



CARRERA DE DESARROLLO DE SOFTWARE

TEMA:

**“IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA LORAWAN PARA PROMOVER EL
DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE EN CUENCA”**

AUTOR:

DANIEL GUSTAVO ARMIJOS AUCAPIÑA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
TECNÓLOGO EN DESARROLLO DE SOFTWARE**

TUTORES:

- PROF. ING. GALO CRESPO MSC.

CUENCA – ECUADOR, 2025

DERECHOS DE AUTOR

Los derechos de esta obra son irrenunciables y corresponden a su **AUTOR**, incluido sus derechos patrimoniales. El **Instituto Tecnológico Superior Particular Sudamericano** tiene licencia gratuita e intransferible sobre esta obra para uso no comercial, de necesitar uso comercial requiere autorización de su titular.

CARRERA DE DESARROLLO DE SOFTWARE

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Aprobación del Trabajo de Titulación

Doy fe que el trabajo desarrollado por el estudiante: **ARMIJOS AUCAPIÑA DANIEL GUSTAVO**, con el título “**TECNOLOGÍA SUPERIOR EN DESARROLLO DE SOFTWARE**”, cumple con los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

Atentamente,



Ing. Galo Hurtado Crespo. MSc

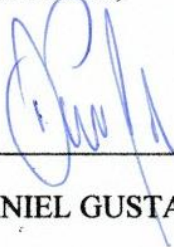
C.I 0302477690

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, **Armijos Aucapiña Daniel Gustavo** estudiante del **Instituto Tecnológico Superior Particular Sudamericano** de la ciudad de Cuenca - Ecuador, que cursó la Tecnología en **Desarrollo de Software**, declaro en forma libre y voluntaria que la presente investigación que versa sobre **“IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA LORAWAN PARA PROMOVER EL DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE EN CUENCA”** así como las expresiones vertidas en la misma, son autoría de la compareciente, quien ha realizado en base a recopilación bibliográfica, consultas de internet y consultas de campo.

En consecuencia, asumo la responsabilidad de la originalidad de la misma y el cuidado al remitirme a las fuentes bibliográficas respectivas para fundamentar el contenido expuesto.

Atentamente,



DANIEL GUSTAVO ARMIJOS AUCAPIÑA

Cédula: 0103806105

DEDICATORIA

A mi amada esposa Anita Torres, quien ha sido mi apoyo incondicional en cada paso de este camino. Su paciencia, comprensión y amor han sido la luz que me ha guiado en los momentos más desafiantes. Gracias por creer en mí incluso cuando dudaba en la decisión de volver a estudiar, por motivarme a seguir adelante y por estar a mi lado en cada sacrificio que este proceso ha requerido. Este logro también es suyo, porque sin su fortaleza y compañía, el recorrido habría sido mucho más difícil.

A mis hijas Evelyn y Danna, mi mayor fuente de inspiración y alegría. Ustedes han sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante, recordándome cada día la importancia de luchar por mis sueños. Espero que este esfuerzo sea un ejemplo para ustedes, para que siempre crean en su capacidad de alcanzar todo lo que se propongan. Sepan que, con determinación, esfuerzo y pasión, no hay meta imposible.

A mi persona, éste trabajo es el reflejo de noches de desvelo, de incontables horas de dedicación y de la firme decisión de seguir adelante. Reconozco haber aprendido de cada obstáculo y por haber convertido cada dificultad en una oportunidad de crecimiento. Hoy celebro este logro como una muestra de que el esfuerzo y la perseverancia siempre dan frutos.

AGRADECIMIENTO

A Dios, fuente infinita de sabiduría y fortaleza, por ser mi guía en este camino, darme la capacidad de superar cada obstáculo y llenar mi vida de bendiciones; sin Su presencia, este logro no habría sido posible, pues Su luz ha sido mi refugio en los momentos difíciles y mi inspiración para seguir adelante con fe y determinación. A mi hogar, el pilar fundamental en esta travesía, a mi esposa por su amor incondicional, paciencia y apoyo constante, por ser mi compañera en cada desafío y mi impulso en los momentos de duda, y a mis hijas, quienes con su alegría y ternura me han recordado cada día la importancia de la perseverancia y el esfuerzo, siendo su amor la mayor motivación para alcanzar esta meta. También expreso mi gratitud a mi tutor, cuyo conocimiento, orientación y apoyo han sido clave en la realización de esta tesis, pues valoro profundamente cada consejo y el compartir de su experiencia, lo cual ha sido fundamental para fortalecer mis habilidades y enriquecer este trabajo.

**IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA LORAWAN PARA PROMOVER EL
DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE EN CUENCA**

*Proyecto presentado para optar al título en
TECNOLOGÍA SUPERIOR EN DESARROLLO DE SOFTWARE*

Proyecto de grado presentado por:

Armijos Aucapiña Daniel Gustavo

Carrera:

Desarrollo de Software

Tutor académico:

Ing. Galo Hurtado Crespo. MSc.

Cuenca, 25 de febrero del 2025

1. INDICE

1. ÍNDICE DE TABLAS.....	4
2. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	5
3. RESUMEN.....	6
4. ABSTRACT	7
5. INTRODUCCIÓN	8
Objetivos de la Investigación.....	9
Objetivo General	10
Objetivos Específicos.....	10
Preguntas de Investigación.....	10
Justificación.....	11
6. CAPÍTULO I: PROBLEMÁTICA	15
7. CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....	16
Marco Teórico.....	16
Internet de las Cosas (IoT).....	16
LoRa.....	16
LoRaWAN	17
Principios.....	17
Heltec Automation	18
Marco Contextual.....	19
Marco Conceptual.....	21
DTH11.....	21

	2
MQ135	22
LDR	22
Antena Lora	22
Zona de Fresnel	23
Arduino.....	23
8. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	24
Enfoque Cuantitativo	24
Enfoque Experimental	25
Tipo de investigación.....	25
Instrumentos y técnicas para el levantamiento de la información	26
Documentación	26
Encuesta	26
Observación	27
Métricas	29
Diagrama de Solución.	31
Aplicación de la Metodología Design Thinking	32
Indagación.....	32
Determinación.	33
Proyección.....	34
Prototipo Low-cost.....	36
Validación Urbana y Rural.	38
9. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	40

10. CAPÍTULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	44
Descripción.....	44
Aporte.....	44
11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	45
12. CONCLUSIONES.....	46
13. RECOMENDACIONES	47
A nivel institucional.....	47
A nivel técnico	47
A nivel teórico.....	48
14. BIBLIOGRAFÍA – WEBGRAFÍA.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Componentes básicos a bajo costo.</i>	36
Tabla 2 <i>Registro de Variables en la Área Urbana</i>	40
Tabla 3 <i>Registro de variables de largo alcance o rural.</i>	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1 <i>Estructura general de la implementación LoRaWAN.</i>	13
Figura 2 <i>LoRaWAN Wifi LoRa ESP32(V3).</i>	19
Figura 3 <i>Ubicación de los dispositivos LoRaWAN.</i>	20
Figura 4 <i>Sensores aplicados al monitoreo ambiental.</i>	21
Figura 5 <i>Encuesta sobre el conocimiento de LoRaWAN</i>	27
Figura 6 <i>Diagrama de solución - Proceso de Tesis.</i>	31
Figura 7 <i>Análisis de Encuesta: Uso y Potencial de la Tecnología LoRaWAN.</i>	32
Figura 8 <i>Modelo electrónico.</i>	34
Figura 9 <i>Conexión del Dispositivo para la Red LoRaWAN</i>	35
Figura 10 <i>Implementación física del dispositivo a bajo costo.</i>	37
Figura 11 <i>Diferentes puntos de pruebas y alcance de señal LoRaWAN</i>	38
Figura 12 <i>Resumen de Variables</i>	41
Figura 13 <i>Herramientas de Monitoreo.</i>	42
Figura 14 <i>Cronograma de Actividades</i>	45

RESUMEN

Las soluciones se crean a través de la innovación explorando diversos caminos, entre ellos la tecnología, en el siguiente artículo la comunicación con LoRaWAN es objeto de estudio, en países de primer mundo se desarrolla al máximo el internet de las cosas, sin embargo, el desconocimiento tecnológico en el País Ecuatoriano, es fuente motivación para nuevas ciencias, promover una ciudad colonial como es Cuenca a ejercer técnicas de una ciudad inteligente es la propuesta. Para el proyecto se realizó pruebas de comunicación de corto y largo alcance tanto en la urbe como en los sitios rurales mediante la conectividad en función al bajo consumo energético y datos limitados, la implementación de un escenario de pruebas a bajo costo económico fueron suficientes para demostrar que los parámetros ambientales percibidos en una ubicación pueden transferirse a más de 5km de distancia por medio de una frecuencia libre de 915MHRz, la investigación y metodología Design Thinking forma parte del proyecto, sus faces llevaron a los resultados confirmando la viabilidad técnica donde se subraya la importancia de acoger la tecnología LoRaWAN promoviendo las soluciones sostenibles y accesibles.

Palabras clave: LoRaWAN, IoT, Low-Cost, Sostenibilidad, Tecnología.

ABSTRACT

Solutions are created through innovation by exploring various paths, including technology. In the following article, Communication with LoRaWAN is the object of study. In first world countries, the Internet of Things is developed to the maximum. However, the Technological ignorance in the Ecuadorian Country is a source of motivation for new sciences, promoting a colonial city such as Cuenca to exercise techniques of a smart city is the proposal. For the project, short- and long-range communication tests were carried out both in the city and in rural sites through connectivity based on low energy consumption and limited data, the implementation of a test scenario at low economic cost was sufficient to demonstrate that the environmental parameters perceived in a location can be transferred to more than 5km away through a free frequency of 915MHz, the Design Thinking Methodology is part of the project. Its phases led to the results confirming the technical feasibility where the importance is underlined. to embrace LoRaWAN technology by promoting sustainable and accessible solutions.

Key words. LoRaWAN, IoT, Low-Cost, Sustainability, Technology.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la tecnología incrementa cada año, en el caso del IoT (Internet de las Cosas) surgen dispositivos más avanzados, en cuanto a la aplicación existen desafíos a nivel mundial por enfrentar, en la ciudad de Cuenca donde se realiza el siguiente estudio, las soluciones son complejas, es el caso de LORA (Long Range). Largo alcance. La tecnología similar a la red inalámbrica wifi, bluetooth, entre otras, transporta datos concretos en distancias largas en el área de comunicaciones(Catsensors.com, 2025).

