatura y la humedad relativa del aire en aplicaciones de monitoreo ambiental. En el proyecto, el sensor DHT11 te permitirá recopilar datos sobre las condiciones climáticas locales, lo que es esencial para evaluar el riesgo de incendios. Las condiciones de temperatura y humedad pueden influir en la probabilidad de que ocurran incendios forestales.

La información recopilada por el sensor DHT11 es valiosa para tomar decisiones informadas sobre la gestión de incendios y la prevención.

- **Sensor de Gas (MQ-2)**

El sensor MQ-2 está diseñado para detectar gases inflamables y humo en el aire. Es especialmente útil para identificar la presencia de humo, que es un indicador clave de incendios forestales. En el proyecto, el sensor MQ-2 se utilizará para monitorear la concentración de humo en el entorno. Cuando se detecta un aumento significativo en la concentración de humo, esto podría indicar la



presencia de un incendio forestal. La detección temprana de humo es esencial para tomar medidas preventivas y de respuesta rápida ante incendios forestales.

- **Sensor de Luz(TSL2561)**

El sensor TSL2561 se utiliza para medir la intensidad de la luz ambiental. Puede detectar cambios en la luminosidad, lo que puede ser relevante en un proyecto de monitoreo contra incendios. En el proyecto, el sensor TSL2561 se utilizó para evaluar la visibilidad en el área. Los incendios forestales a menudo generan humo espeso que reduce la visibilidad, lo que puede ser peligroso para las operaciones de extinción y evacuación.

Monitorizar la luz ambiental puede ayudar a evaluar la visibilidad y las condiciones de iluminación durante un incendio forestal, lo que es importante para garantizar la seguridad de los equipos de respuesta.

En conjunto, estos sensores proporcionarán datos cruciales para monitorear las condiciones ambientales y detectar incendios forestales de manera temprana. La tecnología LoRa WAN permitirá transmitir estos datos de manera inalámbrica a una ubicación centralizada para su análisis y toma de decisiones. Esto contribuirá a la prevención y gestión efectiva de incendios en el distrito de Puno.

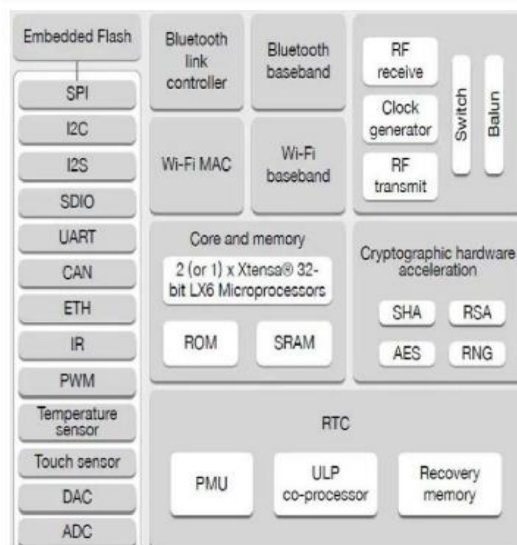
2.2.13. Modulo ESP32

El ESP32 es un microcontrolador económico y eficiente en lo que respecta al uso de energía, que ha adquirido reconocimiento y aceptación en el ámbito de la electrónica y el desarrollo de IoT. (Bertoleti, 2019) nos dice el ESP32 es un System-on-Chip (SoC) o chip integrado, como se indica en la documentación

oficial, que proporciona conectividad (Wi-Fi y Bluetooth a 2.4 GHz) y capacidad de procesamiento. de procesamiento (memoria de CPU), E/S, RTC, soporte para trabajar con varias interfaces (SPI, I2C, I2S, etc.), bloques de hardware seguros y soporte de bajo consumo en el mismo chip.

Figura 11

Diagrama de bloque del ESP32



Nota: (Bertoletti, 2019)

Figura 12

Módulo LoRa32-OLED



Nota: (LilyGO, 2023)



2.2.14. Programación ESP32

El ESP32 es compatible con el entorno de desarrollo de Arduino y puede ser programado con él y también como el framework ESP-IDF. Los pasos básicos incluyen configurar el entorno, crear un proyecto, desarrollar el código utilizando el lenguaje de programación correspondiente, compilar y cargar el programa en el ESP32, y realizar pruebas y depuración. Es importante familiarizarse con las especificaciones del ESP32 y utilizar la documentación y ejemplos de código disponibles para aprender a programarlo de manera efectiva.

Debido a su naturaleza educativa (Bertoleti, 2019), popular y fácil de usar, este libro se enfoca en la programación usando Arduino IDE. En otras palabras, planeamos ESP32 como si estuviéramos programando otro Arduino. De esta manera, no es necesario tener un conocimiento profundo del sistema operativo para desarrollar una solución que haga uso de los recursos proporcionados por el ESP32 de una manera más fácil y rápida, lo cual es muy valioso para la ciencia, el lenguaje más usual es lenguaje C y/o C++ o Python.

2.2.15. Chip LoRa SX1276

El chip LoRa SX1276 es un componente de radio utilizado en dispositivos y módulos LoRa. Fabricado por Semtech, está diseñado para brindar comunicación de largo alcance con un consumo de energía reducido utilizando la tecnología LoRa. Este chip utiliza modulación de espectro ensanchado (CSS) para transmitir información mediante señales de radio, posibilitando la comunicación a grandes distancias, incluso en condiciones desafiantes. Tiene alta sensibilidad de recepción, potencia de salida ajustable y ofrece tasa de bits y rendimiento configurables. Se comunica con el microcontrolador a través de la interfaz SPI.

Figura 13

ChipSX1276



Nota: (LilyGO, 2023)

2.2.16. Características Chip LoRa32

Tabla 3

Características de TTGO LoRa32-OLED

Características de TTGO LoRa32-OLED

Es necesario enlazar la antena de frecuencia 868/915 MHz con la interfaz IPEX.

Cuando la batería esté completamente cargada, la luz azul del LED se apagará.

Cuando lo utilice, asegúrese de observar los polos positivo y negativo de la batería.

Para habilitar la entrada de señal táctil en la pantalla táctil a través del puerto IO, es necesario incorporar un condensador de 100 nF en este pin.

La luz roja actúa como un indicador de que el dispositivo está encendido.

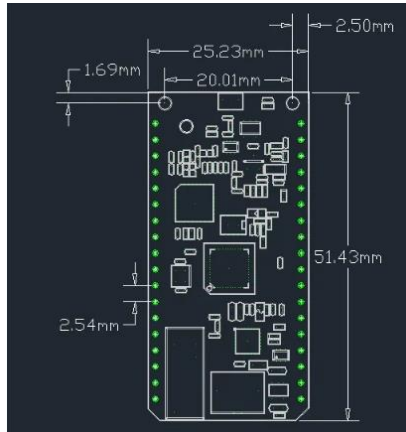
La luz de color azul corresponde al control programable del pin IO25.

Nota: (LilyGO, 2023)

2.2.16.1. Dimensiones de Chip LoRa32

Figura 14

Dimensiones de chip LoRa32



Nota:(LilyGO, 2023)

2.2.16.2. LoRa

LoRa es una tecnología de comunicación inalámbrica de radiofrecuencia que facilita la transmisión de datos a largas distancias (varios kilómetros) con eficiencia energética. Incluso el nombre LoRa se deriva de la expresión "Long Range", un acrónimo apropiado con su manejo.

En relación a las frecuencias utilizadas, la tecnología LoRa emplea bandas sub-GHz (inferiores a 1 GHz) designadas para cada región geográfica. Vemos la tabla 2 para ver las definiciones de las bandas de frecuencia específicas de LoRa en las principales regiones del planeta (Bertolotti, 2019).

Sin embargo, no se recomienda esta tecnología para subir fotos o videos porque la carga es muy pesada y no cumple con los requisitos para un uso óptimo. La ventaja de LoRa es que envía datos todo el tiempo y la duración de la batería es considerablemente extensa ya que consume menos energía por transmisión que envía datos al dispositivo. La combinación de esto nos permite monitorear



continuamente la transmisión. Con la ayuda del GPS y el reloj interno, puede saber de dónde proviene la señal, captar la señal de ruido e indicar la intensidad con la que está recibiendo la señal(Olivares, 2020).

2.2.16.3.LoRa IOT

El Internet of Things (IoT) fue (y sigue siendo) un salto tecnológico. En general, el Internet de las Cosas, cuando se aplica correctamente, permite controlar de forma remota dispositivos que son más que simples transmisores o agentes de información; Te permite crear valor en acción. Los dispositivos que contribuyen a los datos conducirán a facilitando una mejor toma de decisiones, generando información concisa y altamente valiosa para la mejora continua de los procesos, etc. Sin duda, ese es el objetivo del Internet de las Cosas.

La tecnología de radio LoRa ofrece conectividad inalámbrica de bajo consumo energético y muy buen alcance en proyectos IoT.

2.2.16.4.Banda de Frecuencia

LoRa trabaja en las bandas de radio ISM sin licencia, las cuales están disponibles globalmente. ISM representa las áreas Industrial, Científica y Médica. La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) asignó inicialmente una porción del espectro de radiofrecuencia a nivel mundial para aplicaciones en estos campos.

Tabla 4

Frecuencia de LoRa en diferentes Continentes

Región	Frecuencias(MHz)
Asia	433
Europa, India, Rusia y África	863-870
US	902-928
Australia	915-928
Canadá	779-787
China	470-510
Sudamérica	915

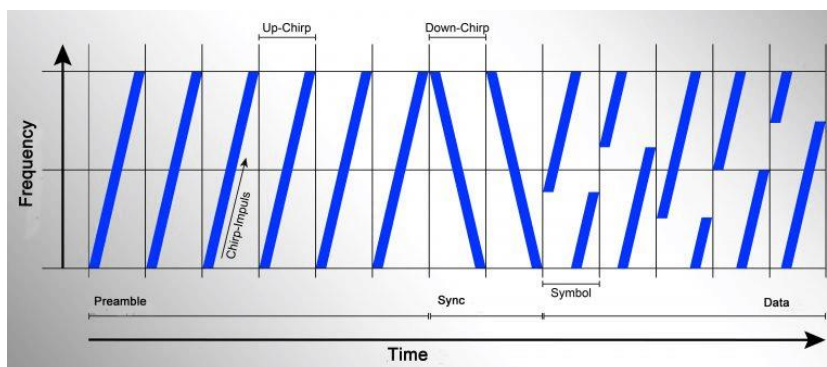
Nota: (2CIGroup, 2021)

2.2.16.5. Modulación y Demodulación LoRa

La tecnología LoRa emplea un método de modulación de espectro ensanchado. basado en la técnica de modulación Chirp Spread Spectrum (CSS) para lograr una comunicación de larga distancia. Esta modulación LoRa es altamente resistente a diferentes tipos de interferencias, lo que garantiza una transmisión confiable de datos como se puede visualizar en la figura 15.

Tabla 5

Modulación LoRa

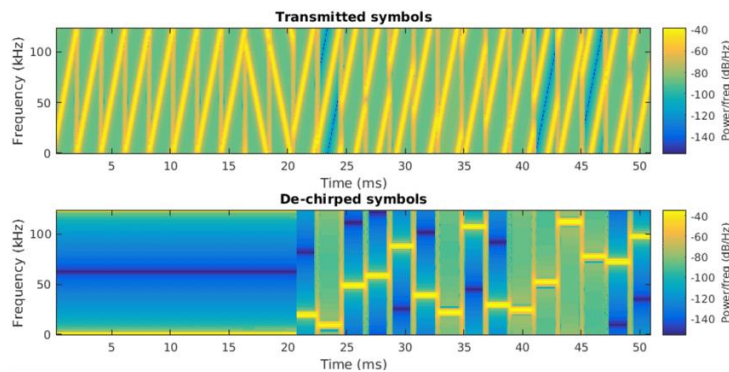


Nota: (2CIGroup, 2021)

En el proceso de demodulación de LoRa, se realiza la eliminación del chirrido de la señal para poder determinar los caracteres enviados por el transmisor. Esto se ilustra en la figura 16 del diagrama.

Figura 15

Demodulación LoRa



Nota: (2CIGroup, 2021)

2.2.16.6. Topología LoRa

LoRa se puede utilizar como una red, creando así (LPWAN) (Low Power Wide Area Network, LPWAN). En la topología de una red LoRa, opera en una topología de estrella (un interruptor/centro y N nariz/terminales) o de manera uno a uno, dependiendo del número de módulos de radio LoRa disponibles en un canal determinado como lo visualizamos en la figura 16.

Esto se plantea a que no hay una dirección de red en la comunicación LoRa "pura" (aunque existe la posibilidad entre múltiples estaciones LoRa, no hay dirección por defecto). Inmediatamente después, en el caso de dos dispositivos en el canal de comunicación, se establece una comunicación punto a punto, donde un dispositivo envía datos y el otro dispositivo los recibe. Sin embargo, Cuando en el enlace participan tres o más dispositivos, todos ellos recibirán la información

transmitida por las estaciones LoRa involucradas, lo que crea una topología en estrella.

2.2.16.7. Estructura de Lora.

Lo primero que debe tener en cuenta LoRa representa una tecnología de RF digital inalámbrica que posibilita la conectividad para el protocolo LoRaWAN en frecuencias inferiores GHz (ISM) sin licencia. Sus características principales incluyen un consumo de energía reducido y una transmisión de largo alcance, esto la hace una elección comúnmente preferida para la conectividad de redes LPWAN. La tecnología LoRa utiliza la modulación Spread Spectrum, específicamente la modulación Chirp Spread Spectrum, desarrollada por SEMTEC y patentada (CSS).

2.2.16.8. LoRa WAN

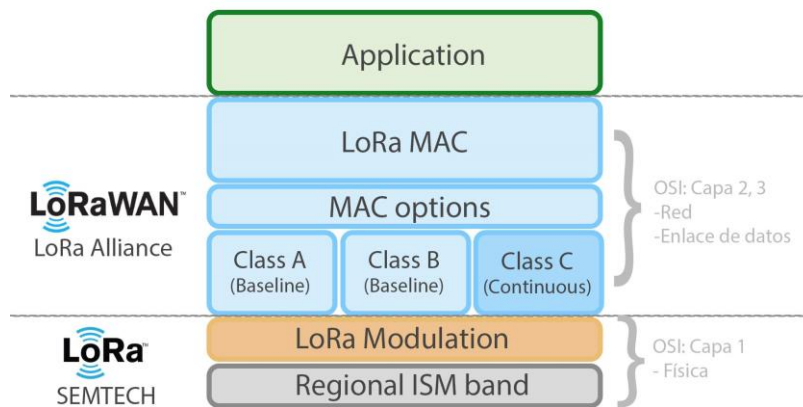
(Vargas, 2022) nos dice que es un protocolo de comunicación de red (en las capas 2 y 3 del modelo OSI) trabajando encima de la capa física LoRa. Lo notable del protocolo de comunicación Lora WAN es que es de código abierto, lo que facilita que numerosos fabricantes puedan desarrollar dispositivos compatibles, lo que a su vez contribuye a reducir los costos asociados.

2.2.16.9. Modelo de Referencia LoRa

Se puede decir que todavía no hay un marco de referencia en la red del Internet de las Cosas (IoT) que integre todas las tecnologías LPWAN y permita la creación "Internet de las cosas" en lugar de "Intranet de las cosas"

Figura 16

Protocolo de Comunicación LoRa WAN



Nota: (Vargas, 2022)

2.2.17. Antena LoRa

La antena externa de 915 MHz es un componente importante para la placa TTGO LoRa32 OLED, ya que permite la transmisión de datos a grandes distancias.