El siguiente artículo propone el estudio de Red de Área Amplia de Largo Alcance (LoRaWAN), conexión entre dispositivo, tiempo en la respuesta, tecnología que revoluciona el internet de las cosas, comunicación de largo alcance a un bajo costo e innovador por el mínimo consumo de energía(LoRa Alliance®, 2023), enfocado a los resultados en tiempo real y monitoreo constante. Favorable para estudios de IoT como beneficio al sector gubernamental, a la comunidad, a la educación, etc. y lo mejor del sistema es su operatividad sin licencias.

LoRaWAN mejora la conectividad por su estructura más compleja en seguridad y gestión de red, medicina “Los dispositivos LoRa y el protocolo LoRaWAN están desempeñando un papel fundamental para permitir que las soluciones de seguridad pública ayuden con el rastreo de contactos, garanticen el cumplimiento de la normativa sanitaria en el lugar de trabajo y aborden las necesidades de los profesionales médicos” (Rawat et al., 2020, p. 3). LoRaWAN ha demostrado ser perfectamente apto para el caso de estudio. “Utilizando las capacidades de comunicación de baja potencia y largo alcance de LoRaWAN, se desarrolló un sistema inalámbrico de detección ambiental para medir parámetros ambientales y meteorológicos” (Zhao et al., 2024, p. 9).

De acuerdo con la lectura anterior el artículo se enfoca en la implementación de una red de sensores tanto en dos puntos estratégicos urbano y rural. Para finales del año 2024 en Ecuador a efecto de los apagones(Celi, 2024), surgió la necesidad de implementar generadores eléctricos en la ciudad de Cuenca y a sus alrededores, cada motor genera una emisión de óxidos

de Azufre (SO_x), y óxidos de nitrógeno (NO_x), entre otros gases perjudiciales “Se están preparando varias limitaciones de emisiones a nivel mundial, pero hasta ahora el enfoque principal ha sido reducir las emisiones de NO_x y SO_x porque amenazan la salud humana, la vegetación y el medio ambiente” (Alvarado, 2024, p. 6-7). A causa de esta problemática se implementa una red LoRaWAN para evidenciar resultados de los efectos ambientales.

La red LoRaWAN facilita la transmisión de los datos adquiridos por los sensores por la eficiencia en algunos aspectos “LoRa se utilizó debido a su arquitectura de red autónoma, simplicidad, bajo costo, baja potencia, baja velocidad de transmisión de datos, conectividad de amplio rango y especificación de estándar abierto” (Jabbar et al., 2022, p. 22). Conforme a los estudios anteriores se instala 4 dispositivos Heltec Wifi LoRA32(V3), en el área estratégica, dos módulos Heltec en un área estratégica urbana y dos en el campo para las pruebas de largo alcance, a continuación, se realiza un cronograma para los ejercicios de conectividad. Según Burbano et al., (2023) “La investigación determinó que en zonas densamente pobladas y con un terreno irregular, se tiene un alcance efectivo de 600m con pérdidas de 171.64dB, tomando en cuenta la frecuencia de operación LORA de 915MHz” (p. 9). Sin embargo, el propósito del estudio es identificar el despliegue de la red LoRaWAN, considerando aspectos técnicos en diferentes escenarios.

En el informe No. IT-CRDS-CRDM-GR-2022-0001 (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), 2022) justifica la conectividad del servicio IoT, como es la tecnología LPWAN, por su diseño inalámbrico de largo alcance y bajo ancho de banda justificando así las normas vigentes. En la Resolución Nro. 04-02-Arcotel-2021 define el espectro para el libre uso de frecuencias como 928MHz y 2.4GHz para servicios fijos y móviles entre otras.

Objetivos de la Investigación

La tecnología LoRaWAN expresa en general el análisis de datos, el aporte académico y la práctica en varios pasos, para desarrollar el proyecto académico de titulación se debe unificar

las ideas que aborde el propósito y esencia de los objetivos también permite concretar la dirección del estudio, en consecuencia, se define los siguientes objetivos como la finalidad de investigar, estructurar, construir y proponer un desarrollo de tesis con enfoque a la sostenibilidad en la ciudad de Cuenca ,

Objetivo General

- Implementar la tecnología LoRaWAN en un sistema de conectividad de servicio esencial para promover el desarrollo urbano sostenible en Cuenca.

Objetivos Específicos

- Aplicar tecnología LoRaWAN para identificar las mejores prácticas y lecciones aprendidas al contexto urbano de Cuenca.
- Desarrollar una metodología, planificación, diseño y despliegue de una red LoRaWAN, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales que promuevan el desarrollo urbano sostenible.
- Proponer un modelo de conectividad basado en LoRaWAN que integre servicios esenciales como el monitoreo ambiental.

Preguntas de Investigación

- ¿Para qué? El proyecto de titulación se realiza con el fin de implementar una solución tecnológica basada en un escenario de pruebas con tecnología LoRaWAN para mejorar la gestión de recursos en Cuenca y promover el desarrollo sostenible.
- ¿Por qué? LoRaWAN es una tecnología creada para optimizar recursos, en aplicaciones naturales, urbanos e industriales y mejorar la calidad de vida, siendo relevante para el contexto urbano y rural de Cuenca.

- ¿Cómo se relaciona el proyecto con las prioridades de la región y del país? El proyecto está alineado con las preferencias de la ciudad de Cuenca y del País, pretende acoplarse al crecimiento inteligente urbano y a la vigilancia rural de los recursos naturales.
- ¿Qué conocimiento e información se obtendrá? Se obtendrá información en tiempo real sobre el comportamiento de la tecnología en campo, la fluctuación de los datos de origen a destino y cómo los resultados se relacionan con la información de los recursos naturales, lo que permitirá una mejor toma de decisiones.
- ¿Cuál es la finalidad que se persigue con el conocimiento que brindará el estudio? La finalidad es demostrar cómo LoRaWAN puede ser un instrumento económico y clave para desarrollar ciudades inteligentes y sostenibles, así mismo en la observación rural, mejorando la eficiencia en la gestión natural.
- ¿Cómo se socializarán los resultados? Los resultados se pueden comparecer a las entidades gubernamentales, municipalidades, organizaciones educativas, industriales, agrícola, etc. Por medio de informes de la trayectoria investigativa y publicaciones.
- ¿Cómo se utilizarán los resultados y quiénes serán los beneficiarios? Los resultados serán utilizados por la entidad local por supuesto se considere aplicar beneficios al sector urbano y rural de la ciudad mediante instituciones que aborden soluciones a los ciudadanos y mejoren las decisiones en el ámbito natural.

Justificación

El despliegue de nuevas tecnologías como es el caso de LoRaWAN es una necesidad urgente de entender su programación y sus efectos, acude a desafíos que genera el internet de las cosas en sus múltiples aplicaciones, en el sector urbano como las comunidades rurales la educación en la área tecnológica IOT es reducida en la ciudad de Cuenca, Localidad con creciente expansión urbana y con numerosos poblados, LoRaWAN supone una solución innovadora que satisface la necesidad de reunir parámetros en sectores que requieran soluciones IoT continua, eficiente y rentable. El proyecto contribuye al desarrollo sostenible,

efecto de crear un laboratorio de pruebas con simulación en tiempo real el cual favorece el acceso a parámetros necesarios como ejemplo a los ambientales que provee la toma de decisiones innovadoras y suministra una gestión ambiental más razonable. LoRaWAN, permite desplegar su aplicación a varios derivados de la comunicación IoT, además del tema ecológico, el estudio de la meteorología, al sector industrial, a la agricultura, suelo, etc.; Convierte el proyecto en un punto de referencial significativo y necesario para promover agilidad.

Crear un sistema de red para diagnosticar datos en tiempo real aplica a zonas urbanas y rurales de Cuenca, es importante porque permite anticipar el desempeño antes de recurrir a los gastos innecesarios para nuevos casos de IoT con LoRaWAN, recopilar la información en una transmisión, ayuda a detectar anomalías, colisiones entre paquetes o por lo general pérdida de señal por el ruido en el área de comunicación inalámbrica.

El resultado que pueda proporcionar el estudio de la conexión de 2 dispositivos de largo alcance, reduce el tiempo invertido en la revisión de teorías vanas sin fundamento. Los beneficios sociales de este proyecto son asequibles para la comunidad cuencana y futuras investigaciones. Al mismo tiempo la casa productora de LoRaWAN asegura el bajo consumo energético, mediante una tabla de variables se puede comparar el potencial, la efectividad autosustentable y la duración de un respaldo energético en diferentes lugares según las configuraciones dadas inclusive la seguridad de la información “Es fundamental implementar medidas sólidas de seguridad y protección de datos para mitigar estos riesgos y garantizar la confiabilidad y la integridad de la red”(Martínez et al., 2024, p. 56). Por otra parte, la seguridad en el dispositivo es integrado mediante varios mecanismos para proteger la información algunos aspectos como el cifrado entre los dispositivos, la gestión de claves, Métodos de autenticación segura, la protección contra ataques que impide la retransmisión de mensajes o acontecimientos de repetición y la generación de llaves en la red inclusive aplicaciones (Amiot, 2021).

La difusión de los resultados mejorará la educación y la participación de la comunidad, creará conciencia sobre el papel de la tecnología en el desarrollo, es crucial motivar al sector

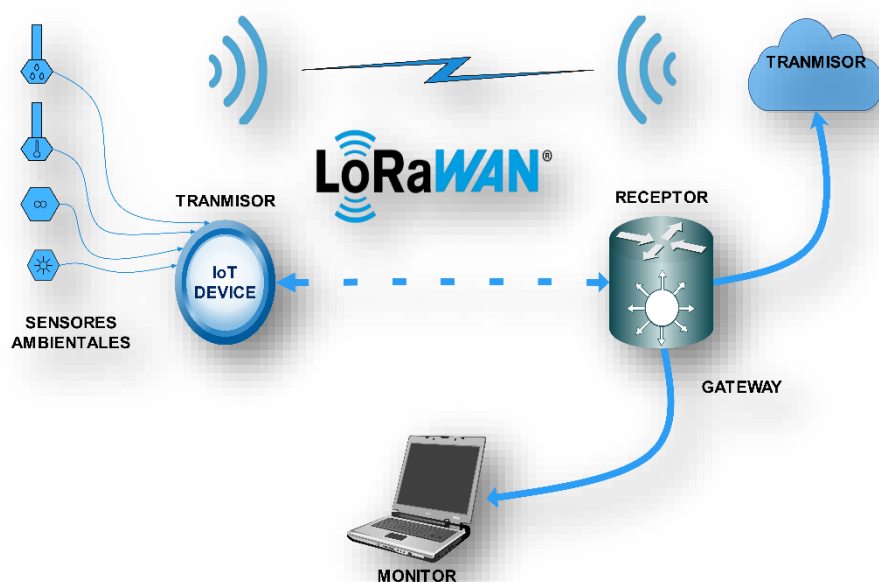
gubernamental invertir en estos casos de estudio y sugerir los proyectos económicos para la evolución de ciudades ingeniosas, las pruebas exitosas realizadas en el proyecto responde a la incertidumbre de las industrias que deseen calibrar la contaminación, algo semejante ocurre con el pequeño productor agrícola,

Teniendo en cuenta que los parámetros medidos que normalmente requiere el sector agrícola varían muy lentamente, que la data que se obtiene genera un tamaño reducido en el paquete de envío de datos y que en los cultivos agrícolas se deben cubrir áreas extensas, LoRa y LoRaWAN representan una excelente alternativa para resolver esta problemática. (Pérez y Risc, 2019, p.11)

Esto indica que el campesino tiene la tecnología disponible para su labor diaria cuando se trata de trabajos que puedan ser sustituidos por el IoT, como ejemplo se desea sustituir sus planes de riego manual por mecanismo automatizado, rendirá mejor su calidad de vida. En general numerosos beneficios contribuyen a una Cuenca más resiliente y sostenible comprometida con el desarrollo responsable, la estructura a continuación.

Figura 1

Estructura general de la implementación LoRaWAN.



Nota: El gráfico representa el diseño básico de la red LoRaWAN

CAPÍTULO I: PROBLEMÁTICA

El auge acelerado de las ciudades, como Cuenca, genera una mayor demanda de recursos naturales, elementos avanzados y servicios importantes para la sostenibilidad urbana. (Armijos, 2022, p.44). La Universidad del Azuay en su información a la comunidad a través de una entrevista al Investigador Chester Sellers, señala el incremento de la contaminación en la ciudad de Cuenca y argumenta a varios sectores en la actualidad como la sequía, al motorizado y las consecuencias de los últimos meses del 2024 en el Ecuador, los incendios forestales (Vega, 2024). La gestión ineficiente de los recursos, como el agua y la energía, así como la falta de sistemas adecuados para monitorear y controlar aspectos clave como el tráfico, la contaminación y el consumo energético, contribuyen al deterioro del medio ambiente y afectan la calidad de vida de los ciudadanos. Además, las soluciones tecnológicas tradicionales a menudo son costosas, difíciles de implementar y no responden adecuadamente a las necesidades de un entorno urbano en constante cambio. En este contexto, surge la necesidad de una solución tecnológica que permita una gestión eficiente de los recursos y facilite la toma de decisiones basada en datos en tiempo real. LoRaWAN, con su capacidad para conectar múltiples dispositivos a larga distancia y su bajo consumo energético, se presenta como una herramienta clave para abordar estos desafíos. Sin embargo, aún no se ha evaluado de manera suficiente su potencial en Cuenca para promover el desarrollo urbano sostenible. Por lo tanto, el problema que este proyecto aborda es: ¿Cómo la implementación de una red LoRaWAN puede contribuir a mejorar la gestión de los recursos urbanos y promover un desarrollo sostenible en la ciudad de Cuenca?

CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

Marco Teórico

Internet de las Cosas (IoT)

El IoT o el internet de las Cosas se caracteriza por la comunicación entre los dispositivos y en la manera que se desarrollan en la actualidad, recoge y envía información, ejecuta mandos remotos y las recibe en tiempo real a través de canales en especial las redes inalámbricas, la humanidad estudia los avances e innovaciones de nuevas tecnologías, con ayuda de la Inteligencia Artificial (IA), en el presente año el IoT es parte de las ciudades inteligentes en busca de tener una manera de conectarse entre ellas (Ferney et al., 2019), esto indica que en los países de tercer mundo la tecnología no es aplicada. El internet de las cosas a partir del 2005 ITU (International Telecommunications Union) realizó el primer estudio sobre el tema (Alvear et al., 2017), para el 2008 una alianza de empresas promueven el uso de protocolos, en el 2009 Alliance IPSO comenzó a destacar la palabra IoT, posteriormente desde 2011 se adoptó estándares a gran escala (Angulo & Velásquez, 2017), en la fecha actual juega un papel muy importante, el proyecto en curso se aprovecha a IoT para monitoreo del medio ambiente mucho le debemos a la naturaleza (Green Rights Coalition, 2023), así se menciona a nivel mundial, la industrial y los avances de la tecnología afecta al medio ambiente al producir daños al consumir los recursos naturales pero al mismo tiempo el internet de las cosas puede devolver el favor, arreglar lo dañado es una manera en que la tecnología regresa al medio ambiente (Chalup, 2024).

LoRa

Long Range o LoRa es un sistema tecnológico que modula el espectro basado en Chirp Spread Spectrum (CSS) accesible a la transmisión de información a distancias largas y minimiza el consumo energético (Semtech, s. f.). El internet de las cosas es beneficiado por la tecnología en aplicaciones de conectividad por la transmisión en bandas amplias y sin licencias (Agencia de

Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), 2022), Ramos et al., (2022) menciona que Lora convierte los pulsos de Chirrido en datos, razón para mejorar su desempeño además percibe señales inclusive los de alto ruido. De tal manera hace que LoRa se utilice de forma global para redes con sensores, ámbito natural y automatización medicina y hogares (Ahumada, 2024).

LoRaWAN

La descripción del dispositivo se define a LoRaWAN como una capa física quien hace posible el largo alcance “Las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) deben funcionar a bajas velocidades de datos para tener un amplio alcance (en kilómetros) que amplíe la cobertura desde los distritos urbanos densos hasta los rurales”(Rawat et al., 2020^a, p. 419).

Concretamente es la modulación inalámbrica para transmitir a distancias largas a bajo consumo energético “El largo alcance (LoRa) funciona con la técnica de espectro ensanchado (CSS) Chirp, que mantiene una calidad de energía baja similar a la Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (FSK), pero esencialmente amplía el rango de comunicación” (Rawat et al., 2020b, p. 419) La arquitectura del LoRaWAN comprende nodos, gateways, servidor de red y servidor de aplicación lo que hace ágil el envío y recepción de la información entre los componentes IoT e incluso al almacenamiento en la nube (Baltuille, 2023). Por otra parte, la eficiencia energética se desempeña según el tipo de dispositivo (Clase A, Clase B, Clase C) en relación a la necesidad de comunicación y desgaste mínimo de batería (Becolve Digital, 2022).

Principios

En relación a la teoría de la tecnología LoRaWAN se determina 3 principios que fundamentan su desempeño en los entornos de monitoreo, urbe inteligente y más aplicaciones de IoT, el bajo consumo de energía que pueda ocupar el dispositivo, lo convierte en tecnología rentable, autónoma, accesible sobre todo en puntos inalcanzables de redes celulares. El respaldo de una batería de gran capacidad Amperios Hora (AH) puede abastecer al módulo como a los sensores tipo ambientales, medidores inteligentes, componentes agrícolas, etc.(Mekki et al.,

2019), por algunos años se puede agregar que la eficiencia energética resulta de la configuración que se les asigne a los nodos la transmisión de los sensores al Gateway, enviar información solo cuando sea necesario aumenta la eficiencia.

El largo alcance de LoRaWAN, obedece a la tecnología de LoRa la cobertura se extiende y colabora con la transmisión de datos a largas distancias, lo que supera la WIFI o Bluetooth, en el sector rural o zona totalmente despejadas su alcance llega por más de los 10KM mientras que en la ciudad la efectividad esta entre los 2 y 5km según los obstáculos (LoRa Alliance®, 2023). Para el interés del proyecto se entiende la cobertura amplia es adecuado para el monitoreo ambiental obedece a un gran número de sensores y bajo consumo energético ideal para la conectividad, y un tercer principio en mención es el bajo costo económico. Se puede discutir más principios técnicamente con estudios más profundos por ahora se insinúa tres, lo importante es declarar a LoRaWAN a nivel mundial como una de las tecnologías más eficientes en la industria IoT(Semtech, s. f.)

Heltec Automation

Desde el 2017 Heltec Automation lanza su prototipo WIFI LoRa32 una placa de desarrollo IoT, en la Actualidad la Versión 3 conserva las funciones del a Versión 2, efectiva para los proyectos de código abierto, por la disponibilidad de Wifi, BLE, LoRa, pantalla integrada y más funciones(Heltec Automation, 2025). El producto se describe óptimo para aplicaciones en el sector agrícola, industrial, desarrollos IoT, hogares, control inalámbrico y monitoreo en entornos naturales, desde el punto de vista comercial el microprocesador es un recurso económico en comparación a los productos de comunicación de banda ancha entre sus características destaca el procesador basado en el módulo ESP32-S3FN8, la memoria integrada, soporta la potencia de 21+-1DBm también sugiere la frecuencia 470 – 510 para Europa 863 – 928 América, la interfaz USB tipo C como puerto de alimentación de energía y al mismo tiempo interfaz de programación de varios métodos lo recomendado el lenguaje Arduino por las

librerías disponibles (Heltec Automation, s. f.), en otras palabras las características del LoRaWAN marca Heltec justifica la adquisición para materializar el Proyecto Tesis.

Figura 2

LoRaWAN Wifi LoRa ESP32(V3)



Marco Contextual

En el proyecto de tesis se propone aplicar la tecnología en la ciudad de Cuenca y encontrar la sostenibilidad en sector urbano El sistema de monitoreo demanda la búsqueda de un lugar específico para el desarrollo e implementación de LoRaWAN, las características geográficas, el clima, las edificaciones determina la señal óptima del dispositivo, la ciudad está a una altura de 2560m sobre el nivel del mar, según el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2025), centrados en la cordillera de los andes en medio de zonas elevadas viabiliza la ejecución de pruebas de conectividad en poblados rurales y urbanos. Para el primer caso urbanístico se señala parte de un área poblada con alto tráfico y viviendas altas con terrazas una de ellas se acopla el receptor a si mismo el trasmisor en un punto accesible y benéfico para la sostenibilidad.

Para el caso de las pruebas en el sector rural se elige un área amplia alrededor del cantón, el propósito es visualizar una distancia considerable y despejada, el alcance se determina mientras el receptor siga recibiendo la información, es decir que el RX está en movimiento, la idea es verificar cuantos kilómetros permite confiar en los datos. En cualquiera de los puntos señalados es ideal para verificar si las notas que trasmite el módulo lora son efectivas o no, finalmente comprobar efectos de ruido o perdidas a largo alcance o interferencias en la zona de Fresnel.