Tabla 6

Especificaciones de la Antena LoRa

Especificaciones de la Antena LoRa	
Tipo de conector	SMA Macho
Rango de Frecuencia	910Mhz-920MHz(915Mhz)
Ganancia	2dBi
Impedancia y SWR	$50\Omega/\leq 1.8$
Aplicación	Diseñada para su uso con dispositivos LoRa en la banda de frecuencia de 915 MHz

Nota: ElectroStore(<https://gruoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/rf-radio-frecuencia/modulo-lora32-ttgo-915mhz-y-esp32-con-pantalla-oled-cable-y-antena/>)

2.2.18. Área de Fresnel

Los datos sobre el gasto del enlace de radio LoRa se encuentran detallados en la tabla 6, la cual incluye información sobre los elementos utilizados en la predicción de la propagación de ondas de radio en una frecuencia de 915 MHz,

entre un emisor y un receptor LoRa en este escenario específico (Pérez-Trujillo et al., 2022).

Tabla 7

Márgenes de transmisión de la antena LoRa

Región	América
Banda de frecuencia	915MHz
Canales	64+8+8
Canales BW subida	125/500kHz
Canales BW bajada	500kHz
Potencia de TX subida	+20 dBm nominal (+30 dBm Norma))
Potencia TX bajada	+27 dBm
SF subida	7 -10
Tasa de Tx	980 Bps – 21.9 kbps
Presupuesto subida	154 dB
Presupuesto bajada	157 dB
Perdidas por propagación en el espacio libre a 1 km y frecuencia de 915 MHz	91.66 dB
Potencia de Recepción	65.66 dBm

Nota: (Pérez-Trujillo et al., 2022)

Según Pérez-Trujillo et al. (2022) que para lograr una cobertura óptima, es esencial garantizar una línea de visión despejada entre el emisor y el receptor. En las comunicaciones por radio, se emplean las zonas de Fresnel para describir el área de radiación. Estas zonas de Fresnel son elipsoides que se forman entre el transmisor y el receptor, y su tamaño se determina en función de la frecuencia de transmisión y la distancia entre ambos sitios.

El diámetro de zona de Fresnel, $1F$, en un punto específico a lo largo de la trayectoria de propagación se calcula utilizando la ecuación 1 correspondiente.

Ecuación 1

$$1F = \sqrt{\frac{\lambda e_1 e_2}{e_1 + e_2}}$$

Donde:

λ (m)= Se refiere a la longitud de onda de la señal en tránsito.

d_1 (m)= Corresponde a la distancia desde el punto de origen (el transmisor) hasta el obstáculo.

d_2 (m)= Significa la distancia que separa al receptor del obstáculo.

$$F1_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\lambda}{e_1 + e_2}}$$

$$\lambda = \frac{c}{f'}$$

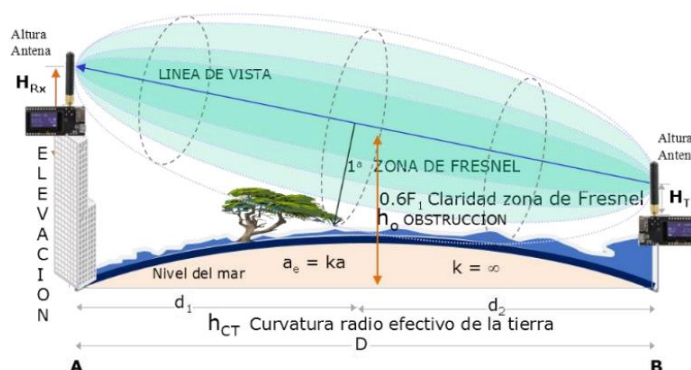
Donde:

f (Hz) = Se trata de la frecuencia en la que opera el sistema o dispositivo.

c (m/s)= es la velocidad de la luz ($299.792 \cdot 10^9$ m/s)

Figura 17

Zona Fresnel



Nota:(Pérez-Trujillo et al., 2022)



2.2.19. Librerías

2.2.19.1. Wire

La librería Wire.h, una librería estándar de Arduino, posibilita la interacción con dispositivos a través del bus I2C. Este protocolo emplea dos líneas: SDA (Serial Data Line o línea de datos) y SCL (Serial Clock Line o línea de reloj). Algunas de las funciones disponibles en esta librería incluyen Wire.begin(), Wire.requestFrom(), Wire.beginTransmission(), Wire.endTransmission(), Wire.write(), Wire.available() y Wire.read(). Wire.h viene preinstalada en el entorno de desarrollo de Arduino, por lo que no requiere descarga adicional. Para utilizarla en un programa, solo es necesario agregar la línea `#include <Wire.h>` al inicio del código. Asimismo, en la función `setup()`, es crucial iniciar la comunicación en el puerto, especificando un número entre 1 y 127 para actuar como esclavo; en caso de no proporcionar un número, el Arduino asumirá el rol de maestro en el bus I2C(Arduino, 2023).

2.2.19.2. DHT

La librería "DHT.h" es una herramienta ampliamente utilizada en Arduino que simplifica la lectura de datos de sensores de temperatura y humedad de la serie DHT, como el DHT11 o DHT22. Esta librería proporciona funciones que permiten a los desarrolladores obtener lecturas precisas de temperatura, humedad, punto de rocío y el índice de calor. Su uso típico implica inicializar la comunicación con el sensor, leer los valores de temperatura y humedad en el bucle principal del programa y, finalmente, utilizar esos datos en aplicaciones como el monitoreo ambiental o el control del clima(Arduino, 2023).



2.2.19.3.LoRa

La librería "LoRa.h" desempeña un papel fundamental en el entorno de programación de Arduino al posibilitar la comunicación inalámbrica mediante la tecnología LoRa (Long Range). Esta librería simplifica la configuración y transmisión de datos entre dispositivos LoRa, lo que resulta especialmente útil en proyectos de Internet de las cosas (IoT) y comunicaciones de bajo consumo energético. Con ella, los desarrolladores pueden personalizar parámetros como la frecuencia de operación, potencia de transmisión y velocidad de datos para adaptarse a las necesidades específicas de sus proyectos. LoRa se ha convertido en una elección popular en aplicaciones que requieren comunicación de largo alcance y eficiencia energética, como sistemas de telemetría, seguimiento de activos y monitoreo remoto(Arduino, 2023).

2.2.19.4.SPI

La librería "SPI.h" es una herramienta esencial en Arduino que simplifica la comunicación con dispositivos periféricos mediante el bus SPI (Interfaz Periférica en Serie). Esta librería facilita la configuración y el intercambio eficiente de datos entre el microcontrolador y dispositivos como sensores, pantallas, tarjetas de memoria y otros componentes que emplean la interfaz SPI. Al usar esta librería, los programadores pueden ajustar la velocidad de transferencia de datos, el modo de comunicación y otros parámetros para que se ajusten a las necesidades específicas de su proyecto. La interfaz SPI es comúnmente utilizada en una variedad de aplicaciones, incluyendo proyectos electrónicos, control de pantallas, y operaciones de lectura y escritura en tarjetas SD, entre otros(Arduino, 2023).



2.2.19.5. Adafruit_TSL2561

La librería "adafruit_TSL2561.h" de Arduino facilita el uso del sensor de luminosidad TSL2561. Esta librería se basa en la biblioteca unificada de sensores de Adafruit (Adafruit_Sensor) y proporciona control sobre la ganancia manual o automática y el tiempo de integración del sensor. Además, permite la detección automática de la saturación, devolviendo '65536' lux cuando el sensor está saturado y los datos son poco confiables. La función "tsl.getEvent" devuelve "false" en caso de saturación y "true" cuando se obtienen datos de luz válidos. El TSL2561 es un sensor de luz digital de 16 bits (I2C) que permite ajustar la ganancia y el "tiempo de integración". Una característica destacada es su capacidad para medir tanto la luz de banda ancha (visible e infrarroja) como la luz infrarroja por medio de dos unidades de detección separadas en el dispositivo, lo que es especialmente útil en ambientes de iluminación variada para obtener mediciones fiables. Para obtener más detalles técnicos sobre el TSL2561, puedes consultar la hoja de datos en este enlace: hoja de datos TSL2561](<http://www.adafruit.com/datasheets/TSL2561.pdf>). La librería "adafruit_TSL2561.h" está disponible para su descarga en el repositorio de Adafruit en GitHub. (Arduino, 2023).

2.2.19.6. MQUnifiedsensor

La librería MQUnifiedsensor simplifica la lectura de sensores MQ (medidores de calidad del aire) en placas Arduino, Genuino y ESP8266. Es compatible con varios tipos de sensores MQ, como MQ2, MQ3, MQ4, MQ5, MQ6, MQ7, MQ8, MQ9, MQ131, MQ135, MQ303A y MQ309A. Facilita la incorporación de estos sensores en proyectos de medición de calidad del aire



mediante una lectura sencilla y macros relacionados con el hardware, como la especificación de la placa y el pin de entrada analógica. Se aconseja la calibración de los sensores, especialmente cuando se utilizan varios que miden el mismo gas. La librería también proporciona ejemplos de código para mostrar cómo emplear los sensores MQ en distintos contextos. Para usarla en un programa, basta con agregar la línea "#include <MQUnifiedsensor.h>"(Arduino, 2023).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACION

3.1.1. Tipo de Investigación

El tipo del problema de la presente investigación es Experimental, aplicada, por lo que se propondrá una solución al problema planteado. Se utilizó la metodología de la investigación del libro de (Sampieri et al, 2014).

3.1.2. Diseño de Investigación

En mi proyecto de investigación, estoy empleando un diseño de investigación experimental, siguiendo las pautas del libro de metodología de la investigación (Sampieri et al, 2014). La razón principal detrás de esta elección radica en la necesidad de evaluar la eficiencia de un sistema de monitoreo que he diseñado específicamente para la detección de incendios en pastizales en el distrito de Puno en 2023. Este diseño experimental me permite manipular deliberadamente la variable independiente, que es el diseño del sistema de monitoreo, con el fin de observar su efecto en la variable dependiente, que es la eficiencia en la detección de incendios. Además, planeo realizar comparaciones con otros sistemas o métodos existentes para validar la eficacia de mi diseño. Para garantizar la validez de los resultados, también consideraré la posible influencia de variables controladas, como las condiciones ambientales o el tipo de sensores utilizados. En última instancia, este diseño experimental me proporcionará datos confiables y respuestas claras en relación con la eficiencia de mi sistema de monitoreo en la detección de incendios en pastizales.

3.1.3. Ubicación del Estudio

El próximo proyecto se localizará en el faro del muelle como transmisor y estación base donde se recaudará información pasaje San Francisco de Asís N°180 en la ciudad de Puno. Es en este lugar donde se instalará la estación base, cuyas coordenadas geográficas son una latitud de $15^{\circ}49'42.86''S$, una longitud de $70^{\circ}17.38''O$, y una elevación de 3835 metros sobre el nivel del mar y el receptor con coordenadas de una latitud de $15^{\circ}50'6.57''S$, y una longitud de $70^{\circ}0'55.73''O$ como se ilustra en la figura 19.

Figura 18

Zona costera ubicación transmisor y receptor LoRa



Elaboración Propia



3.1.4. Origen del Material Utilizado

3.1.4.1. Hardware

- Computadora portátil para la programación – Laptop.

Modelo: LENOVO 81AX

Procesador: Intel(R) Core(TM) i7-8550U 1,99Ghz

Memoria RAM: 8,00 GB

Tipo de sistema: Sistema operativo de 64bits, procesador x64.

- TTGO LoRa esp32 V1(IMPORTADO)
- Cables
- Protoboard
- Sensor de Viento(IMPORTADO)
- Sensor de CO2 y Gases. (IMPORTADO)
- Sensor de Luminosidad(IMPORTADO)
- Sensor de temperatura(IMPORTADO)
- Sensor de Humedad(IMPORTADO)
- Batería Portátil

3.1.4.2. Software

- Arduino IDE.
- Microsoft Word 2016 profesional.



- Microsoft Excel 2016 profesional.
- Block de notas.
- Google Earth

3.1.5. Población

La población para la investigación se compone del enfoque específico del estudio, centrándose especialmente en el tipo de monitoreo contra incendios con el dispositivo LoRa.

3.1.6. Muestra

La muestra está conformada por las cuatro variables presentes en el dispositivo LoRa32, específicamente abordando la temperatura, humedad, humo y luz. Estos datos recopilados a partir de la muestra serán utilizados en el estudio para alcanzar los resultados deseados.

3.1.7. Técnicas e Instrumentos de Investigación

3.1.7.1. Técnicas

Hay diversas metodologías para recabar información, para lo cual lo que se usó el experimento piloto con Tecnología LoRa WAN referenciado en (Sagua, 2020) y análisis Estadísticos, para analizar los datos cuantitativos recopilados y así identificar incendios, Es necesario validar la información durante la investigación, según a eso se realizara el monitoreo de las variables contra incendios.



3.1.7.2. Instrumentos

existen diversos instrumentos para lo cual según a las técnicas de investigación del experimento piloto con Tecnología LoRa WAN, se uso:

- Dispositivos Lora WAN.
- Sensor de Temperatura.
- Sensor de Humedad.
- Sensor de Humo.
- Sensor de Luz.

Y según al análisis de los datos estadísticos el instrumento a usar es:

- Software estadístico Microsoft Excel y SPSS.

3.2. LA METODOLOGIA ESTADISTICA EMPLEADA EN EL ESTUDIO

3.2.1. Nivel de Investigación

Mi proyecto se clasifica como aplicativo debido a su enfoque práctico y específico en la implementación de un sistema de monitoreo con sensores LoRa WAN para la detección de incendios en pastizales en el distrito de Puno en 2023. El objetivo principal de mi investigación es desarrollar una solución concreta para un problema real y urgente. Al diseñar este sistema, mi objetivo es abordar directamente la necesidad de mejorar la detección de incendios en esta área, lo que lo convierte en un proyecto altamente aplicativo que busca resolver un problema inmediato y proporcionar un beneficio práctico a la comunidad.

3.2.2. Procedimientos de la Investigación

En el siguiente trabajo de investigación se ha considerado trabajar con el hardware TTGO LoRa32 SX1276 OLED que es una tarjeta de desarrollo ESP32 que integra un módulo LoRa y una pantalla OLED SSD1306 de 0.96 pulgadas, y bajo consumo de energía que combina varias características útiles para proyectos de IoT (Internet de las cosas) y comunicaciones a larga distancia.

El funcionamiento de este sistema requiere que se programe tanto el ESP32 como el módulo SX1276 Lora en el entorno de desarrollo IDE Arduino. La programación se fundamenta en un conjunto de comandos en lenguaje C diseñadas para simplificar la operación y la comunicación entre los componentes físicos y el programa informático.

Se realizó el proyecto con dos hardware TTGO LoRa32-OLED V1, TRANSMISOR y RECEPTOR de dicho proyecto, fueron puesto en marcha en puntos específicos donde generalmente suceden constantes incendios en las costas del lago TITICACA de la ciudad de Puno, en el transmisor se podrá observar las variables de temperatura, humedad, CO₂, y luz en el RECEPTOR se podrá visualizar dichas variables y así tomar medidas de preventivas.