A partir del mes de enero se encuentra activo el monitor ambiental en la ciudad de Cuenca, sector Totoracocha en las calles Sanancajas y Cashaloma (Parque Curiquingue) prototipo construido para extraer datos como la humedad, la temperatura, la calidad del aire y la luz ambiental, el monitoreo se encuentra activo hasta la fecha y abierto al público y en la red de Internet. Cabe indicar que los estudios adicionales en el sector rural se iniciaron en el mes de diciembre del 2024, Las pruebas realizadas en su momento se detallan en los resultados de la figura 3.

Figura 3

Ubicación de los dispositivos LoRaWAN.

Ubicación y Pruebas de Monitoreo Ambiental



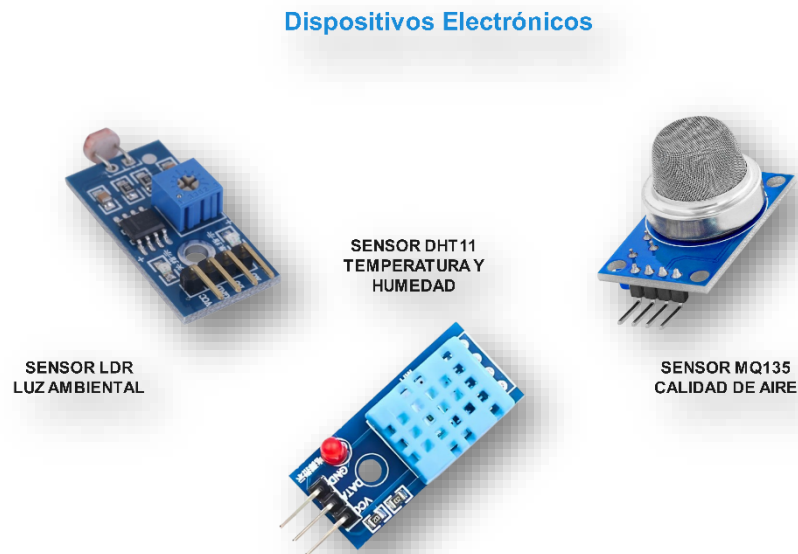
Nota: El grafico representa el lugar de ubicación del dispositivo de monitoreo, la cobertura y distancia de la tecnología LoRaWAN.

Marco Conceptual

Para el monitoreo ambiental existen sensores económicos con la excelente capacidad de trabajo, en el ámbito de IoT se ha comprobado excelentes resultados en tiempo real al proporcionar información básica, sin embargo, los sensores de buena calidad se deben calibrar periódicamente por los deterioros de campo (Placido, 2024) con equipo especial de medición de diferente entornos con el fin de avalar los datos (Zafra-Pérez et al., 2024), a continuación, cuatro sensores básicos para el monitoreo ambiental.

Figura 4

Sensores aplicados al monitoreo ambiental.



DTH11

Determinar los tipos de sensores que se necesita para un estudio ambiental no es difícil encontrar por supuesto cada artefacto electrónico es sin duda diferente en calidad, para la lectura que se propone en proyecto de monitoreo ambiental es perfecto el DHT11, sensor

diseñado para obtener datos de humedad y temperatura con una señal de salida ajustable(Mendoza-Pinto et al., 2019). Para la medición cuenta con un componente interno resistivo comunicándose con un microcontrolador de 8 bits, de alto rendimiento y calidad (Mouser Electronics., 2025).

MQ135

El sensor MQ135 detector de CO₂ es el más utilizado de acuerdo a sus ventajas, su efectividad en proyectos de calidad de aire a bajo costo, también evidencia ser compatible para desarrollar nodos efectivos por el consumo mínimo de energía y su acoplamiento en cualquier punto de monitoreo Además el interfaz de comunicación se basa en Zigbee o protocolos de alto nivel(Sabando et al., 2023).

LDR

LDR (Light Dependent Resistor) o resistencia dependiente de la Luz son dispositivos sensibles a la luz, también existe variantes como la fotocélula, El fotoconductor etc. Se integra principalmente por una resistencia la cual varía dependiendo de la luz “La LDR tiene la propiedad de variar su resistencia en función de la cantidad de iluminación que incide sobre su superficie” (Sifuentes De La Hoya et al., 2015). De modo que para los proyectos d bajo costo el LDR es perfecto para el monitoreo de la luz ambiental, para identificar una magnitud de la luz, primero se debe entender cuál es la unidad. Lux (Lx): un lux es total de energía que produce en una superficie de 1m² para monitorear la luz alta o baja los parámetros de medición será visible de 0 a 100 %(DCM Sistemas, 2025).

Antena Lora

La antena lora creada para conexiones de área amplia de largo alcance y baja potencia en el mundo de IoT(TEKTELIC, s. f.), con ganancia de 2dbi trabaja en una frecuencia de 915MHz en la área de telecomunicaciones (Mañay et al., 2022), con una potencia máxima de 10w, lo que hace factible la comunicación de largo alcance, posee una impedancia de 50 Ω , se adapta

eficazmente en la señal, a través del conector U.FL, se sugiere utilizar el cable mini coaxial de 1,13 mm por la flexibilidad y manejo (Data Alliance, 2024), Si se desea una señal optima y un buen desempeño de conectividad en la transmisión Lora se debe considerar la Zona de Fresnel a continuación.

Zona de Fresnel

En el área de las telecomunicaciones por la teoría de Huygens-Fresnel existe el fenómeno por las ondas electromagnéticas propagadas en línea recta y se lo denomina Zona de Fresnel como explicación, es la forma que engloba a la visión entre emisor y receptor, ciertas formas elipsoidales 3D que rodean la línea de vista, en esta área cualquier obstáculo puede crear interferencia o atenuación de señales (Martínez, 2018), por supuesto en la práctica se debe tener presente los obstáculos en la línea de vista.

Para verificar que la trayectoria del radioenlace LoRa esta despejada se deben estimar las alturas de claridad de la línea de vista que permita garantizar que las pérdidas por difracción sean mínimas por obstrucción de la línea de visión entre las antenas del transmisor y el receptor. (Pérez et al., 2022 p. 137)

Es decir que para una señal al 100% quiere decir que no existe ninguna interrupción en la zona, de lo contrario si existe cualquiera de los obstáculos la señal es interferida y minimiza el porcentaje.

Arduino

Como siguiente punto en la instalación del dispositivo LoRaWAN se requiere un lenguaje de código abierto, para los fines del proyecto se utiliza la plataforma que conecte la tecnología física y el proceso digital, conectados cumplen el propósito de intercambiar información. El proyecto se ejecuta mediante el desarrollo electrónico Arduino, fácil de utilizar inclusive eficiente para operar con Lora y los componentes requeridos como librerías (Torres & Andrade, 2022, p.54), la programación en el entorno de desarrollo (IDE) y el microprocesador ESP32

“Debido a que se pueda implementar una variedad de microcontroladores como: ESP32, Arduino, Netduino, Pocketbeagle, Wasmote y así una infinidad de dispositivos que puedan abarcar múltiples funcionalidades.” (Pazmiño Sanches, 2021). En este sentido se conecta Arduino y LoRaWAN para facilitar el mensaje entre los módulos. la herramienta Arduino y la programación del código es posible el estudio de la tecnología LoRaWAN y la implementación del monitoreo ambiental.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para abordar el tema de la metodología, se requiere iniciar cuidadosamente por las bases teóricas y finalidades que se han desarrollado en proyectos similares, como punto de partida se aplica la Metodología de la investigación, paso fundamental para el proyecto de implementar la tecnología LoRaWAN, discutir su factibilidad técnica y su impacto en la evolución es en base a las investigaciones realizadas concretadas detrás de toda una ciencia, con los datos expuestos, el sondeo y los instrumentos promueve a la ciudad ser sostenible.

Enfoque Cuantitativo

Para el proyecto actual se aborda el enfoque cuantitativo por el tipo de herramientas para descubrir y generalizar los resultados (Hernández & Mendoza, 2018). en base al concepto del autor, se sugiere aplicar al inicio del proyecto con consultas a la población especialmente al sector tecnológico lo que hace más factible responder ciertos conocimientos de LoRaWAN, realizar un conteo de necesidades específicas en el sector y continuar al siguiente paso de la implementación del proyecto, los instrumentos se mencionan más adelante.

En cuanto al análisis de la tecnología en campo también se percibe datos numéricos por lo que es fundamental aplicar nuevamente utensilios de mediciones numéricas, el enfoque cuantitativo esta vez se dirige a los resultados obtenidos de una conexión entre emisor y receptor y demás información del dispositivo LORAWAN en actividad. En relación al tema experimental

se enfoca a la cobertura y transmisión de la tecnología inalámbrica en puntos estratégicos de la ciudad para evaluar su desempeño en términos de cobertura, consumo energético y señal

Enfoque Experimental

El enfoque experimental también está presente en la investigación del proyecto al plantear el control en los datos de ingreso y visualizar en la salida los efectos de rendimiento de la tecnología LoRaWAN. Experimentar es un paso clave en la investigación., se debe a la aprobación de explicar las causas además de evaluar el efecto entre variables (Acosta, 2023). En la creación de la red de LoRaWAN el enfoque experimental es fundamental en el entorno urbano y rural, permite registrar su máxima capacidad como resultado tecnológico, mejorar su conexión y monitoreo en el entorno natural de la ciudad. Los cambios que se efectúan al considerar mejoras continuas significativamente el resultado son variables “Estos estudios utilizan grupos experimentales y de control para cambiar una variable independiente y evaluar el impacto sobre una variable dependiente”(Acosta Faneite, 2023, p. 93).

De tal manera el resultado técnico da paso a la comparación vínculos de causa y en variables de información, finalmente los resultados experimentales satisfacen los requerimientos de la implementación sostenible.

Tipo de investigación

El proyecto de tesis generalmente incluye a la investigación aplicada, busca estar al corriente con el objetivo de una actividad practica y basado en la solución de problemas mediante la ejecución de la tecnología LORAWAN en el desarrollo sostenible de la ciudad de cuenca. “La investigación aplicada es un proceso que permite transformar el conocimiento teórico que proviene de la investigación básica en conceptos, prototipos y productos, sucesivamente.” (Lozada, 2014, p. 38). La investigación teórica prevalece en la definición de nuevos conceptos, la investigación práctica prioriza el conocimiento anterior, para concretar las

soluciones en el entorno. La investigación Aplicada dentro de la Implementación de la red con tecnología LoRaWAN urbano y rural se refleja en los puntos a considerar a continuación.