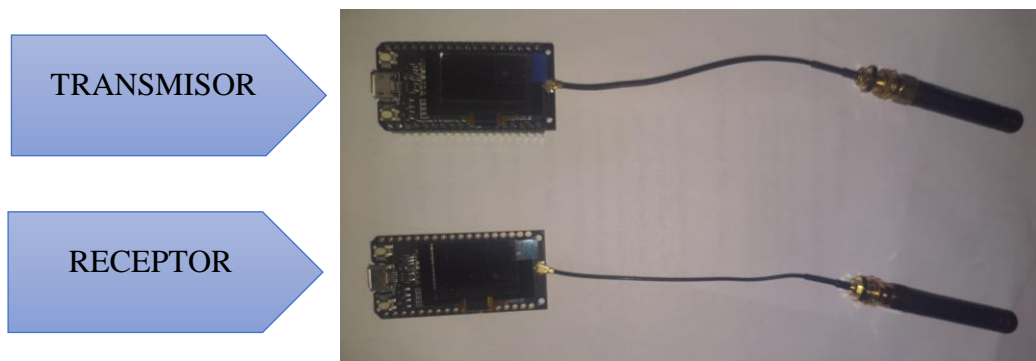
La prevención de incendios forestales y de pastizales es de suma importancia para proteger el medio ambiente y la vida silvestre, así como para evitar daños a la propiedad y riesgos para la vida humana. La utilización de sensores de temperatura, humedad, CO₂, luz y presión puede ser una estrategia efectiva para monitorear y prevenir incendios.

3.2.2.1. Diseño de la Red

Para llevar a cabo la investigación, se emplearon dos dispositivos TTGO LoRa32-OLED, uno actuando como emisor y el otro como receptor de las señales transmitidas por el emisor. Esto permitió la visualización de las variables en la pantalla OLED incorporada en el dispositivo receptor, tal como se ilustra en la figura 20.

Figura 19

Transmisor y Receptor LoRa



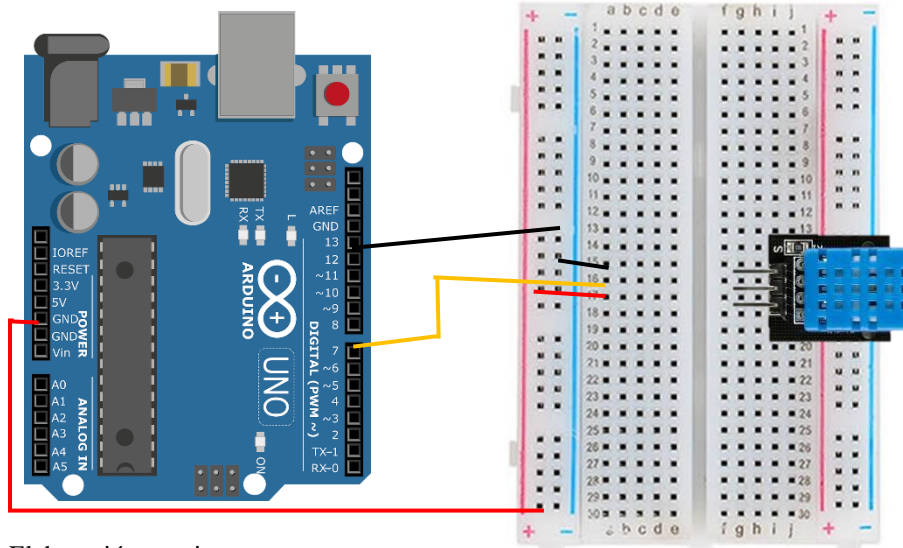
Elaboración propia

Además, se empleó hardware adicional para llevar a cabo las pruebas de rendimiento de los sensores. Se utilizó el Arduino UNO, dado que se trata de un microcontrolador confiable, económico y adecuado para operar los sensores en el proyecto de investigación.

Realizamos pruebas exhaustivas de cada sensor, comenzando con el sensor DHT11. Este sensor se conectó al pin digital 8 y se alimentó con 5V, mientras que la tierra (GND) se conectó a 0V en la placa de Arduino. Esta configuración nos permitió obtener mediciones de temperatura y humedad en el sitio de nuestra investigación. La Figura 20 representa el proceso de monitoreo de variables para la detección de incendios en la provincia de Puno.

Figura 20

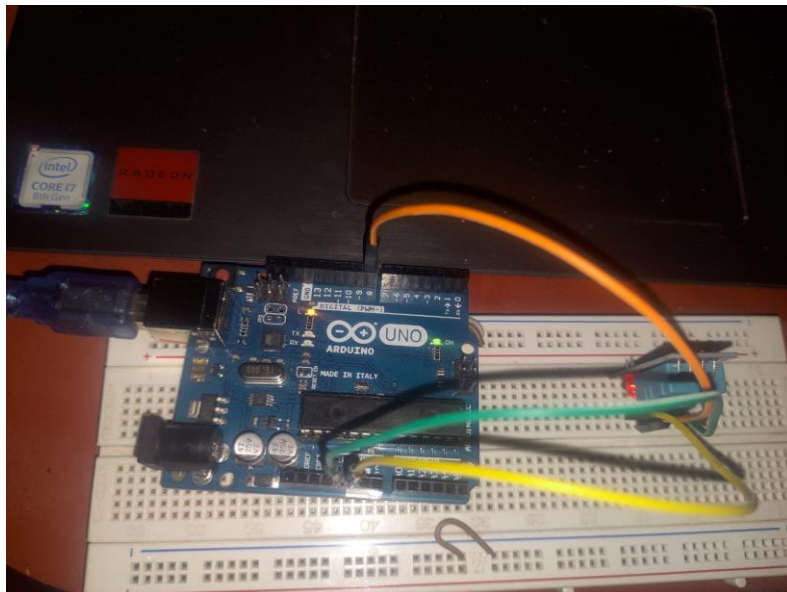
Conexión Arduino con DHT11



Elaboración propia

Figura 21

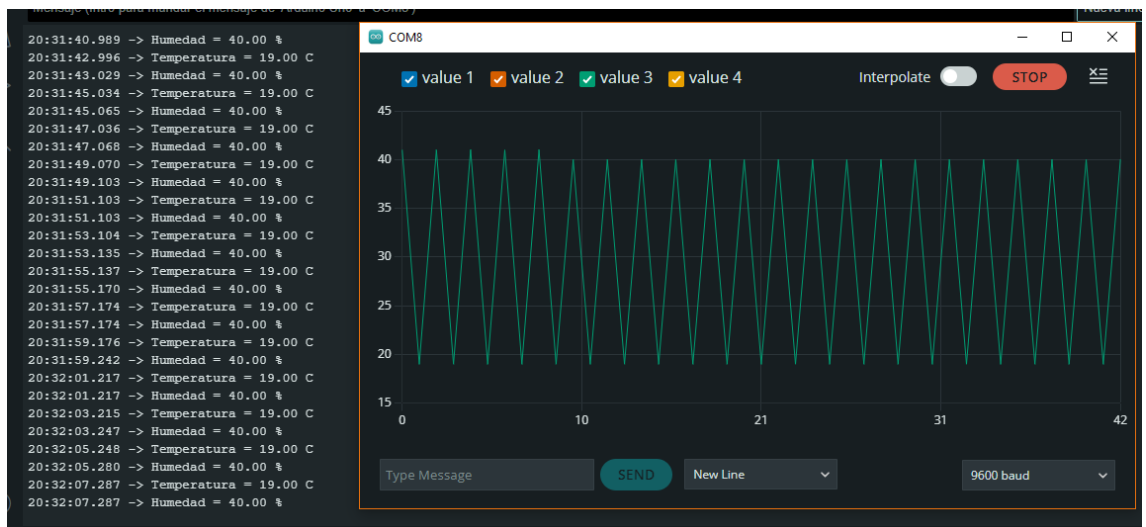
Integración del DHT11 en conjunto con la placa Arduino



Elaboración propia

Figura 22

Monitor Serial DHT11

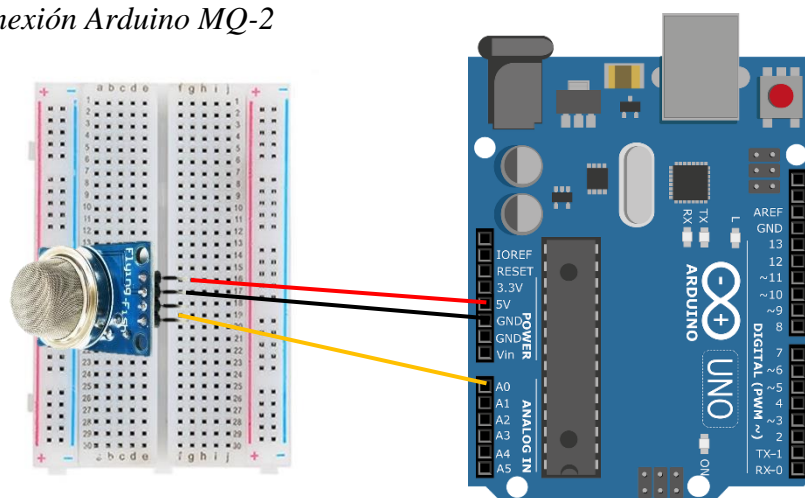


Elaboración propia

La Figura siguiente ilustra el desempeño del sensor MQ-2. Este dispositivo de detección de humo es esencial para identificar la detección de Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂) y gases. Lo conectamos al pin analógico A0 y le proporcionamos alimentación de 5V, con conexión a tierra (GND) en la placa Arduino. Gracias a este sensor, obtuvimos lecturas relacionadas con la presencia de humo en el área de investigación.

Figura 23

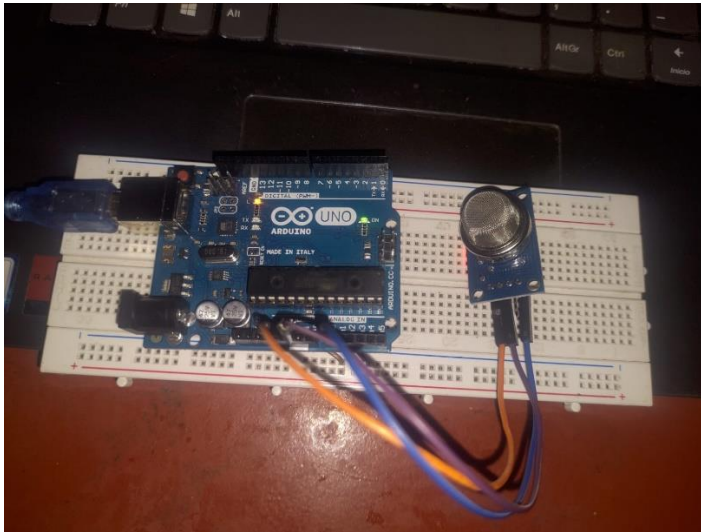
Conexión Arduino MQ-2



Elaboración propia

Figura 24

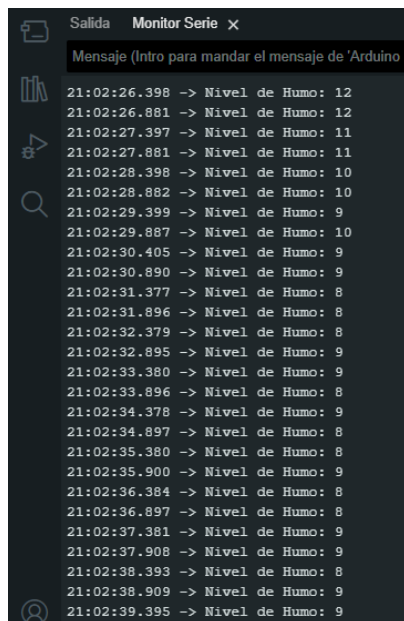
Integración del MQ-2 en conjunto con la placa Arduino



Elaboración propia

Figura 25

Monitor Serial MQ-2



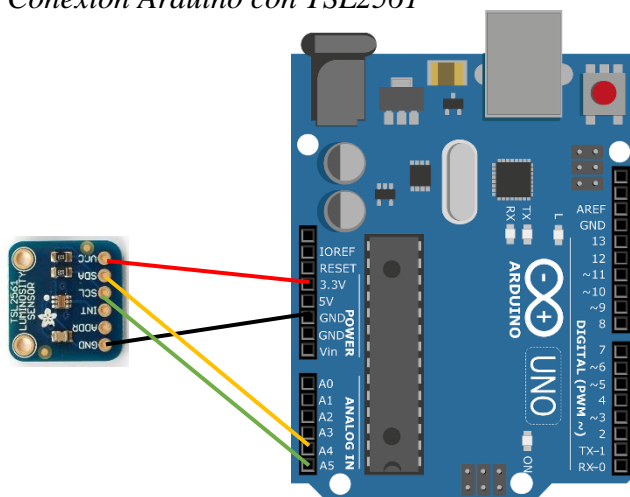
Elaboración propia

La siguiente imagen ilustra el funcionamiento del sensor de luz TSL2561. Estos componentes se emplean principalmente para detectar cambios significativos en la intensidad lumínica en un área específica, desempeñan una función importante como parte de un sistema de monitoreo más amplio en relación

a los incendios de pastizales. Este sensor utiliza el estándar de comunicación I2C, que emplea dos líneas de transmisión, SDA (Serial Data) y SCL (Serial Clock), para transmitir datos digitales entre dispositivos. El sensor de luz envía datos sobre la luminosidad ambiental al dispositivo maestro, en este caso, al Arduino, a través de estas líneas, el SDA y SCL se conectan al pin A4 y A5 respectivamente del Arduino. También se le proporciona alimentación de 3.3V y se conecta a tierra (GND) en la placa Arduino. Gracias a este sensor, obtuvimos lecturas relacionadas con la intensidad lumínica en esta investigación.

Figura 26

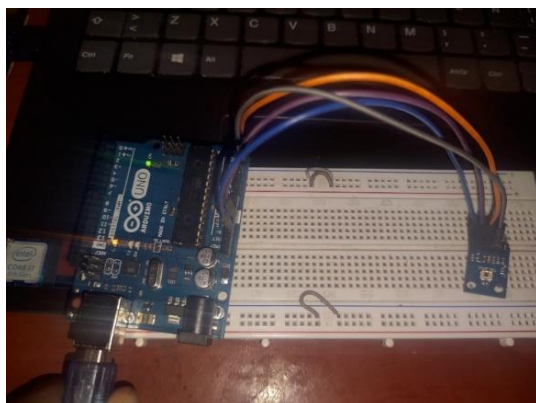
Conexión Arduino con TSL2561



Elaboración propia

Figura 27

Integración del TSL2561 en conjunto con la placa Arduino



Elaboración propia

Figura 28

Monitor Serial TSL2561

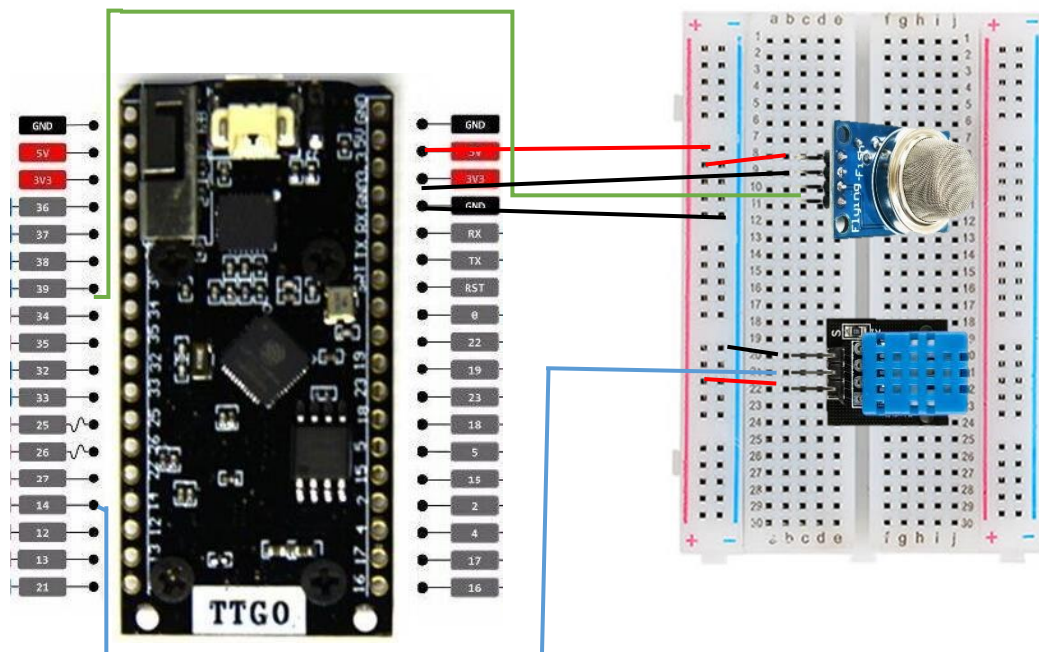
```
Salida Monitor Serie x
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'Arduino Uno' a 'COM3
21:41:01.275 -> Nivel de Luz: 60.00 lux
21:41:02.310 -> Nivel de Luz: 56.00 lux
21:41:03.313 -> Nivel de Luz: 13.00 lux
21:41:04.349 -> Nivel de Luz: 13.00 lux
21:41:05.346 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:06.377 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:07.388 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:08.393 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:09.422 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:10.456 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:11.456 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:12.488 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:13.489 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:14.524 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:15.524 -> Nivel de Luz: 78.00 lux
21:41:16.559 -> Nivel de Luz: 223.00 lux
21:41:17.563 -> Nivel de Luz: 252.00 lux
21:41:18.567 -> Nivel de Luz: 16.00 lux
21:41:19.597 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:20.631 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:21.632 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:22.634 -> Nivel de Luz: 15.00 lux
21:41:23.672 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:24.672 -> Nivel de Luz: 18.00 lux
21:41:25.705 -> Nivel de Luz: 19.00 lux
21:41:26.703 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
21:41:27.738 -> Nivel de Luz: 14.00 lux
```

Elaboración propia

Como se explicó previamente el funcionamiento correcto de los sensores en el Arduino procederemos con la implementación de software y hardware en el TTGO LoRa32-OLED, el propósito fundamental del módulo de TRANSMISIÓN es transmitir la información recolectada por el sensor de temperatura y humedad. Este conjunto está conformado por dos placas TTGO LoRa32 OLED V1, que incluye una antena unidireccional diseñada específicamente para la transmisión a través de la tecnología LORAWAN. Además, se enriquece con la incorporación del sensor DHT11, junto con otros sensores mencionados anteriormente. El diagrama con el TTGO LoRa32 OLED Es el siguientes:

Figura 29

Representación gráfica de las conexiones de la placa LoRa



Elaboración propia

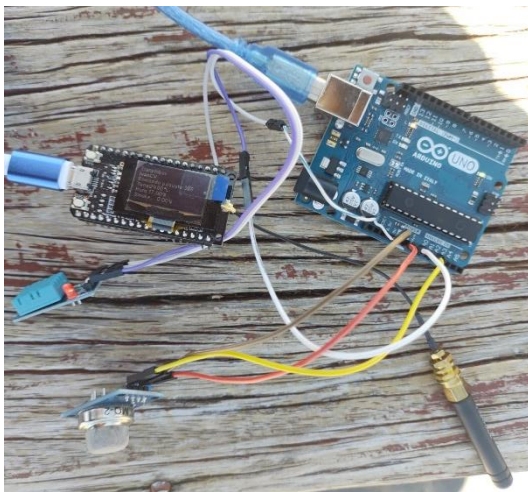
El sensor DHT11 es un dispositivo económico y de fácil uso que realiza mediciones digitales de temperatura y humedad relativa. En términos de hardware, solo es necesario realizar las conexiones de alimentación VCC a 5V, GND a tierra (0V), y el pin de datos a un puerto digital en nuestra placa TTGO LoRa32 (consulte la figura 38). Es factible conectar múltiples sensores a una misma placa, siempre y cuando cada sensor disponga de su propio pin de datos. El protocolo de comunicación utilizado entre el sensor y el microcontrolador es digital, al igual que el protocolo I2C empleado para la pantalla OLED incorporada en el ESP32.

Las evaluaciones se ejecutaron en las cercanías del faro del puerto de la provincia de Puno. Para iniciar las pruebas, primero realizamos las conexiones de los sensores de temperatura, humedad y humo o CO2 como se puede ver en la figura 38. Estos sensores transmitieron las lecturas tomadas en la zona al receptor

ubicado en la estación base. El sensor de temperatura y humedad DHT11 se conectó directamente al TTGO LoRa32-OLED V1, utilizando el pin GPIO 12 para la conexión de datos. Además, se alimentó con 5V y se conectó a tierra (GND). Por otro lado, el sensor de humo MQ-2 se conectó al pin GPIO34, también se alimentó con 5V y se conectó a tierra, como se ilustra en la figura siguiente:

Figura 30

Transmisor TTGO LORA32 equipado con un sensor DHT11 y MQ2

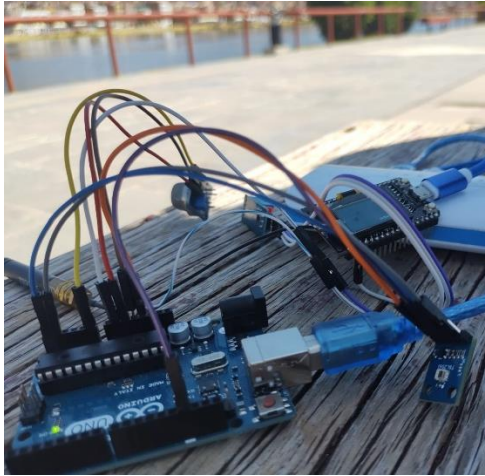


Elaboración propia

En el lugar donde se llevaron a cabo las pruebas de la investigación, también implementamos y recopilamos datos del sensor de luz utilizando un dispositivo Arduino este sensor trabaja I2C o sea tiene dos salidas SDA Y SCL que fueron conectadas al pin A4 y A5 respectivamente al software arduino IDE. Esto se debió a que el sensor de luz opera con una salida I2C, que no es compatible con el TTGO LoRa32 OLED debido a las diferencias en su tecnología y protocolo de comunicación en comparación con Arduino como se puede ver en la figura.

Figura 31

Sensor de LUZ TSL2561 para visualizar en el monitor serial



Elaboración propia

El receptor LoRa para las mediciones de temperatura, humedad, humo (CO₂) y luz se ubicará en la estación base, tal como se muestra en la figura 36. El dispositivo receptor, que consiste en el TTGO LoRa32, está equipado con una pantalla OLED que permitirá la visualización en tiempo real de estas variables. Esto contribuirá a prevenir incendios en las áreas de pastizales a lo largo de las costas del lago Titicaca, en la provincia de Puno.

Figura 32

Receptor LoRa con variables de temperatura, humedad y Humo



Elaboración propia



3.2.2.2. Diseño de la Red

La programación y ejecución de esta investigación se realizó en el entorno de desarrollo Arduino IDE utilizando el lenguaje de programación C. Para esta sección, dividiremos el código en cuatro partes: código del Transmisor, código del Receptor, y en cada parte se incluirán comentarios explicativos en las líneas de código.

3.2.2.3. Transmisor LoRa

En esta sección, se incluyen las bibliotecas necesarias para el proyecto. “Wire.h” se usa para la comunicación I2C, SSD1306.h para controlar la pantalla OLED, “DHT.h” para el sensor DHT11, “LoRa.h”, para la comunicación LoRa y “SPI.h” para la comunicación SPI.

Figuras 33

Inclusión de librerías del código transmisor LoRa

```
#include <Wire.h>
#include "SSD1306.h"
#include "DHT.h"
#include <LoRa.h>
#include <SPI.h> // Comunicación SPI
```

Aquí se definen varios pines GPIO que se utilizarán para la comunicación SPI con el módulo LoRa y se especifica la frecuencia de banda para la comunicación LoRa (915 MHz en este caso).

```
#define SCK 5 // GPIO5 -- SX1278's SCK
#define MISO 19 // GPIO19 -- SX1278's MISO
#define MOSI 27 // GPIO27 -- SX1278's MOSI
#define SS 18 // GPIO18 -- SX1278's CS
#define RST 14 // GPIO14 -- SX1278's RESET
#define DI0 26 // GPIO26 -- SX1278's IRQ(Interrupt Request)
#define BAND 915E6
```

Estas variables incluyen un contador, una instancia de la pantalla OLED, y cadenas para almacenar valores de RSSI (potencia de la señal), el tamaño del paquete y el paquete en sí.

```
unsigned int counter = 0;

SSD1306 display(0x3c, 4, 15);

String rssi = "RSSI --";
String packSize = "--";
String packet ;
```

Aquí se definen los pines que están conectados al sensor DHT11 y MQ-2.

```
#define DHTPIN 12
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

const int MQ2_PIN = 34; // Pin analógico donde está conectado el sensor MQ-2
```

En la función setup(), se inicializan los pines, se inicia la comunicación serial, se configuran los pines para la comunicación SPI y se inicializa el módulo LoRa. También se inicia la pantalla OLED y se configuran sus características.

```
void setup() {
  pinMode(16, OUTPUT);
  digitalWrite(16, LOW);
  delay(50);
  digitalWrite(16, HIGH);

  Serial.begin(115200);
  dht.begin();

  while (!Serial);
  Serial.println();
  Serial.println("LoRa Transmision");
  SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);
  LoRa.setPins(SS, RST, DI0);
  if (!LoRa.begin(915E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
  Serial.println("iniciando Transmision ");
  display.init();
  display.flipScreenVertically();
  display.setFont(ArialMT_Plain_10);
}
```

En el bucle principal (loop()), se realizan las siguientes acciones:

- Se leen los valores de humedad, temperatura y concentración de humo de los sensores.
- Se imprimen estos valores en el monitor serie.
- Se configura y muestra la información en la pantalla OLED.
- Se envían los datos a través de LoRa a un receptor (o dispositivo TTGO Slave).
- Se actualiza un contador y se realiza una acción intermitente con un LED.
- Se actualiza la pantalla OLED.

En la siguiente parte del código se encarga de obtener las variables de mediciones de humedad, temperatura y concentración de humo (o gas) de los sensores y mostrar estos valores tanto en la pantalla OLED como en la salida del monitor serial para su supervisión y registro.

```
void loop() {  
  float Humidity = dht.readHumidity();  
  float Temperature = dht.readTemperature();  
  
  int sensorValue = analogRead(MQ2_PIN);  
  float concentration = map(sensorValue, 0, 1023, 0, 100);  
  
  Serial.print("Humidity ");  
  Serial.println(Humidity);  
  Serial.print("Temperature ");  
  Serial.println(Temperature);  
  
  Serial.print("Analog Value: ");  
  Serial.println(sensorValue);  
  
  Serial.print("Smoke Concentration: ");  
  Serial.println(concentration);  
  
  display.clear();  
}
```

Esta parte del código configura y muestra información en la pantalla OLED, incluyendo etiquetas, valores medidos y texto informativo, lo que permite al usuario visualizar los datos en tiempo real.

```
display.setFont(ArialMT_Plain_10);
display.setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
display.drawString(0, 0, "Transmisor");
display.drawString(0, 10, "IvanCV");

display.drawString(0, 20, "Enviando paquete: ");
display.drawString(90, 20, String(counter));
Serial.println(String(counter));

display.drawString(0, 30, "Temp:");
display.drawString(25, 30, String(Temperature) + "°C");
display.drawString(0, 40, "Hum:");
display.drawString(25, 40, String(Humidity) + "%");
display.drawString(0, 50, "Smoke:");
display.drawString(45, 50, String(concentration) + "%");
display.display();
```

Esta parte del código se encarga de enviar datos a través de LoRa, llevar un registro del número de paquetes enviados, realizar un parpadeo en un LED y actualizar la pantalla OLED después de cada transmisión de datos.

```
// Enviar paquete a TTGO Slave
LoRa.beginPacket();
LoRa.print("T = ");
LoRa.print(Temperature);
LoRa.print(" ");
LoRa.print("H = ");
LoRa.print(Humidity);
LoRa.println(" ");
LoRa.print("Smoke = ");
LoRa.print(concentration);
LoRa.println(" ");
LoRa.endPacket();

counter++;

digitalWrite(2, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(2, LOW);
delay(1000);
display.display();
}
```

Elaboración propia

3.2.2.4. Receptor LoRa

Se incluyen las bibliotecas necesarias para el funcionamiento del programa. También se definen los pines utilizados para la comunicación SPI con el módulo LoRa, así como los pines para el reseteo, el pin de interrupción y otros pines que se utilizarán más adelante en el código y definimos los pines GPIO necesarios para el funcionamiento de la placa junto a la pantalla OLED.

Figura 34

Inclusión de Librerías para el receptor LoRa

```
new.ino
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <Wire.h>
#include "SSD1306.h"

#define SCK 5 // GPIO5 -- SX1278's SCK
#define MISO 19 // GPIO19 -- SX1278's MISO
#define MOSI 27 // GPIO27 -- SX1278's MOSI
#define SS 18 // GPIO18 -- SX1278's CS
#define RST 14 // GPIO14 -- SX1278's RESET
#define DIO 26 // GPIO26 -- SX1278's IRQ(Interrupt Request)
#define BAND 915E6
```

Aquí se declaran variables globales que se utilizarán a lo largo del programa. Esto incluye un contador, una instancia de la pantalla OLED, cadenas para almacenar valores de RSSI, tamaño de paquete y el paquete LoRa.

```
unsigned int counter = 0;
SSD1306 display(0x3c, 4, 15);
String rssi = "RSSI --";
String packSize = "--";
String packet;
```

Esta parte del código se encarga de configurar la comunicación serial, definir los pines de control, inicializar la comunicación SPI y configurar los pines específicos para el módulo LoRa antes de que el programa principal comience a funcionar como un receptor LoRa.

```
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  while (!Serial);  
  pinMode(16, OUTPUT);  
  pinMode(2, OUTPUT);  
  digitalWrite(16, LOW);  
  delay(50);  
  digitalWrite(16, HIGH);  
  Serial.begin(115200);  
  while (!Serial);  
  Serial.println();  
  Serial.println("LoRa Receiver");  
  SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);  
  LoRa.setPins(SS, RST, DI0);  
}
```

Esta sección del código se encarga de iniciar el módulo LoRa y la pantalla OLED. Si la inicialización de LoRa falla, el programa se bloqueará en un bucle infinito para indicar un error crítico. Si la inicialización tiene éxito, se configura la pantalla OLED y se introduce un retraso para garantizar que la pantalla esté lista para mostrar información.

```
if (!LoRa.begin(915E6)) {  
  Serial.println("Starting LoRa failed!");  
  while (1);  
}  
Serial.println("init ok");  
display.init();  
display.flipScreenVertically();  
display.setFont(ArialMT_Plain_10);  
delay(1500);  
}
```

En el bucle principal:

- LoRa.parsePacket() verifica si hay un paquete LoRa disponible para ser leído.
- Si hay un paquete, se inicia una lectura de caracteres con LoRa.read() y se almacenan en la cadena packet.