- Implementación de la Red en diferentes sectores estratégicos de cuenca para analizar su factibilidad en la transmisión de información de sensores del punto Transmisor al receptor.
- Estudios de los parámetros técnicos como la señal, alcance, consumo con el fin de perfeccionar la red de LoRaWAN en el entorno.
- Pruebas en escenario real donde se prueba las condiciones naturales del ambiente considerando cambios drásticos que pueda ofrecer la naturaleza.
- Las sostenibilidad e impacto de la tecnología en el sector urbano y rural tras una evaluación de resultados para mejorar la eficiencia y conectividad en gestión de los recursos de la ciudad.

Instrumentos y técnicas para el levantamiento de la información

Documentación

Se lleva a cabo una exploración bibliográfica de estudios previos sobre la tecnología LoRaWAN, dispositivos electrónicos adecuados, sensores de monitoreo y sistemas de comunicación inalámbrica. El proyecto de implementar una obra aplica utilizar instrumentos y técnicas en relación a la documentación e información académica (Abadal, 2024).

Encuesta

Para entender el conocimiento de la comunidad sobre LoRaWAN, se propone una encuesta estructurada a personas que cumplan ser parte del sector tecnológico adicional se considera contextualizar el objetivo de la encuesta e informar brevemente la tecnología. Para desarrollar las preguntas es necesario identificar el ámbito a quien se dirige la encuesta a pesar que se apunta al área tecnológica, es indispensable registrar sus respuestas, se considera de igual manera encuestar por el conocimiento de la LoRaWAN y finalmente la necesidades y

expectativas como se puede apreciar a continuación el test conciso y entendible para el encuestado.

Figura 5

Encuesta sobre el conocimiento de LoRaWAN

Encuesta sobre la Tecnología LoRaWAN

"Exploración del Uso y Potencial de la Tecnología LoRaWAN"

La presente encuesta busca identificar el conocimiento y las necesidades relacionadas con la tecnología **LoRaWAN**, ayudando a desarrollar soluciones innovadoras en IoT.

Se agradece de manera infinita su colaboración, dicho formulario no tiene costo tampoco influye identidad.

Contexto

LoRaWAN - es una tecnología inalámbrica que conecta dispositivos a largas distancias con poco consumo de energía, ideal para sensores en proyectos como ciudades inteligentes y monitoreo ambiental.

Inicio.

1. ¿A qué sector pertenece?
2. ¿Tiene experiencia utilizando tecnologías de comunicación para Internet de las cosas (como LoRa, WiFi, Bluetooth, etc.)?
3. ¿En qué tipo de entorno trabaja principalmente?
4. ¿Ha escuchado hablar de la tecnología LoRa o LoRaWAN?
5. ¿Está familiarizado con las aplicaciones de LoRaWAN?
6. ¿Qué necesidades de comunicación o monitoreo tiene en su sector?
7. ¿Qué características busca en una solución de comunicación para IoT? (Puede marcar varias opciones)
8. ¿Considera útil implementar una red LoRaWAN en su entorno?
9. ¿Qué tipo de datos cree que serían más útiles monitorear en su entorno?
10. ¿Estaría interesado en aprender más sobre LoRaWAN y sus aplicaciones?

Nota: Encuesta realizada en el formulario de Google Drive para el sector tecnológico.

La encuesta se distribuirá a través de un link creado en un formulario de Google-Drive la información permitirá comprender el conocimiento y el ámbito donde se puede aplicar el proyecto.

Observación

El lugar que se propone realizar el estudio abarca a la urbe a si también al sector rural, hay que tener en cuenta algunos factores que la casa productora de la tecnología en cuestión recomienda utilizar aspectos de fabrica (Calibración máxima de potencia en los módulos) para cumplir con el propósito de LoRaWAN sin embargo el propósito es comparar en el sector

urbano y rural de la ciudad, de las dos formas existen circunstancias diferentes que a continuación verificamos.

Existen factores que puedan afectar a una señal Lora en la ciudad como arboles de los parques, nivelación del suelo, obstáculos movibles como automotores o edificaciones, el factor indispensable la línea de vista entre los componentes (Zona de Fresnel), de todas maneras LoRaWAN está diseñado para conectarse a corta distancia lo que hace factible para temas de una localidad inteligente, caso similar para la conexión en las áreas alejadas mientras exista la línea de vista sin obstáculos entre el transmisor y receptor el largo alcance de la tecnología aplica. Antes de encontrar un sitio para el transmisor es obligatorio jugar con las distancias de cobertura de esta manera descartar puntos innecesarios.

Colocar el transmisor en un punto recreativo para observar en comportamiento ambiental en una urbanización es ideal para el caso de estudio, entonces para el transmisor el punto accesible es ubicar en un punto de la ciudad llamado Parque Curiquingue, verificar el estado ambiental en mencionada coordenada es perfecto para la toma de información. En el sector rural es inevitable estudiar el factor ambiental LoRaWAN aporta con su tecnología la conectividad de largo alcance que cubre más de 10km a 20KM (Catsensors, s. f.), sin embargo, el proceso de examinar la geografía natural obedece a la necesidad donde se requiere la lectura de datos, en especial a los lugares de difícil acceso.

El objetivo del proyecto cubre realizar pruebas en la ruralidad para determinar conexión exitosa y transmisión óptima de información de modo idéntico como se realizaron las pruebas de enganche en la urbe, se requiere ejecutar ensayos de campo abierto y diagnosticar la distancia óptima de conectividad.

Para definir la funcionalidad de la tecnología fuera de la población se obtiene como referencia a los paisajes andinos entre montaña y montaña se aprecia áreas despejadas suficientes para intervenir la calibración en distancias con LoRaWAN.

El mapeo a realizar en el ámbito rural se designa a las afueras de la ciudad de Cuenca entre la comunidad de Guablid y Chaullayacu Cantón Guachapala, perfectos en alineamiento en área despejada. Se debe recordar que la transmisión de datos son las lecturas ambientales, en la práctica es verificar la conexión de los módulos kilometro a kilometro hasta perder la cobertura. En cualquiera de los ámbitos las interferencias electromagnéticas están presentes en principal las del clima es decir las tormentas eléctricas o las lluvias, forman parte de la naturaleza impredecible pero necesaria para la evaluación del ensayo presente, cabe destacar que es un proyecto inalámbrico preciso evaluar el desempeño en las descargas eléctricas por lo contrario los sensores mencionados en el capítulo anterior son vulnerables al liquido en consecuencia se opta por protecciones externas.

Métricas

El análisis de datos es fundamental para evaluar el comportamiento de la red LoRaWAN. Según los siguientes indicadores permiten la eficiencia y la confiabilidad del sistema en operación.

Alcance y cobertura geográfica. LoRaWAN se define a nivel mundial por su largo alcance y bajo consumo energético (Catsensors, s. f.), para el proyecto es necesario mencionar los puntos que se establecerán en el código, para las pruebas tanto en el ámbito urbano como en el rural, En la ciudad se programa los siguientes parámetros en lenguaje Arduino, recordemos que las interferencias afectan la transmisión sin embargo la conexión es posible. Los ajustes importantes para una evaluación en puntos distintos son:

- Frecuencia de operación FREQUENCY 915000000(Pérez et al., 2022, p.136),
- El factor de dispersión (SF) en SPREADING_FACTOR 7(Moya Quimbata, 2018, p.14),
- Ancho de Banda (BW) BANDWIDTH 125kHz (Buitrago et al., 2019, p.16),
- La Longitud de datos 25 BYTES (Moya Quimbata, 2018, p.25),
- La potencia de transmisión TX_OUTPUT_POWER 5DBm (Becolve Digital, 2020).

Fiabilidad en la Transmisión. En cualquier conexión inalámbrica suele haber interferencias, en la tecnología que se estudia se logra verificar con números el nivel del ruido y pérdida de paquetes en base a la congestión e interferencia electromagnética consultamos parámetros en tiempo real para comprobar su fiabilidad (Del Rosario, 2020), las variables que intervienen en su momento son:

- Los paquetes recibidos se muestran en el receptor a efecto de la variable en el código `totalPacketsReceived`.
- En cambio, la pérdida de paquetes se asigna el porcentaje utilizando la variable `packetLossPercentage`.
- Para el nivel de potencia de la señal recibida RSSI (Received Signal Strength Indicator) se almacena en la variable `rssiVar` es muy importante para analizar la calidad de transmisión.
- Finalmente se presenta el ruido en relación a la señal SNR (Signal-to-Noise Ratio) o la interferencia y calidad de señal `snrValue`.

Seguridad. LoRaWAN incorpora algunos sistemas de seguridad para proteger la información transmitida. estos mecanismos incluyen el cifrado de extremo a extremo, gestión de claves, autenticación, protección contra ataques y el control de acceso se basa en el algoritmo(Amiot, 2021).

AES-128 (Advanced Encryption Standard de 128 bits), el cual cifra la comunicación entre los dispositivos, garantiza la integridad y privacidad de los datos enviados(Comité Técnico de la LoRa Alliance®, s. f.).

Así mismo, se implementa una gestión de claves de seguridad, se abarcan dos factores principales: la Network Session Key (NwkSKey), se encarga de autenticar el dispositivo y proteger la información, y la Applications Session Key (AppSKey), que cifra el paquete para prevenir ataques durante la transmisión de los datos(The Things Network, s. f.-b).

Autenticación, LoRaWAN ofrece dos alternativas: Over-The-Air Activation (OTAA), con enfoque único de código de seguridad, y Activation By Personalization (ABP), que utiliza de keys, pero con riesgo a ataques (The Things Network, s. f.-b).