- Se obtiene el valor de la intensidad de señal (RSSI) del paquete con `LoRa.packetRssi()`.
- Los datos leídos se muestran en el monitor serie y en la pantalla OLED.
- Se enciende y apaga un LED (conectado al pin 2) como indicación visual de recepción.
- Luego, se espera un segundo antes de continuar con la próxima iteración del bucle.

```
new.ino
void loop() {
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {
    Serial.print("Rx ");
    while (LoRa.available()) {
      char c = LoRa.read();
      Serial.print(c);
      packet += c;
    }
    Serial.print(" RSSI ");
    Serial.println(LoRa.packetRssi());
    display.clear();
    display.setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
    display.setFont(ArialMT_Plain_10);

    display.drawString(0, 0, rssi + String(LoRa.packetRssi()));
    display.drawString(50, 0, packet);
    display.display();
    Serial.println(packet);
    packet = "";
    display.display();
    digitalWrite(2, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(2, LOW);
    delay(1000);
  }
}
```

Elaboración propia

3.2.2.5. Determinación de la distancia máxima de Transmisión LoRa

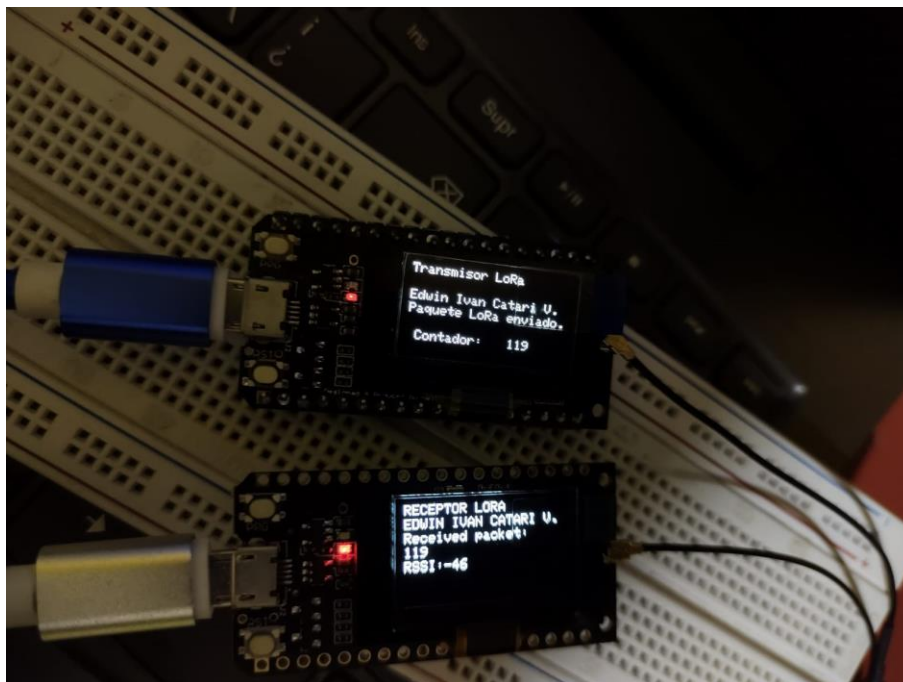
Con el fin de establecer la distancia máxima de transmisión, se llevó a cabo una prueba utilizando un código de contador con el transmisor y el receptor. La prueba comenzó con un contador en 0, y procedí a alejarme del transmisor con el receptor. Cuando la transmisión de datos se interrumpió, determiné la distancia máxima de la conexión LoRa. Esto se logró ya que el transmisor se mantuvo

estático en la estación base, y posteriormente utilizamos Google Earth para calcular la distancia máxima de transmisión.

Podemos observar en la siguiente figura dicho contador con el transmisor y receptor.

Figura 35

Prueba conectividad y cálculo de distancia LoRa



Elaboración propia

Durante la caminata desde la estación base hasta el Faro del puerto de Puno, se notó que el contador en la pantalla OLED se interrumpió. Según la información proporcionada en la hoja de datos, el alcance máximo del TTGO LoRa32 OLED es variable y depende de varios factores, incluyendo la geografía de la región en Sudamérica, la frecuencia de operación de 915MHz y la altitud de la ubicación de los dispositivos LoRa.

Para esta investigación, se realizó una prueba desde una ubicación elevada, que corresponde al punto más alto de mi residencia, y se logró establecer una

conexión efectiva a una distancia de 0.8 kilómetros. Esto demuestra que, en estas condiciones específicas, el módulo LoRa pudo mantener una comunicación confiable a esa distancia.

Es importante destacar que el alcance de los dispositivos LoRa puede variar considerablemente según las condiciones locales y el entorno, el código de prueba del contador estará en la sección de ANEXOS.

Figura 36

Elevación y distancia entre Estación base y Transmisor LoRa



Elaboración propia



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROTOTIPO DE MONITOREO

La figura 38 ilustra el producto final de la creación y ejecución del modelo del sistema de vigilancia de incendios en los campos de pasto, juncos y totorales en la provincia de Puno, abarcando tanto el aspecto hardware como el software. En lo que respecta al hardware, se exhibe la construcción y ejecución del modelo, mientras que, en el software, se presenta la codificación correspondiente. Este logro ha permitido supervisar las variables de temperatura, humedad, presencia de humo e iluminación, empleando dispositivos como Arduino y el TTGO LoRa32 OLED V1, Las magnitudes empleadas en el receptor LoRa comprenden la temperatura, la humedad y la detección de humo. No obstante, se incorporó un sensor de luz adicional, el cual se conectó a un dispositivo Arduino. Esto se debió a que el mencionado sensor opera mediante la tecnología I2C, la cual es incompatible con la arquitectura del TTGO LoRa32 OLED, ya que estas plataformas presentan diferencias sustanciales.

Figura 37

Monitoreo de las variables de temperatura, humedad, humo y luz



```
new | Arduino IDE 2.2.1
Editar Sketch Herramientas Ayuda
TTGO LoRa32-OLED
emisornew.ino
91 // Enviar paquete a TTGO Slave
92 LoRa.beginPacket();
93 LoRa.print("T = ");
94 LoRa.print(Temperature);
95 LoRa.print(" ");
96 LoRa.print("H = ");
97 LoRa.print(Humidity);
98 LoRa.println(" ");
99 LoRa.print("Smoke= ");
100 LoRa.print(concentration);
101 LoRa.println(" ");
102 LoRa.endPacket();
103
Salida Monitor Serie x
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'TTGO LoRa32-OLED' a 'COM9')
16:04:27.742 -> Humidity 38.00
16:04:27.742 -> Temperature 20.20
16:04:27.742 -> Analog Value: 0
16:04:27.742 -> Smoke Concentration: 0.00
16:04:27.742 -> 27
16:04:29.392 -> Humidity 37.00
16:04:29.392 -> Temperature 20.20
16:04:29.392 -> Analog Value: 0
16:04:29.392 -> Smoke Concentration: 0.00
16:04:29.392 -> 28
16:04:31.496 -> Humidity 37.00
16:04:31.496 -> Temperature 20.20
16:04:31.496 -> Analog Value: 0
16:04:31.496 -> Smoke Concentration: 0.00
16:04:31.496 -> 29
```

Elaboración Propia

4.2. RESULTADOS PARA EL REGISTRO DE LOS SENSORES APLICADOS

Con la finalidad de cumplir el objetivo general y específico del proyecto de investigación procederemos a recaudar información en tiempo real del día 16 de septiembre del 2023 para lo cual mostrara el monitor serial del software arduino IDE y lo

ilustraremos en un diagrama estadístico dichas variables de temperatura, humedad, humo y luz.

4.2.1. Resultados en Humedad

Se realizó la prueba desde las 10:00am hasta las 13:00pm donde se pudo recopilar la información de los sensores en la siguiente tabla:

Tabla 8

Datos de Humedad

16/09/2023	
Hora	Humedad
10:00:00	33
10:08:00	31
10:12:00	32
se puede ver en Anexos	
12:50:00	20
12:55:00	22
13:00	23

Elaboración Propia.

Seguidamente hallamos la humedad Máxima, Mínima, Media, Moda, Mediana y Rango de nuestros datos se puede visualizar en la siguiente tabla:

Tabla 9

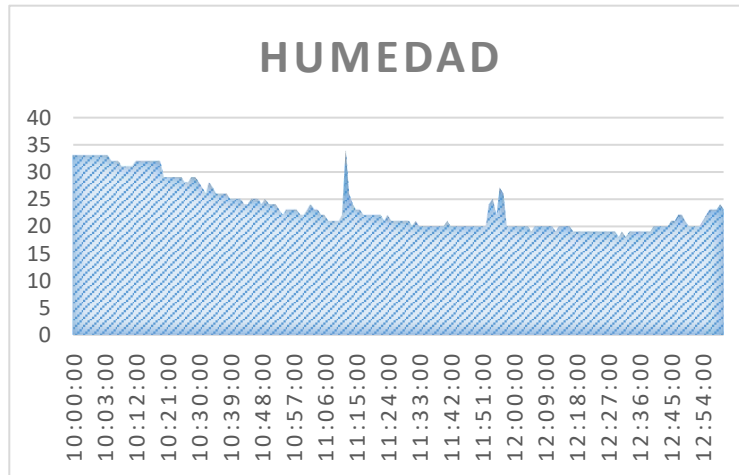
Datos Estadísticos de Humedad

16/09/2023	
Humedad	
Máximo	34
Mínimo	18
Media	23.48128342
Moda	20
Mediana	22
Rango	16

Elaboración Propia

Gráficos 1

Gráfico de Humedad



Elaboración Propia

4.2.2. Resultado de Temperatura

Se realizó la prueba desde las 10:00am hasta las 13:00pm donde se pudo recopilar la información de los sensores en la siguiente tabla:

Tabla 10

Datos de Temperatura

16/09/2023	
Hora	Temperatura C°
10:00:00	15.2
10:08:00	14.9
10:12:00	15.2
se puede ver en Anexos	
12:50:00	17.8
12:55:00	18.2
13:00	18.6

Elaboración Propia

Seguidamente hallamos la humedad Máxima, Mínima, Media, Moda, Mediana y Rango de nuestros datos se puede visualizar en la siguiente tabla:

Tabla 11

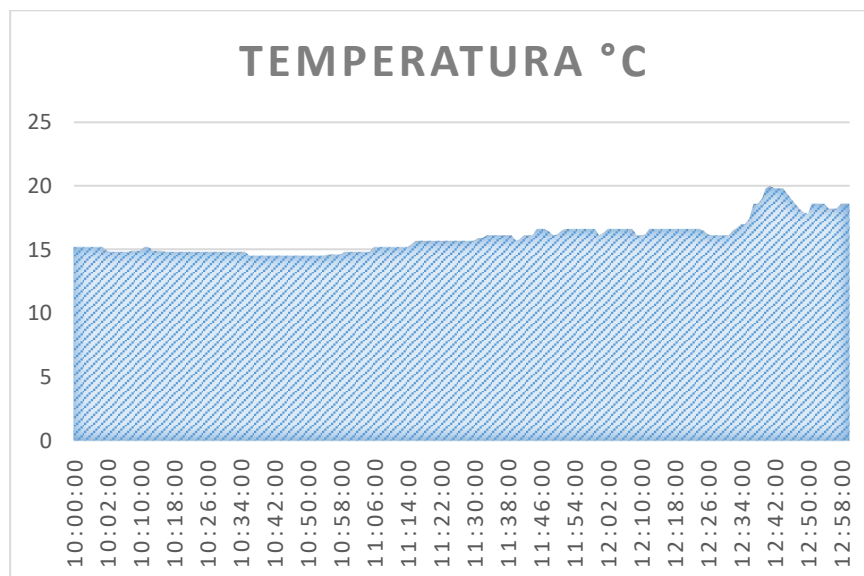
Datos Estadísticos de Temperatura

16/09/2023	
Temperatura C°	
Máximo	20
Mínimo	14.5
Media	15.964171
Moda	14.8
Mediana	15.7
Rango	5.5

Elaboración Propia

Gráficos 2

Gráfico de Temperatura



Elaboración Propia

4.2.3. Resultados de Humo

Se realizó la prueba desde las 10:00am hasta las 13:00pm donde se pudo recopilar la información de los sensores en la siguiente tabla:



Tabla 12

Datos de Humo

16/09/2023	
Hora	Humo(ppm)
10:00:00	0
10:13:00	13
10:20:00	0
se puede ver en Anexos	
12:41:00	12
12:55:00	0
13:00:00	0

Elaboración Propia

Seguidamente hallamos el humo Máxima, Mínima, Media, Moda, Mediana y Rango de nuestros datos se puede visualizar en la siguiente tabla:

Tabla 13

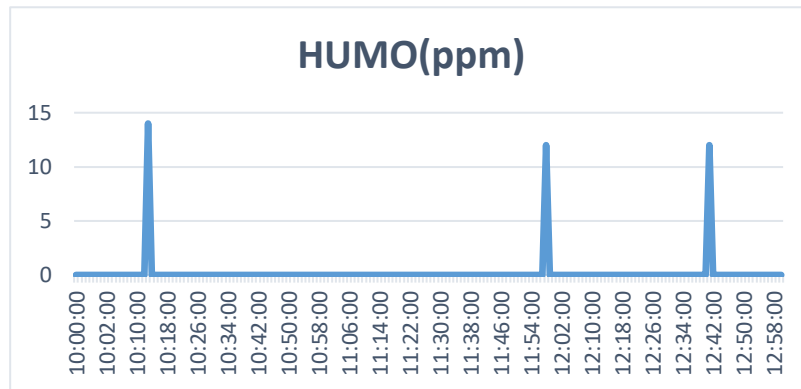
Datos estadísticos de Humo

16/09/2023	
	Humo(ppm)
Máximo	14
Mínimo	0
Media	0.2032086
Moda	0
Mediana	0
Rango	14

Elaboración Propia

Gráficos 3

Gráfico de Humo



Elaboración Propia

4.2.4. Resultados de Luz

El siguiente sensor TSL2561 es de suma importancia ya que nos el nivel de luminosidad del ambiente, es muy importante para la detección de incendios en tal caso lo programamos en arduino ya que la infraestructura es diferente al TTGO LoRa32-OLED, de lo cual de la misma manera como en el anterior caso se realizó la prueba desde las 10:00am hasta las 13:00pm donde se pudo visualizar de cómo actúan este sensor se puede visualizar en la tabla:

Tabla 14

Datos de Luminosidad

16/09/2023	
Hora	Luz(lux)
10:00:00	1041
10:08:00	916
10:12:00	1017
se puede ver en Anexos	
12:50:00	945
12:55:00	939
13:00	959

Elaboración Propia.

Seguidamente hallamos nivel de Luz Máxima, Mínima, Media, Moda,

Mediana y Rango de nuestros datos se puede visualizar en la siguiente tabla:

Tabla 15

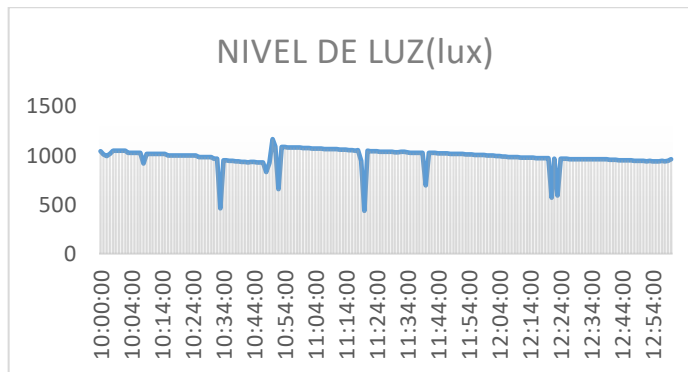
Datos estadísticos de luminosidad

16/09/2023	
Luz(lux)	
Máximo	1165
Mínimo	436
Media	985.6791444
Moda	1001
Mediana	1001
Rango	729

Elaboración Propia

Gráficos 4

Gráfico de Nivel de Luz(lux)



```
sensordeLuz | Arduino IDE 2.2.1
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
Arduino Uno
sensordeLuz.ino
23 Serial.print("Sensor:
Salida Monitor Serie x
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de /Ardu
Sensor: 7512561
Driver Ver: 1
Unique ID: 12345
Max Value: 17000.00 lux
Min Value: 1.00 lux
Resolution: 1.00 lux

Nivel de Luz: 1041.00 lux
Nivel de Luz: 1008.00 lux
Nivel de Luz: 993.00 lux
Nivel de Luz: 1017.00 lux
Nivel de Luz: 1050.00 lux
Nivel de Luz: 1050.00 lux
Nivel de Luz: 1050.00 lux
Nivel de Luz: 1050.00 lux
Nivel de Luz: 1050.00 lux
Nivel de Luz: 1050.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 916.00 lux
Nivel de Luz: 1017.00 lux
Nivel de Luz: 1017.00 lux
```

Elaboración Propia



4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se evidencia que los antecedentes proporcionados por Azuay et al. (2021) y Sagua (2020) respaldan la elección de la tecnología LoRaWAN para la transmisión de datos ambientales en nuestros pastizales de Puno. Sus experiencias demuestran que LoRa es eficaz en aplicaciones similares, ya sea para la detección de incendios forestales o el monitoreo meteorológico. Además, los hallazgos de Guamán-Quinche et al. (2016) enfatizan la importancia de la disposición estratégica de nodos sensores, un aspecto clave en nuestro diseño. Por último, el estudio de Rubio(2022) valida la utilidad de la tecnología LoRaWAN en la monitorización de condiciones ambientales, lo que es relevante para la detección de incendios en pastizales.

Los autores respaldan la viabilidad de nuestra investigación, confirmando que LoRaWAN es una tecnología adecuada para la detección y prevención de incendios en áreas de difícil acceso como los pastizales de Puno, al tiempo que enfatizan la importancia de la disposición estratégica de sensores y la transmisión en tiempo real según la tesis de (Sagua, 2020), para una respuesta efectiva contra incendios.



V. CONCLUSIONES

En esta tesis se diseñó un sistema de monitoreo con sensores de redes Inalámbricas con tecnología LoRa WAN contra incendios en los pastizales en el distrito de Puno, A través de nuestros resultados podemos afirmar que hemos alcanzado con éxito los objetivos propuestos.

Se creó un sistema de detección de incendios en área de pastizales y totorales utilizando tecnología de redes de sensores Inalámbricos, ya que en este proyecto se implementó un enlace de punto a punto entre el transmisor y el receptor. Esto significa que hemos establecido una comunicación efectiva entre dos dispositivos TTGO LoRa32 OLED, permitiendo la transmisión de datos en tiempo real desde el transmisor hacia el receptor o estación base. Esto es fundamental para nuestro sistema de monitoreo, ya que permite la recolección y visualización continua de datos cruciales.

En esta tesis se diseñó una red de sensores y se recaudó información en tiempo real, hemos logrado con éxito la visualización en tiempo real de variables críticas, como la temperatura, la humedad, Luz y CO₂, en el receptor. Esto significa que ahora podemos monitorear estas variables desde la estación base, lo que nos brinda la capacidad de detectar y responder rápidamente a cualquier cambio en las condiciones ambientales, especialmente en relación con la posible ocurrencia.



VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda explorar sensores adicionales, aunque hemos tenido éxito en la implementación de sensores de temperatura, humedad y CO₂, es importante explorar la posibilidad de integrar otros sensores que puedan proporcionar información adicional y útil para la detección y prevención de incendios. Sensores de detección de gas, sensores de viento y sensores de nivel de agua podrían ser considerados en futuras iteraciones del proyecto para obtener una imagen más completa de las condiciones ambientales.

Se recomienda la optimización de la programación ya que desempeña un papel crítico en el funcionamiento de nuestro sistema. Se recomienda continuar optimizando y mejorando el código para garantizar una comunicación eficiente y confiable entre el transmisor y el receptor. Además, explorar el uso de algoritmos avanzados para el procesamiento de datos podría llevar a una detección de incendios más precisa.

Se recomienda considerar versiones más recientes de la placa TTGO LoRa32, Como mencionamos, utilizar versiones más recientes del hardware TTGO LoRa32 OLED puede ser beneficioso. Estas versiones suelen tener más memoria y características mejoradas, lo que facilita la implementación y ampliación de funcionalidades en futuros proyectos.

Se recomienda uso de antena unidireccional ya que es fundamental destacar la importancia de conectar una antena unidireccional a los dispositivos TTGO LoRa32 OLED. Esto no solo mejora el alcance de la comunicación, sino que también evita el riesgo de dañar el microcontrolador ESP32 debido a la reflexión de la señal. Recomendaría enfáticamente que todos los dispositivos utilicen una antena unidireccional como parte de las buenas prácticas de seguridad y rendimiento.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 2CIGroup. (2021). *Conceptos de actualidad: LoRa y LoRaWan*. Canvision, Milesight.
<https://www.2cigroup.com/es/conceptos-de-actualidad-lora-y-lorawan/>
- Andina. (2023). *Puno: incendio de totorales en el lago Titicaca amenaza a las islas flotantes de los Uros*. 27 de Septiembre 2023. andina.pe/agencia/noticia-puno-incendio-totorales-el-lago-titicaca-amenaza-a-las-islas-flotantes-los-uros-956891.aspx
- Arduino. (2023). *arduino.cc*. <https://www.arduino.cc/>
- Azuay, U. D. E. L., Tecnología, F. D. E. C. Y., & Electrónica, E. D. E. I. (2021). Implementación de un Sistema de Monitoreo y Posicionamiento Geográfico para la Prevención de Incendios Forestales. *Universidad Del Uzuay*.
- Bertoletti, P. (2019). *Proyectos con ESP32 y LoRa*. Sao Paulo: Instituto Newton C Braga, 237. <https://es.scribd.com/book/429187351/Proyectos-com-ESP32-y-LoRa>
- Bryan, A., Villamar, C., Di, A., & Marlon, L. (2017). *Diseño De Un Sistema De Detección Temprana De Incendios Forestales Utilizando Redes De Sensores Inalámbricos (Wsn), Implementados Con Hardware Y Software Libre*. 1–139.
- Burbano Ordoñez, C. Y. (2017). Implementación de una red de sensores inalámbricos LPWAN mediante módulos LoRa para el monitoreo de la calidad del agua en 2 ríos. *Facultad De Ingeniería Ingeniería Electrónica, 1*, 86.
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6433/1/BurbanoOrdoñezCristianYamith2017.pdf>
- Cajas, K. A. (2022). *Redes de sensores inalámbricos para IoT, Automatización de redes*



- Inalambricas de sensores. *Escuela Politécnica Nacional, Quito*.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22656>
- Campaña, S. (2019). *Redes de Sensores Inalámbricas(WSN) Caso de Aplicacion*.
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/3191>
- Campos, F. (2020). *Gateway LoRaWAN: el elemento clave de la red*.
<https://www.m2mlogitek.com/gateway-lorawan-el-elemento-clave-de-la-red/>
- Carrillo, M. V. (2021). Introducción de Arduino. *Publicación Semestral*, 9(17), 4–8.
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/issue/archive>
- Guamán-Quinche, J., Guamán-Quinche, R., Torres-Carrión, H., & Figueroa-Díaz, R. (2016). *Diseño de una red de sensores para la detección y protección de incendios forestales*. 227–236. <https://www.semanticscholar.org/paper/Diseño-de-una-red-de-sensores-para-la-detección-y-Quinche-Quinche/f400655becff330c5196231228dc453c557587a7>
- Herrera Herbert, J. (2022). *Concepción, diseño e ingeniería de un proyecto en minería. Concepción, Diseño e Ingeniería de Un Proyecto En Minería*.
<https://doi.org/10.20868/upm.book.70259>
- Kosanke, R. M. (2019). *BENCHMARK DE SELECCIÓN DE SENSORES PARA UNA WSN DE RECOLECCION DE DATOS PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS FORESTALES*.
- LaRepublica. (2022). *Puno: Defensoría del Pueblo recuerda que la quema de pastizales es un delito ambiental penado*. 14 Octubre 2022.
<https://larepublica.pe/sociedad/2022/10/14/puno-juliaca-defensoria-del-pueblo-recuerda-que-la-quema-de-pastizales-es-un-delito-ambiental-penado-lrsd>



- LilyGO. (2023). *LoRa32 V1.0*. <https://www.lilygo.cc/products/lora32-v1-0-lora-868mhz-915mhz>
- Mañay Chochos, E. D., Chicaiza Yugcha, O. F., Orozco Manobanda, I. A., Chilibingua, M. D., Martínez Guamán, C. J., & Guzmán Paillacho, C. A. (2022). Diseño de una red LoRa de bajo costo para el monitoreo del sector agrícola. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 104–120.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3063
- Olivares, J. (2020). Estudio sobre las características del protocolo de transmisión de LoRa. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 1(9), 47.
- Pérez-Trujillo, C. E., Galicia-Santos, L. M., Leon-Paredes, R., Cárdenas-Valdez, J. R., & Calvillo-Téllez, A. (2022). Cobertura de la claridad de Fresnel en LoRa IoT. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 10(Especial6), 134–138. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iespecial6.9211>
- QUISPE ROBLES, R. A., & CAMAYO HUARANCCA, C. E. (2019). Diseño E Implementación De Un Sistema De Riego Basado En Internet De Las Cosas Aplicando Tecnologías Lpwan En La Irrigación Majes-Siguas I – El Pedregal – Arequipa. *Tesis*, 102.
- Robles, K. J. Q. (2021). *Diseño E Implementación De Un Sistema Comunicacion LORAWAN para la localizacion de vicuñas en la comunidad Chimpa Jilahuata-Azángaro-Azángaro-Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Rubio, J. E. H. (2022). *tecnología IoT para determinar el comportamiento de las variables ambientales en la avicultura Implementation of a monitoring and control system with IoT technology to determine the behavior of environmental variables*



in poultry farming Introducci3n Los s. 10, 30–41.

<https://doi.org/10.17081/invinno.10.1.5016>

Sagua, E. V. (2020). Dise1o E Implementaci3n Del Prototipo De Una Comunicaci3n Lora Para El Monitoreo Meteorol3gico En La Bahía Del Lago Titicaca En La Ciudad De Puno. *Tesis*, 176.

Sampieri et al, R. H. (2014). *Metodologia de la Investigacion* (McGraw Hill (ed.); SEXTA). 26 Agosto 2014. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2. Hernandez, Fernandez y Baptista-Metodología Investigacion Cientifica 6ta ed.pdf>

SERFOR. (2018, December 17). PLAN DE PREVENCI3N Y REDUCCI3N DE RIESGOS DE INCENDIOS FORESTALES. *17 de Diciembre 2018, 55.*
<http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/plan-de-prevencion-y-reduccion-de-riesgos-de-incendios-forestales.pdf>

SiarPuno. (2019). *Incendios forestales y legislaci3n forestal y de fauna silvestre*. 2 Septiembre 2019. <https://siar.minam.gob.pe/puno/documentos/incendios-forestales-legislacion-forestal-fauna-silvestre>

Vargas, J. (2022). *Conceptos t3cnicos b3sicos que te ayudarán a entender LoRa y LoRaWAN (Low Power Wide Area Network) en pocos minutos.*
<https://www.m2mlogitek.com/conceptos-tecnicos-basicos-que-te-ayudaran-a-entender-lora-y-lorawan-low-power-wide-area-network-en-pocos-minutos/>

Wikipedia. (2022). *Nodo Sensor, Red de sensores.*

https://es.wikipedia.org/wiki/Nodo_sensor

ANEXOS

ANEXO 1

Variables de temperatura, humedad, luz y humo

```
emisomew.ino
91 // Enviar paquete a TTGO Slave
92 LoRa.beginPacket();
93 LoRa.print("T = ");
94 LoRa.print(Temperature);
95 LoRa.print(" ");
96 LoRa.print("H = ");
97 LoRa.print(Humidity);
98 LoRa.println(" ");
99 LoRa.print("Smoke = ");
100 LoRa.print(concentration);
101 LoRa.println(" ");
102 LoRa.endPacket();
103

Salida Monitor Serie x
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'TTGO LoRa32-OLED' a 'COM9')
6:04:27.742 -> Humidity 38.00
6:04:27.742 -> Temperature 20.20
6:04:27.742 -> Analog Value: 0
6:04:27.742 -> Smoke Concentration: 0.00
6:04:27.742 -> 27
6:04:29.392 -> Humidity 37.00
6:04:29.392 -> Temperature 20.20
6:04:29.392 -> Analog Value: 0
6:04:29.392 -> Smoke Concentration: 0.00
6:04:29.392 -> 28
6:04:31.496 -> Humidity 37.00
6:04:31.496 -> Temperature 20.20
6:04:31.496 -> Analog Value: 0
6:04:31.496 -> Smoke Concentration: 0.00
6:04:31.496 -> 29

sensordeLuz.ino
23 Serial.print("Sensor:
Salida Monitor Serie x
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'Ardu
Sensor: TSL2561
Driver Ver: 1
Unique ID: 12345
Max Value: 17000.00 lux
Min Value: 1.00 lux
Resolution: 1.00 lux

Nivel de Luz: 1041.00 lux
Nivel de Luz: 1008.00 lux
Nivel de Luz: 993.00 lux
Nivel de Luz: 1017.00 lux
Nivel de Luz: 1050.00 lux
Nivel de Luz: 1050.00 lux
Nivel de Luz: 1050.00 lux
Nivel de Luz: 1050.00 lux
Nivel de Luz: 1050.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 1024.00 lux
Nivel de Luz: 916.00 lux
Nivel de Luz: 1017.00 lux
Nivel de Luz: 1017.00 lux
```