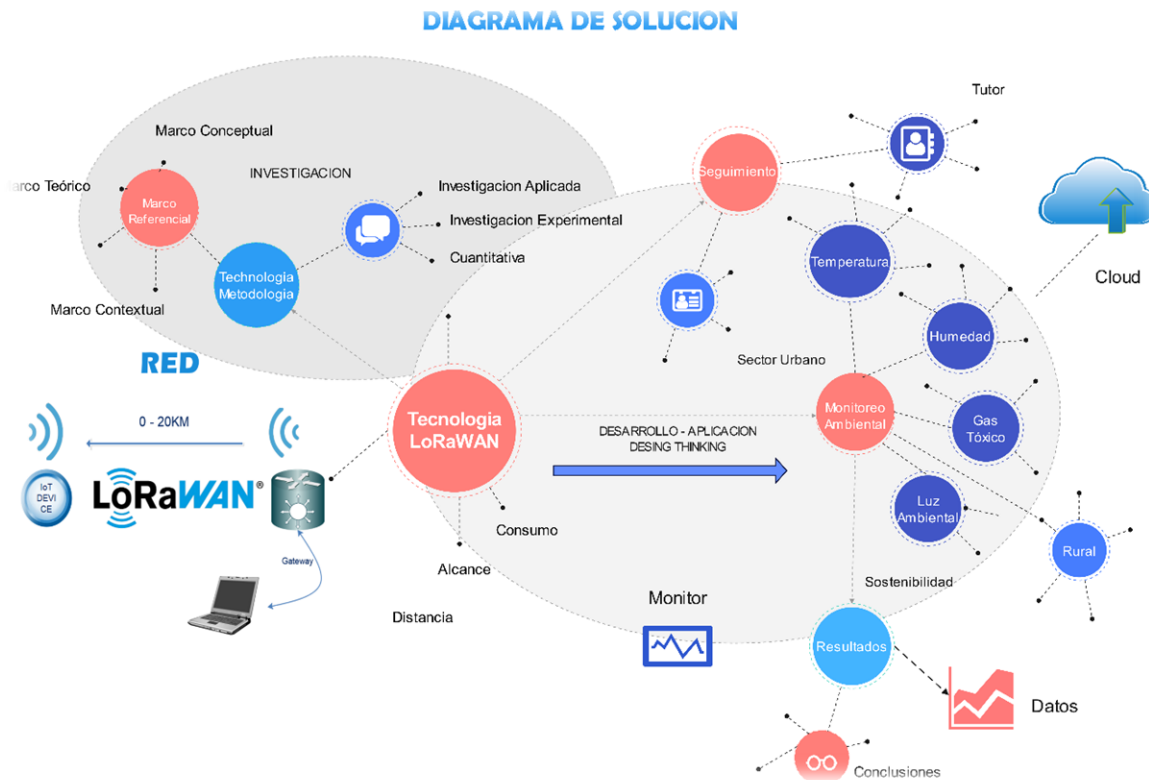
Para finalizar, el control de accesos y validación de datos se dirige al servidor de Aplicación, que autentica los dispositivos no registrados y bloquea datos no autorizados, reforzando así la seguridad en la comunicación (LoRa Alliance, 2024).

Diagrama de Solución.

En el siguiente gráfico se indica el proceso mediante el diagrama de solución donde se propone el desarrollo del inicio y final del proyecto de tesis.

Figura 6

Diagrama de solución - Proceso de Tesis



Aplicación de la Metodología Design Thinking

Indagación

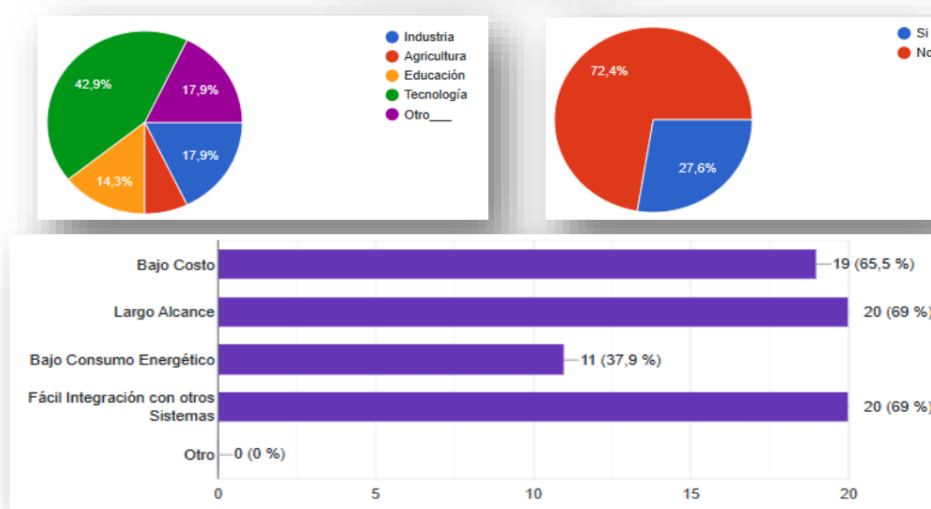
La tecnología como un punto clave genera temas de debate , forma parte de investigaciones de profesionales especialmente en los de diseños, proporciona herramientas de última generación y menciona necesidades como retos del desarrollo (Ketlun, 2020), en base información escasa de la tecnología inalámbrica LoRa en la ciudad de Cuenca, la aplicación del proyecto fundamentalmente se basa en la metodología Design Thinking, como resultado exponer a LoRaWAN ser parte de las soluciones y respuestas a los problemas identificados. A continuación, se documenta cinco fases de la investigación, adaptada a la comprensión del contexto, al enfoque técnico y a la innovación en función a la viabilidad del desarrollo sostenible relacionados con la tecnología.

Para comprender las necesidades y problemas de los actores clave relacionados con IoT, se realizó una encuesta para el análisis del conocimiento de LoRa al sector de la Industria, Educación y Tecnológica sin embargo el 75% de los encuestados no conocen la tecnología, el 50% indica ser necesario monitorear la calidad del aire y el 89.3% desea conocer la infraestructura y los procesos de utilizar de mejor manera a LoRaWAN con respecto a las características de la tecnología se planteó la pregunta: Cuál sería una solución de comunicación para IoT, conscientemente las personas se inclinan por el largo alcance inalámbrico y otras por la fácil integración con el sistema como indica la imagen.

Figura 7

Análisis de Encuesta: Uso y Potencial de la Tecnología LoRaWAN

"Exploración del Uso y Potencial de la Tecnología LoRaWAN"



Nota. La imagen visualiza los resultados de encuesta a varios sectores.

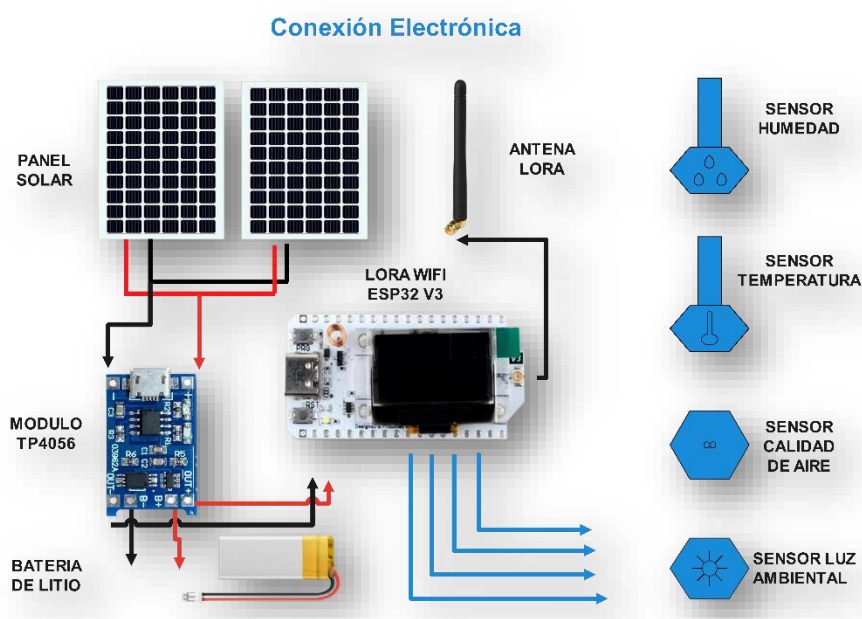
Determinación.

En el siguiente paso la información recopilada se identifica un problema y a la vez otorga una dirección clara para el diseño del proyecto, la investigación, las encuestas y el análisis del contexto urbano y rural de cuenca sugieren ejercicios prácticos para remediar varios problemas como por ejemplo la calidad del Aire, En el Ecuador existen normas y estudios para solventar el problema, la entidad que regula la calidad del aire a nivel nacional es el Ministerio del Ambiente y Agua, que por medio del programa Plan Estratégico Institucional 2021 -2024, en el artículo 14, la constitución establece al ciudadano vivir en un medio ambiente sano (Dirección de Planificación e Inversión MAAE, 2021) y a medida que se obtenga información verídica se reduce la incertidumbre (Tenecela Edwin, 2021). A pesar de los datos confiables que pueda brindar una conexión de banda ancha, sigue la imprecisión en los puntos de difícil acceso y a bajo costo. La desinformación en redes de largo alcance, costos y consumos energéticos dificultan la exploración además limitan las soluciones tecnológicas para la gestión de datos.

Parte del proceso es implementar una red con tecnología LoRaWAN con bajo consumo energético y largo alcance de comunicación de acuerdo al diseño de un sistema que integre dispositivos y sensores para monitoreo ambiental como también el despliegue autosustentable mediante el uso de energía renovable. Cuenca se proyecta a ciudad inteligente para ello se fomenta la comunicación LPWAN donde existe un sin número de variables ambientales y estructurales a ser considerados como casos de estudio el modelo de un dispositivo electrónico en la figura 8.

Figura 8

Modelo electrónico



Nota: La figura representa la conexión electrónica de los sensores y un modelo autosustentable.

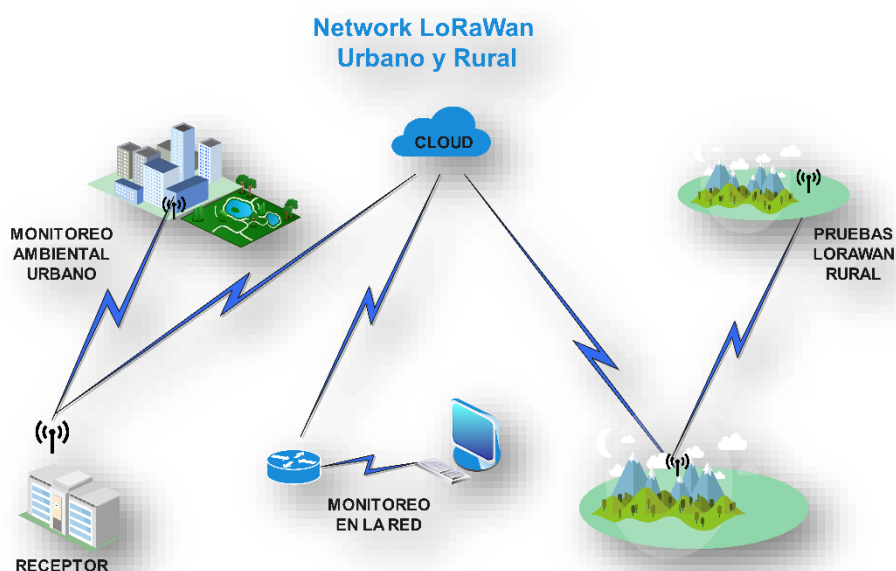
Proyección

Durante las fases de empatizar y definir, se generan de manera visual las soluciones para las necesidades en el entorno del estudio, de acuerdo con las encuestas y necesidades la conclusión es crear y analizar un escenario de pruebas con tecnología LoRaWAN. Se analiza el

alcance inalámbrico entre los dispositivos según el estudio descriptivo y aplicaciones específicas observa que la distancia que se transmiten varía entre 10km y 15km con línea de vista en cambio en la zona urbana con obstáculos entre 1 a 5km según el modelo (Morales et al., 2021), de modo similar se realiza el diseño para las pruebas que se estudia, como punto eje se instala el Receptor (RX) para la recepción de datos, el primer Transmisor (TX) es colocado en el sector urbano en una ubicación estratégica, para el segundo comunicador se pretende tomar las lecturas en el área rural con el propósito de analizar la estabilidad de los diferente cambios climáticos, El diseño del hardware y la red LoRa es básico y efectivo para el escenario de pruebas en campo, los resultados se visualizan conectados al Rx por medio de una computadora o la red de internet como indica el grafico.