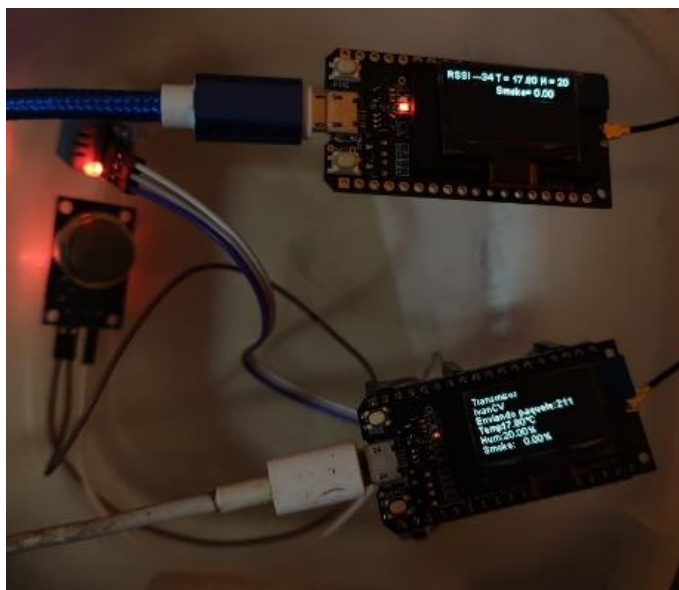
Elaboración Propia

ANEXO 2

Transmisor y Receptor LoRa

Figura 38

Transmisor y Receptor LoRa



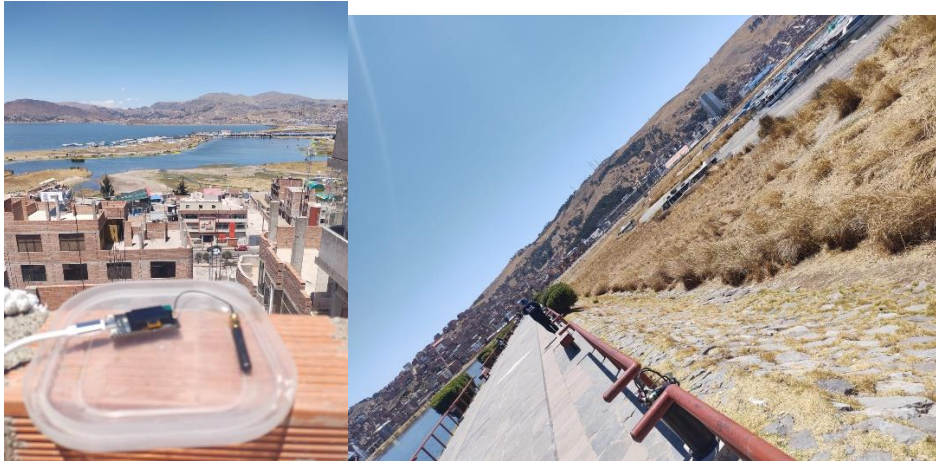
Elaboración propia

ANEXO 3

Visualización del Monitoreo contra incendios

Figura 39

Visualización del monitoreo contra incendios de pastizales



Elaboración propia

ANEXO 4

Datasheet de los microcontroladores y sensores

Figura 40

Pines GPIO Lora32 V1

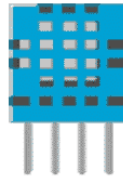
Boards' pins

Name	V1.0	V1.2(T-Fox)	V1.6	V2.0
OLED RST	16	N/A	N/A	N/A
OLED SDA	4	21	21	21
OLED SCL	15	22	22	22
SDCard CS	N/A	N/A	13	13
SDCard MOSI	N/A	N/A	15	15
SDCard MISO	N/A	N/A	2	2
SDCard SCLK	N/A	N/A	14	14
DS3231 SDA	N/A	21	N/A	N/A
DS3231 SCL	N/A	22	N/A	N/A
LORA MOSI	27	27	27	27
LORA MISO	19	19	19	19
LORA SCLK	5	5	5	5
LORA CS	18	18	18	18
LORA RST	14	23	23	23
LORA DIO0	26	26	26	26

Elaboración propia

Figura 41

Especificaciones DHT11



DHT11	
Operating Voltage	3 to 5V
Max Operating Current	2.5mA max
Temperature Range	0-50°C / ± 2°C
Humidity Range	20-80% / 5%
Sampling Rate	1 Hz (reading every second)
Advantage	low cost

Elaboración propia

Figura 42

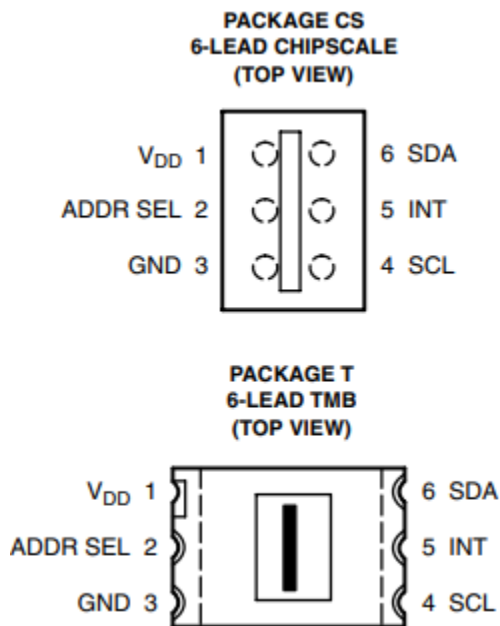
Especificaciones MQ-2

Technical Data			
Model No.		MQ-2	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		Combustible gas and smoke	
Concentration		300-10000ppm (Combustible gas)	
Circuit	Loop Voltage	V_C	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	V_H	$5.0V \pm 0.2V$ AC or DC
	Load Resistance	R_L	Adjustable
Character	Heater Resistance	R_H	$31\Omega \pm 3\Omega$ Room Tem.
	Heater consumption	P_H	$\leq 900mW$
	Sensing Resistance	R_S	$2K\Omega - 20K\Omega$ (in 2000ppm C_3H_8)
	Sensitivity	S	$R_S(\text{in air})/R_S(1000ppm \text{ isobutane}) \geq 5$
	Slope	α	$\leq 0.6(R_{5000ppm}/R_{3000ppm} CH_4)$
Condition	Tem. Humidity	$20 \pm 265\% \pm 5\%RH$	
	Standard test circuit	$V_C: 5.0V \pm 0.1V$ $V_H: 5.0V \pm 0.1V$	
	Preheat time	Over 48 hours	

Elaboración propia

Figura 43

Salidas TSL2561



Elaboración propia

ANEXO 5

Código Transmisor LoRa

```
1 #include <Wire.h>
2 #include "SSD1306.h"
3 #include "DHT.h"
4 #include <LoRa.h>
5 #include <SPI.h> // Comunicación SPI
6
7 #define SCK 5 // GPIO5 -- SX1278's SCK
8 #define MISO 19 // GPIO19 -- SX1278's MISO
9 #define MOSI 27 // GPIO27 -- SX1278's MOSI
10 #define SS 18 // GPIO18 -- SX1278's CS
11 #define RST 14 // GPIO14 -- SX1278's RESET
12 #define DI0 26 // GPIO26 -- SX1278's IRQ(Interrupt Request)
13 #define BAND 915E6
14
15 unsigned int counter = 0;
16
17 SSD1306 display(0x3c, 4, 15);
18
19 String rssi = "RSSI --";
20 String packSize = "--";
21 String packet ;
22
23
24 #define DHTPIN 12
25 #define DHTTYPE DHT11
26 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
27
28 const int MQ2_PIN = 34; // Pin analógico donde está conectado el sensor MQ-2
```




```
30 void setup() {
31     pinMode(16, OUTPUT);
32     digitalWrite(16, LOW);
33     delay(50);
34     digitalWrite(16, HIGH);
35
36     Serial.begin(115200);
37     dht.begin();
38
39     while (!Serial);
40     Serial.println();
41     Serial.println("LoRa Transmisor");
42     SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);
43     LoRa.setPins(SS, RST, DI0);
44     if (!LoRa.begin(915E6)) {
45         Serial.println("Starting LoRa failed!");
46         while (1);
47     }
48     Serial.println("iniciando Transmision ");
49     display.init();
50     display.flipScreenVertically();
51     display.setFont(ArialMT_Plain_10);
52 }
53
54 void loop() {
55     float Humidity = dht.readHumidity();
56     float Temperature = dht.readTemperature();
57
```

```
58     int sensorValue = analogRead(MQ2_PIN);
59     float concentration = map(sensorValue, 0, 1023, 0, 100);
60
61     Serial.print("Humidity ");
62     Serial.println(Humidity);
63     Serial.print("Temperature ");
64     Serial.println(Temperature);
65
66     Serial.print("Analog Value: ");
67     Serial.println(sensorValue);
68
69     Serial.print("Smoke Concentration: ");
70     Serial.println(concentration);
71
72     display.clear();
73
74     display.setFont(ArialMT_Plain_10);
75     display.setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
76     display.drawString(0, 0, "Transmisor");
77     display.drawString(0, 10, "IvanCV");
78
79     display.drawString(0, 20, "Enviando paquete: ");
80     display.drawString(90, 20, String(counter));
81     Serial.println(String(counter));
82
```



```
83   display.drawString(0, 30, "Temp:");
84   display.drawString(25, 30, String(Temperature) + "°C");
85   display.drawString(0, 40, "Hum:");
86   display.drawString(25, 40, String(Humidity) + "%");
87   display.drawString(0, 50, "Smoke:");
88   display.drawString(45, 50, String(concentration) + "%");
89   display.display();
90
91   // Enviar paquete a TTGO Slave
92   LoRa.beginPacket();
93   LoRa.print("T = ");
94   LoRa.print(Temperature);
95   LoRa.print(" ");
96   LoRa.print("H = ");
97   LoRa.print(Humidity);
98   LoRa.println(" ");
99   LoRa.print("Smoke= ");
100  LoRa.print(concentration);
101  LoRa.println(" ");
102  LoRa.endPacket();
103
104  counter++;
105
106  digitalWrite(2, HIGH);
107  delay(1000);
108  digitalWrite(2, LOW);
109  delay(1000);
110  display.display();
```

ANEXO 6

Código Receptor LoRa

```
1  #include <SPI.h>
2  #include <LoRa.h>
3  #include <Wire.h>
4  #include "SSD1306.h"
5
6  #define SCK 5 // GPIO5 -- SX1278's SCK
7  #define MISO 19 // GPIO19 -- SX1278's MISnO
8  #define MOSI 27 // GPIO27 -- SX1278's MOSI
9  #define SS 18 // GPIO18 -- SX1278's CS
10 #define RST 14 // GPIO14 -- SX1278's RESET
11 #define DI0 26 // GPIO26 -- SX1278's IRQ(Interrupt Reques
12 #define BAND 915E6
13
14 unsigned int counter = 0;
15 SSD1306 display(0x3c, 4, 15);
16 String rssi = "RSSI --";
17 String packSize = "--";
18 String packet;
```



```
20 void setup() {
21     Serial.begin(115200);
22     while (!Serial);
23     pinMode(16, OUTPUT);
24     pinMode(2, OUTPUT);
25     digitalWrite(16, LOW);
26     delay(50);
27     digitalWrite(16, HIGH);
28     Serial.begin(115200);
29     while (!Serial);
30     Serial.println();
31     Serial.println("LoRa Receiver");
32     SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);
33     LoRa.setPins(SS, RST, DI0);
34     if (!LoRa.begin(915E6)) {
35         Serial.println("Starting LoRa failed!");
36         while (1);
37     }
38     Serial.println("init ok");
39     display.init();
40     display.flipScreenVertically();
41     display.setFont(ArialMT_Plain_10);
42     delay(1500);
43 }
44
45 ..
46 void loop() {
47     int packetSize = LoRa.parsePacket();
48     if (packetSize) {
49         Serial.print("Rx ");
50         while (LoRa.available()) {
51             char c = LoRa.read();
52             Serial.print(c);
53             packet += c;
54         }
55         Serial.print(" RSSI ");
56         Serial.println(LoRa.packetRssi());
57         display.clear();
58         display.setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
59         display.setFont(ArialMT_Plain_10);
60         display.drawString(0, 0, rssi + String(LoRa.packetRssi()));
61         display.drawString(50, 0, packet);
62         display.display();
63         Serial.println(packet);
64         packet = "";
65         display.display();
66         digitalWrite(2, HIGH);
67         delay(1000);
68         digitalWrite(2, LOW);
69         delay(1000);
70     }
71 }
```

ANEXO 7

Código Prueba contador Emisor

```
1 #include <LoRa.h>
2 #include <SPI.h>
3
4 #include <Wire.h>
5 #include <Adafruit_GFX.h>
6 #include <Adafruit_SSD1306.h>
7 //Debemos definir los pines que se utilizarán por el módulo LoRa
8 #define SCK 5
9 #define MISO 19
10 #define MOSI 27
11 #define SS 18
12 #define RST 14
13 #define DI00 26
14 //Aquí definimos una frecuencia de operación según nuestra ubicación. 433E6 para Asia, 866E6 para Europa, 915E6 para América
15 #define BAND 915E6
16 //Definimos los pines necesarios para conectar con pantalla OLED
17 #define ANCHOPANTALLA 128 // El ancho de la pantalla en pixeles es de 128px
18 #define ALTOPANTALLA 64 // El ancho de la pantalla en pixeles es de 64px
19 #define OLED_SDA 4
20 #define OLED_SCL 15
21 #define OLED_RST 16
22
23 int Contador = 0; //Haremos un contador de paquetes enviados
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
```

```
71 //Para mandar paquete al LoRa receptor
72 LoRa.beginPacket();//Inicia protocolo
73 LoRa.print( Contador);//Manda cuenta actual
74 LoRa.endPacket();//Fin de paquete enviado
75
76 display.clearDisplay();//Limpia pantalla
77 display.setCursor(0,0);//Posicionamos en siguiente renglÃ³n
78 display.setTextSize(1);//TamaÃ±o de fuente a 1 punto
79 display.println("Transmisor LoRa");//
80 display.setCursor(0,20);
81 display.print("Edwin Ivan Catari V.");//Mensaje de confirmaciÃ³n
82 display.setCursor(0,30);
83 display.print("Paquete LoRa enviado.");//Mensaje de confirmaciÃ³n
84 display.setCursor(0,50);
85 display.print(" Contador:");//Mensaje
86 display.setCursor(80,50);
87 display.print( Contador);//La cuenta actual que se envÃ­a
88 display.display();
89
90 Contador++;
91
92 delay(1500);//Esperamos 10 segundos entre cada envÃ­o
93
```

ANEXO 8

Prueba Contador Receptor

```
1 #include <SPI.h>
2 #include <LoRa.h>
3 //Libraries for OLED Display
4 #include <Wire.h>
5 #include <Adafruit_GFX.h>
6 #include <Adafruit_SSD1306.h>
7 //define the pins used by the LoRa transceiver module
8 #define SCK 5
9 #define MISO 19
10 #define MOSI 27
11 #define SS 18
12 #define RST 14
13 #define DIO0 26
14 //433E6 for Asia
15 //866E6 for Europe
16 //915E6 for North America
17 #define BAND 915E6
18 //OLED pins
19 #define OLED_SDA 4
20 #define OLED_SCL 15
21 #define OLED_RST 16
22 #define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
23 #define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
24
25 Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RST);
26
27 String LoRaData;
```



```
28
29 void setup() {
30     //initialize Serial Monitor
31     Serial.begin(115200);
32
33     //reset OLED display via software
34     pinMode(OLED_RST, OUTPUT);
35     digitalWrite(OLED_RST, LOW);
36     delay(20);
37     digitalWrite(OLED_RST, HIGH);
38
39     //initialize OLED
40     Wire.begin(OLED_SDA, OLED_SCL);
41     if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3c, false, false)) { // Address 0x3C for 128x32
42         Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
43         for(;;); // Don't proceed, loop forever
44     }
45
46     display.clearDisplay();
47     display.setTextColor(WHITE);
48     display.setTextSize(1);
49     display.setCursor(0,0);
50     display.print("LORA RECEIVER ");
51     display.display();
52
53     Serial.println("LoRa Receiver Test");
54
55     //SPI LoRa pins
56     SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);
57     //setup LoRa transceiver module
58     LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);
59
60     LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);
61
62     if (!LoRa.begin(BAND)) {
63         Serial.println("Starting LoRa failed!");
64         while (1);
65     }
66     Serial.println("LoRa Initializing OK!");
67     display.setCursor(0,10);
68     display.println("LoRa Initializing OK!");
69     display.display();
70 }
71
72 void loop() {
73     //try to parse packet
74     int packetSize = LoRa.parsePacket();
75     if (packetSize) {
76         //received a packet
77         Serial.print("Received packet ");
78
79         //read packet
80         while (LoRa.available()) {
81             LoRaData = LoRa.readString();
82             Serial.print(LoRaData);
83         }
84
85         //print RSSI of packet
86         int rssi = LoRa.packetRssi();
87         Serial.print(" with RSSI ");
88         Serial.println(rssi);
89     }
90 }
```



```
89 // Dsisplay information
90 display.clearDisplay();
91 display.setCursor(0,0);
92 display.print("RECEPTOR LORA");
93 display.setCursor(0,10);
94 display.print("EDWIN IVAN CATARI V.");
95 display.setCursor(0,20);
96 display.print("Received packet:");
97 display.setCursor(0,30);
98 display.print(LoRaData);
99 display.setCursor(0,40);
.00 display.print("RSSI:");
.01 display.setCursor(30,40);
.02 display.print(rssi);
.03 display.display();
.04 }
.05 }
.06
```

ANEXO 9

Código de los Sensores

CODIGO SENSOR HUMO

```
int Smoke;

void setup() {

  Serial.begin(9600);

}

void loop(){

  LECTURA=analogRead(A0);

  Serial.println(Smoke);

  delay(500);

}
```



CODIGO SENSOR LUZ

```
#include <Wire.h>

#include <Adafruit_Sensor.h>

#include <Adafruit_TSL2561_U.h>

Adafruit_TSL2561_Unified          tsl          =
Adafruit_TSL2561_Unified(TSL2561_ADDR_FLOAT, 12345);

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  if (!tsl.begin()) {

    Serial.println("No se pudo encontrar el sensor TSL2561. Verifica las
conexiones.");

    while (1);

  }

  // Configura la ganancia y el tiempo de integración

  tsl.enableAutoRange(true);

  tsl.setIntegrationTime(TSL2561_INTEGRATIONTIME_13MS);

  // Muestra información del sensor en el monitor serial

  sensor_t sensor;

  tsl.getSensor(&sensor);
```




```
Serial.println("-----");

Serial.print("Sensor:   "); Serial.println(sensor.name);

Serial.print("Driver Ver: "); Serial.println(sensor.version);

Serial.print("Unique ID: "); Serial.println(sensor.sensor_id);

Serial.print("Max Value:   "); Serial.print(sensor.max_value); Serial.println("
lux");

Serial.print("Min Value:   "); Serial.print(sensor.min_value); Serial.println("
lux");

Serial.print("Resolution: "); Serial.print(sensor.resolution); Serial.println("
lux");

Serial.println("-----");

Serial.println();

}

void loop() {

    sensors_event_t event;

    tsl.getEvent(&event);

    if (event.light) {

        float nivelDeLuz = event.light;

        Serial.print("Nivel de Luz: ");

        Serial.print(nivelDeLuz);
```



```
Serial.println(" lux");

} else {

Serial.println("No se pudo obtener una lectura del sensor de luz.");

}

delay(1000);

}
```

CODIGO SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

```
#include <dht.h>

dht DHT;

#define DHT11_PIN 8

void setup(){

Serial.begin(9600);

}

void loop()

{

DHT.read11(DHT11_PIN);

//TEMPERATURA//

Serial.print("Temperatura = ");

Serial.print(DHT.temperature);
```



```
Serial.println(" C");  
  
//HUMEDAD RELATIVA//  
  
Serial.print("Humedad = ");  
  
Serial.print(DHT.humidity);  
  
Serial.println(" %");  
  
delay(2000);  
  
}
```



ANEXO 10

Datos obtenidos de los sensores

HORA	HUMEDAD %	TEMPERATURA °C	HUMO(CO2)
10:00:00	33	15.2	0
10:00:00	33	15.2	0
10:00:00	33	15.2	0
10:01:00	33	15.2	0
10:01:00	33	15.2	0
10:01:00	33	15.2	0
10:02:00	33	15.2	0
10:02:00	33	15.2	0
10:02:00	33	14.9	0
10:03:00	33	14.8	0
10:04:00	33	14.8	0
10:05:00	32	14.8	0
10:06:00	32	14.8	0
10:07:00	32	14.8	0
10:08:00	31	14.9	0
10:09:00	31	14.9	0
10:10:00	31	14.9	0
10:11:00	31	15.2	0
10:12:00	32	15.2	0
10:13:00	32	14.9	14
10:14:00	32	14.9	0
10:15:00	32	14.9	0
10:16:00	32	14.8	0
10:17:00	32	14.8	0
10:18:00	32	14.8	0
10:19:00	32	14.8	0
10:20:00	29	14.8	0
10:21:00	29	14.8	0
10:22:00	29	14.8	0
10:23:00	29	14.8	0
10:24:00	29	14.8	0
10:25:00	29	14.8	0
10:26:00	28	14.8	0
10:27:00	28	14.8	0
10:28:00	29	14.8	0
10:29:00	29	14.8	0
10:30:00	28	14.8	0
10:31:00	27	14.8	0
10:32:00	26	14.8	0



10:33:00	28	14.8	0
10:34:00	27	14.8	0
10:35:00	26	14.8	0
10:36:00	26	14.5	0
10:37:00	26	14.5	0
10:38:00	26	14.5	0
10:39:00	25	14.5	0
10:40:00	25	14.5	0
10:41:00	25	14.5	0
10:42:00	25	14.5	0
10:43:00	24	14.5	0
10:44:00	24	14.5	0
10:45:00	25	14.5	0
10:46:00	25	14.5	0
10:47:00	25	14.5	0
10:48:00	24	14.5	0
10:49:00	25	14.5	0
10:50:00	24	14.5	0
10:51:00	24	14.5	0
10:52:00	24	14.5	0
10:53:00	23	14.5	0
10:54:00	22	14.5	0
10:55:00	23	14.6	0
10:56:00	23	14.6	0
10:57:00	23	14.6	0
10:58:00	23	14.6	0
10:59:00	22	14.8	0
11:00:00	22	14.8	0
11:01:00	23	14.8	0
11:02:00	24	14.8	0
11:03:00	23	14.8	0
11:04:00	23	14.8	0
11:05:00	22	14.8	0
11:06:00	22	15.2	0
11:07:00	21	15.2	0
11:08:00	21	15.2	0
11:09:00	21	15.2	0
11:10:00	21	15.2	0
11:11:00	22	15.2	0
11:12:00	34	15.2	0
11:13:00	26	15.2	0
11:14:00	24	15.2	0
11:15:00	23	15.4	0
11:16:00	23	15.7	0
11:17:00	22	15.7	0



11:18:00	22	15.7	0
11:19:00	22	15.7	0
11:20:00	22	15.7	0
11:21:00	22	15.7	0
11:22:00	22	15.7	0
11:23:00	21	15.7	0
11:24:00	22	15.7	0
11:25:00	21	15.7	0
11:26:00	21	15.7	0
11:27:00	21	15.7	0
11:28:00	21	15.7	0
11:29:00	21	15.7	0
11:30:00	21	15.7	0
11:31:00	20	15.9	0
11:32:00	21	15.9	0
11:33:00	20	16.1	0
11:34:00	20	16.1	0
11:35:00	20	16.1	0
11:36:00	20	16.1	0
11:37:00	20	16.1	0
11:38:00	20	16.1	0
11:39:00	20	16.1	0
11:40:00	20	15.7	0
11:41:00	21	15.8	0
11:42:00	20	16.1	0
11:43:00	20	16.1	0
11:44:00	20	16.1	0
11:45:00	20	16.6	0
11:46:00	20	16.6	0
11:47:00	20	16.6	0
11:48:00	20	16.4	0
11:49:00	20	16.1	0
11:50:00	20	16.2	0
11:51:00	20	16.5	0
11:52:00	20	16.6	0
11:53:00	24	16.6	0
11:54:00	25	16.6	0
11:55:00	22	16.6	0
11:56:00	27	16.6	0
11:57:00	26	16.6	0
11:58:00	20	16.6	12
11:59:00	20	16.6	0
12:00:00	20	16.1	0
12:01:00	20	16.3	0
12:02:00	20	16.6	0



12:03:00	20	16.6	0
12:04:00	20	16.6	0
12:05:00	19	16.6	0
12:06:00	20	16.6	0
12:07:00	20	16.6	0
12:08:00	20	16.6	0
12:09:00	20	16.1	0
12:10:00	20	16.1	0
12:11:00	20	16.2	0
12:12:00	19	16.6	0
12:13:00	20	16.6	0
12:14:00	20	16.6	0
12:15:00	20	16.6	0
12:16:00	20	16.6	0
12:17:00	19	16.6	0
12:18:00	19	16.6	0
12:19:00	19	16.6	0
12:20:00	19	16.6	0
12:21:00	19	16.6	0
12:22:00	19	16.6	0
12:23:00	19	16.6	0
12:24:00	19	16.6	0
12:25:00	19	16.5	0
12:26:00	19	16.2	0
12:27:00	19	16.1	0
12:28:00	19	16.1	0
12:29:00	19	16.1	0
12:30:00	18	16.1	0
12:31:00	19	16.1	0
12:32:00	18	16.5	0
12:33:00	19	16.7	0
12:34:00	19	17	0
12:35:00	19	17	0
12:36:00	19	17.4	0
12:37:00	19	18.6	0
12:38:00	19	18.6	0
12:39:00	19	19	0
12:40:00	20	19.8	0
12:41:00	20	20	12
12:42:00	20	19.8	0
12:43:00	20	19.8	0
12:44:00	20	19.8	0
12:45:00	21	19.4	0
12:46:00	21	19	0
12:47:00	22	18.6	0



12:48:00	22	18.2	0
12:49:00	21	17.9	0
12:50:00	20	17.8	0
12:51:00	20	18.6	0
12:52:00	20	18.6	0
12:53:00	20	18.6	0
12:54:00	21	18.6	0
12:55:00	22	18.2	0
12:56:00	23	18.2	0
12:57:00	23	18.2	0
12:58:00	23	18.6	0
12:59:00	24	18.6	0
13:00:00	23	18.6	0



Sensor: TSL2561	
Driver Ver: 1	
Unique ID: 12345	
Max Value: 17000.00 lux	
Min Value: 1.00 lux	
Resolution: 1.00 lux	
HORA	NIVEL DE LUZ
10:00:00	1041
10:00:00	1008
10:00:00	993
10:01:00	1017
10:01:00	1050
10:01:00	1050
10:02:00	1050
10:02:00	1050
10:02:00	1050
10:03:00	1024
10:04:00	1024
10:05:00	1024
10:06:00	1024
10:07:00	1024
10:08:00	916
10:09:00	1017
10:10:00	1017
10:11:00	1017
10:12:00	1017
10:13:00	1017
10:14:00	1017
10:15:00	1017
10:16:00	1001
10:17:00	1001
10:18:00	1001
10:19:00	1001
10:20:00	1001
10:21:00	1001
10:22:00	1001
10:23:00	1001
10:24:00	1001
10:25:00	1001
10:26:00	984
10:27:00	984
10:28:00	984
10:29:00	984



10:30:00	984
10:31:00	968
10:32:00	968
10:33:00	461
10:34:00	948
10:35:00	947
10:36:00	945
10:37:00	943
10:38:00	939
10:39:00	937
10:40:00	936
10:41:00	935
10:42:00	930
10:43:00	932
10:44:00	931
10:45:00	928
10:46:00	929
10:47:00	927
10:48:00	831
10:49:00	924
10:50:00	1165
10:51:00	1089
10:52:00	656
10:53:00	1085
10:54:00	1084
10:55:00	1081
10:56:00	1078
10:57:00	1078
10:58:00	1078
10:59:00	1078
11:00:00	1075
11:01:00	1073
11:02:00	1072
11:03:00	1070
11:04:00	1069
11:05:00	1067
11:06:00	1067
11:07:00	1065
11:08:00	1064
11:09:00	1062
11:10:00	1061
11:11:00	1061
11:12:00	1060
11:13:00	1058
11:14:00	1057



11:15:00	1055
11:16:00	1054
11:17:00	1047
11:18:00	1054
11:19:00	944
11:20:00	436
11:21:00	1049
11:22:00	1043
11:23:00	1043
11:24:00	1040
11:25:00	1037
11:26:00	1038
11:27:00	1037
11:28:00	1035
11:29:00	1035
11:30:00	1032
11:31:00	1033
11:32:00	1034
11:33:00	1035
11:34:00	1033
11:35:00	1028
11:36:00	1027
11:37:00	1025
11:38:00	1023
11:39:00	1023
11:40:00	695
11:41:00	1026
11:42:00	1024
11:43:00	1023
11:44:00	1021
11:45:00	1019
11:46:00	1018
11:47:00	1019
11:48:00	1015
11:49:00	1016
11:50:00	1016
11:51:00	1015
11:52:00	1013
11:53:00	1011
11:54:00	1010
11:55:00	1008
11:56:00	1005
11:57:00	1004
11:58:00	1003
11:59:00	1002



12:00:00	1001
12:01:00	999
12:02:00	996
12:03:00	994
12:04:00	993
12:05:00	989
12:06:00	987
12:07:00	983
12:08:00	982
12:09:00	980
12:10:00	981
12:11:00	979
12:12:00	979
12:13:00	977
12:14:00	976
12:15:00	975
12:16:00	973
12:17:00	973
12:18:00	972
12:19:00	970
12:20:00	970
12:21:00	569
12:22:00	968
12:23:00	589
12:24:00	964
12:25:00	966
12:26:00	965
12:27:00	963
12:28:00	963
12:29:00	961
12:30:00	961
12:31:00	962
12:32:00	959
12:33:00	962
12:34:00	959
12:35:00	960
12:36:00	958
12:37:00	958
12:38:00	958
12:39:00	958
12:40:00	956
12:41:00	956
12:42:00	954
12:43:00	952
12:44:00	951



12:45:00	950
12:46:00	948
12:47:00	947
12:48:00	945
12:49:00	946
12:50:00	945
12:51:00	943
12:52:00	941
12:53:00	942
12:54:00	940
12:55:00	939
12:56:00	938
12:57:00	945
12:58:00	941
12:59:00	943
13:00:00	959



ANEXO 11

Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo EDWIN IVAN CATARI VILCAPAZA
identificado con DNI 73810799 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, **Programa de Segunda Especialidad**, **Programa de Maestría o Doctorado**
INGENIERIA ELECTRÓNICA

informo que he elaborado el/la **Tesis** o **Trabajo de Investigación** denominada:
“ DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO CON SENSORES DE REDES INALAMBRICAS
CON TECNOLOGIA LORA WAN CONTRA INCENDIOS EN LOS PASTIZALES EN EL DISTRITO
DE PUNO 2023 ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 18 de diciembre del 2023

FIRMA (obligatoria)






Huella



ANEXO 12

Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional

		
Universidad Nacional del Altiplano Puno	Vicerrectorado de Investigación	Repositorio Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo EDWIN IVAN CATARI VILCAPAZA
identificado con DNI 73810799 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA ELECTRÓNICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO CON SENSORES DE REDES INALAMBRICAS
CON TECNOLOGIA LORA WAN CONTRA INCENDIOS EN LOS PASTIZALES EN EL DISTRITO
DE PUNO 2023 ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:


Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 18 de diciembre del 2023



FIRMA (obligatoria)



Huella