Figura 9

Conexión del Dispositivo para la Red LoRaWAN



Nota: La imagen representa el diagrama del dispositivo y la red LoRaWAN entre el punto urbano, rural y el internet.

Prototipo Low-cost.

La creación de prototipos es un paso fundamental en la validación del diseño, la funcionalidad y la eficacia de la tecnología LoRaWAN en el estudio de la zona urbana y rural tiene un costo. En esta etapa se seleccionan cuidadosamente los materiales económicos y necesarios para la implementación de un escenario de pruebas en el siguiente texto (Tabla 1).

Tabla 1

Componentes básicos a bajo costo.

Componente	Descripción	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Microcontrolador LoRaWAN	LoRa 32 de HELTEC	4	36	144
Sensor de Gas	MQ135	2	7	14
Sensor de Temperatura y Humedad	DHT11	2	4	8
Sensor de Luz	LDR 3 PIN	2	4	8
Controlador de Carga	TP4056	4	4	16
Batería Recargable	3.7v 1200mAh LITIO	4	6	24
Panel Solar	SP-6V 400mA	8	7	56
Caja de Protección Plexo mod:92034	130*130*74	4	5	20
Total				290

Nota. Accesorios económicos para la implementación red básica de un escenario.

El ensamblaje del prototipo es un proceso que incluye varias etapas. Primero, se configuran los LoRaWAN de Heltec basados en el ESP32 (Heltec Automación, 2025.). configurados en el programa de desarrollo Arduino, El TX se programa para recolectar datos de

los sensores y transmitirlos cada tres segundos, mientras que el RX se diseña para recibir esta información y registrar parámetros incluidos la intensidad de la señal RSSI (Indicador de Intensidad de Señal Recibida) y la SNR (Relación señal-ruido)(The Things Network, s. f.-a).

A continuación, se integran los sensores al transmisor. Las conexiones se prueban y calibran para garantizar lecturas, se alimenta a través del sistema de energía solar. El panel y la batería se conectan al controlador de carga, para un suministro continuo de voltaje incluso durante la noche o en días nublados, para esta prueba autosustentable la potencia de los módulos se programa a 5dbm, se realiza el montaje de los componentes en cajas de inemperie, junto con las antenas. Estas cajas se ubican en zonas estratégicas para maximizar el alcance de la señal LoRa. Una vez ensamblado el sistema, se realizan pruebas para evaluar su rendimiento en los escenarios de prueba.

Figura 10

Implementación física del dispositivo a bajo costo.



Nota: Prototipo ensamblado, transmisor y receptor.

Validación Urbana y Rural.

En la fase de Prototipado se desglosa los elementos que integran el dispositivo TX y RX siendo efectivos en la propuesta de bajo costo, a continuación En la fase del testeo se presenta el proceso y pruebas con los componentes básicos conforme al diseño la instalación de 2 nodos, el primero la recopilación de datos ambientales en la zona urbana y el segundo en la zona rural como valor agregado al proyecto, cuyos números se grafican en la página de Thingspeak.com, los dispositivos se colocaron en puntos tácticos, el objetivo principal es monitorear el alcance, comportamiento y la efectividad de la transmisión de los datos.

LoRaWAN es una solución viable para transportar datos limitados a largo alcance mientras exista línea de vista como es el ejemplo de las pruebas realizadas en campo, en la primera actividad el escenario realizado comprende 1.93km de distancia, la respuesta del enlace fue notablemente exitosa con RSSI de -99, los datos se aprecian de una manera clara y sin interferencias, para el segundo ensayo la distancia es de 4.3 km para este punto el nivel del RSSI aumenta (-111) sin embargo los datos son aceptados por el receptor y visualizados. En el sector urbano es todo lo contrario, producto del ruido e interferencias en la ciudad el resultado del experimento indica una cobertura óptima de 537m, suficiente para el desarrollo de proyectos de urbanización inteligente.

Figura 11

Diferentes puntos de pruebas y alcance de señal LoRaWAN

Puntos de Pruebas y alcance de señal LoRa Wan



Nota: Distribución de puntos de pruebas para evaluar el rendimiento

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En el entorno urbano de la ciudad de Cuenca se crea un escenario funcional con la tecnología LoRaWAN a partir de la ubicación del TX a una altura considerable la información ambiental es enviada a 360° a través de la frecuencia asignada, hasta encontrar al receptor, cabe destacar que en el área urbana existe interferencia, pero la tecnología LoRa está diseñado para la conexión sin línea de vista ignorando obstáculos como árboles, casas, vehículos altos, a continuación un resumen de los parámetros dados con un voltaje DC de 5.3v en la tabla 2.

Tabla 2

Registro de Variables en la Área Urbana

# Prueba	Potencia Tx (dBm)	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Consumo Energético mAh.
1	5	100	-89	11	0.14
2	5	195	-110	-1	0.15
3	5	320	-112	-10	0.16
4	10	412	-110	-4	0.17
5	10	532	-110	-6	0.18
6	10	627	0	0	0.18
7	20	463	-105	-8	0.26
8	20	537	-107	-6	0.26
9	20	765	0	0	0.26

Nota. Pruebas y datos de enlace Lora en campo en tiempo real.

En el siguiente escenario los dispositivos están totalmente en función, programados a 5dbm de potencia y 5.3v DC, se verifica conectividad, en consecuencia, la visualización de los

parámetros ambientales del nodo, el mismo ejercicio para diferentes distancias. Ejemplo (Tabla 3), y resumen en la (Figura 12).

Tabla 3

Registro de variables de largo alcance o rural.

#	Potencia	Distancia	RSSI	SNR	Consumo
Prueba	Tx	(km)	(dBm)	(dB)	Energético
	(dBm)				mAh.
1	5	1	-65	11	0.23
2	5	1.9	-97	11	0.23
3	5	4.3	-110	-1	0.29
4	5	5.1	-112	-4	0.29

Nota. Pruebas y datos de enlace Lora en campo en tiempo real.

Figura 12

Resumen de Variables



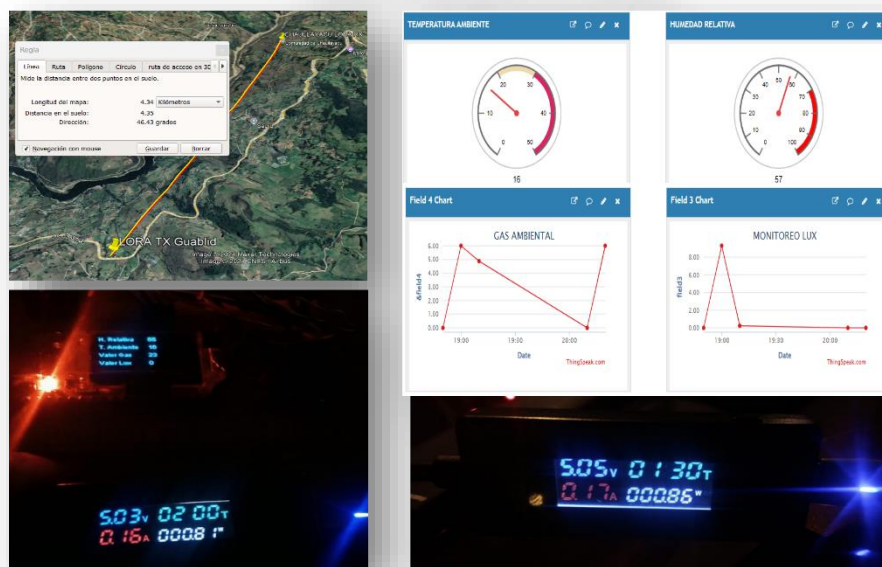
Nota: Distribución de puntos de pruebas para evaluar el rendimiento

Las condiciones geográficas en la ciudad representa otro reto para la lectura de los componentes, tal es el caso de las tormentas eléctricas, días nublados o diferentes cambios atmosféricos, en las siguientes pruebas tanto el TX como el RX están en puntos fijos y estratégicos enlazados continuamente y por varias semanas, el monitoreo en la red es esencial para este tipo de resultado, la factibilidad de representar una estadística en la web recomienda a tomar decisiones sobre la instalación Lora, la integración del sistema de monitoreo está en la página de Thingspeak.com en 2 canales, los resultados de diferentes escenarios tanto en lo urbano y rural se validan con parámetros en tiempo real.

Figura 13

Herramientas de Monitoreo

Alcance Monitoreo y Consumo



Nota: Diferentes tipos de Monitoreo

El estudio del módulo Lora32 Heltec se caracteriza por su bajo costo y eficiencia energética, para las mediciones de consumo se requiere de amperímetro, en el caso de estudio se utiliza el tester KOWSI USB KWS-065C, el voltaje de ingreso es de 5.3vdc para la alimentación del módulo LoRaWAN, el sensor Mq135, Fotorresistor LDR y el Dht11. Las lecturas promedian entre 0.16 mA hasta 0.29mA durante la transmisión de datos, el sistema optimiza el bajo consumo de energía por lo tanto para las pruebas del sector rural con los paneles solares (6v-200mAh) y 2 baterías de litio (3.7v-120mAh) son óptimos para la autosostenibilidad.

CAPÍTULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

A continuación, se presenta la siguiente propuesta en la Investigación realizada como resultado de la teoría de proponer el uso de la tecnología LoRaWAN para la conectividad en el sector urbano se encontró variables que aporte a la generación de ideas para aportar a la sostenibilidad urbano. Basándose en los capítulos anteriores se propone un sistema de conectividad a largo alcance y bajo consumo energético. Mediante un prototipo y pruebas realizadas en campo y en tiempo real, permite valorar la efectividad de LoRaWAN y demostrar soluciones para el monitoreo ambiental además a un bajo costo.

Descripción.

El modelo de conectividad es implementar un enlace inalámbrico con tecnología LoRaWAN, el transmisor conectado a una red de sensores para recopilación de datos del medio ambiente, verificar información de un sector dado y posterior enviarlo a una aplicación en la red.

Para monitoreo ambiental en el sector urbano y rural con frecuencia libre aplica la señal de LoRaWAN en diferentes entornos.

La eficiencia de la comunicación a través de los dispositivos transmisor y receptor. El bajo consumo energético tanto de los módulos Lora como los sensores lectores de información.

Aporte

- La tecnología LoRaWAN como solución alternativa para la comunicación rural.
- El modelo practico adaptable para varias aplicaciones, calidad de aire, tráfico, control ambiental.
- Prototipo autosustentable a través de energía solar, promoviendo al impacto ambiental
- La ejecución del proyecto a un bajo costo de mercado.

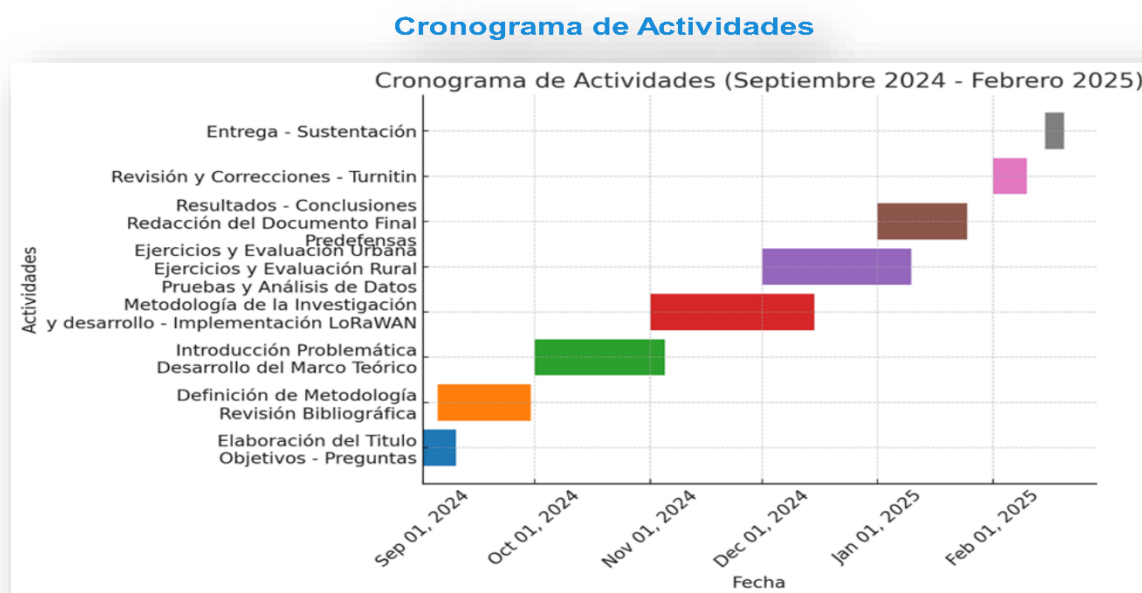
En conclusión, la propuesta exalta a la tecnología LoRaWAN como dispositivo clave para ejecutar proyectos inteligentes y sostenibles en la ciudad de Cuenca en base al modelo de conectividad, se evalúa el rendimiento y se proponen diseños para futuros casos IoT.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Se presentan las actividades desarrolladas durante la investigación y desarrollo en conjunto con el tiempo que demandó su realización en la figura 14.

Figura 14

Cronograma de Actividades



Nota: Actividades realizadas en el periodo Septiembre 2024 – Febrero 2025

CONCLUSIONES

La tecnología LoRaWAN es efectiva para el largo alcance, el consumo energético y el bajo costo, son temas principales del apartado donde se argumenta ser una solución sostenible, económica y eficiente con respecto a la transmisión de datos limitados (300bps y 50kbps) suficientes para las lecturas de Humedad, Temperatura, Gas Tóxico y Luz Ambiental para el sector urbano, de modo idéntico para los sectores rurales, especialmente en lugares remotos donde la energía eléctrica es escasa o tal vez la comunicación móvil sin acceso a internet, con un promedio de 0.20mAh confirma la viabilidad de la implementación de nodos IOT autosustentables en proyectos de monitoreo. Por otra parte, la flexibilidad de LoRa con respecto al alcance y adaptabilidad en el sector urbano (500m) con obstrucciones e interferencias físicas considerables es clave para garantizar la cobertura y confiabilidad de aplicaciones en proyectos futuros. Es importante acotar que los componentes, el modelo y las herramientas que se utilizan en las pruebas, validan el potencial de LoRaWAN en el estudio realizado y por supuesto se puede derivar sus aplicaciones para monitorear sectores, conectar poblados, sostener ciudades de manera innovadora, en beneficio a la construcción de una ciudad sostenible e inteligente.

RECOMENDACIONES

El Proyecto de tesis expone un modelo de conectividad con tecnología LoRaWAN y en el proceso manifiesta puntos clave en la realización de pruebas a pesar de contar con material de apoyo surgen novedades que se justifica en el momento posteriormente se crean nuevas ideas y desafíos. En la competencia de la tecnología de Desarrollo de Software se crea una gran cantidad de proyectos conectados a diferentes ámbitos como es el de IoT, las herramientas y facilidades de la actualidad es el punto de partida para estructurar una idea más profunda con resultados más brillantes.

A nivel institucional

Como estudiante de la carrera de Tecnología de Desarrollo de Software es necesario proponer algunos puntos de vista a continuación.

- Acordar la colaboración entre estados municipales, educativas y empresas privadas para desarrollar la innovación de la tecnología LoRaWAN en la estructura y cobertura inalámbrica.
- Crear políticas que promuevan el uso IoT como es LoRaWAN, para proyectos de monitoreo ambiental que justifique la sostenibilidad.
- Fomentar la capacitación para estudiantes y profesionales de la rama tecnológica.
- Instalar escenarios de pruebas en puntos estratégicos para analizar la conectividad y el comportamiento de la tecnología.

A nivel técnico

- Crear nodos de ensayo para verificar en periodos la calidad de señal de LoRaWAN y la cobertura en zonas urbanas y rurales.
- Crear protocolos de Seguridad en la transmisión de Datos que no afecten a la integridad de la red.

- Mejorar la configuración de los dispositivos mediante lenguajes intuitivos para optimizar recursos innecesarios.
- Estructurar los sensores y nodos con paneles solares y baterías para evaluar la autonomía de los componentes en actividad.

A nivel teórico

- Fomentar la investigación de IoT y LoRaWAN que integren a la Inteligencia Artificial y la base de datos para mejorar análisis de la Información.
- Profundizar el estudio de IoT y la tecnología LoRaWAN para aplicaciones en la urbe y ruralidad.
- Registrar resultados de implementación LoRaWAN y divulgar a través de congresos o revistas científicas.
- Apoyar el desarrollo continuo de la evolución, innovación, educación de la tecnología y los recursos naturales.

BIBLIOGRAFÍA – WEBGRAFÍA

- Abadal, E. (2024). *Gestión de proyectos en información y documentación*. Ediciones Trea, S. L.
<https://doi.org/https://hdl.handle.net/2445/61044>
- Acosta Faneite, S. F. (2023). Los enfoques de investigación en las Ciencias Sociales. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 3(8), 82–95. <https://doi.org/10.53595/rlo.v3.i8.084>
- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL). (2022). *Reformas normativas para la implementación y aplicación de conectividad de internet de los objetos IoT*. 19–20.
https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2023/05/informe_it-crds-gr-2022-046.pdf
- Ahumada, A. (2024). *Propuesta de esquemas criptográficos y de transmisión para arquitecturas LPWAN en eHealth*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/203177>
- Alvarado Angie. (2024). *Alternativas para mejorar la eficiencia de combustión de motores diésel marinos y reducir la contaminación del aire*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100005>
- Alvear, V., Paul, R., Peluffo, D., & Pijal, J. (2017). *Internet de las Cosas y Visión Artificial, Funcionamiento y Aplicaciones: Revisión de Literatura (Internet of Things and Artificial Vision, Performance and Applications: Literature Review)* (8; Número 1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.121>
- Amiot, B. (2021, noviembre 11). *LoRaWAN® is secure (but implementation matters)*.
<https://resources.lora-alliance.org/security/lorawan-is-secure-but-implementation-matters>
- Angulo, M., & Velásquez, Freddy. (2017). *Diseño de un esquema de integración de tecnologías “IoT” de los sistemas de seguridad electrónica*. [Universidad del Pacífico].
<https://repositorio.unipacifico.edu.co/handle/unipacifico/379>
- Armijos, R. (2022). *SISTEMA MÓVIL CON GEOLOCALIZACIÓN PARA LA MOVILIDAD DE PERSONAS NO VIDENTES EN LA INSTITUCIÓN ANVIZSUC*.

Baltuille, P. (2023, junio 15). *LoRaWAN y su aportación a las tecnologías IIoT*. Incibe.es.

<https://www.incibe.es/incibe-cert/blog/lorawan-y-su-aportacion-las-tecnologias-iiot>

Becolve Digital. (2020, diciembre 6). *Parámetros regionales de LoRaWAN*. Becolve Digital.

<https://becolve.com/blog/parametros-regionales-de-lorawan/>

Becolve Digital. (2022, junio 14). *Conceptos básicos que te ayudarán a entender LoRa y LoRaWAN en*

minutos. Becolve Digital. [https://becolve.com/blog/conceptos-tecnicos-basicos-que-te-ayudaran-a-](https://becolve.com/blog/conceptos-tecnicos-basicos-que-te-ayudaran-a-entender-lora-y-lorawan-low-power-wide-area-network-en-pocos-minutos/)

[entender-lora-y-lorawan-low-power-wide-area-network-en-pocos-minutos/](https://becolve.com/blog/conceptos-tecnicos-basicos-que-te-ayudaran-a-entender-lora-y-lorawan-low-power-wide-area-network-en-pocos-minutos/)

Buitrago, L. M., Hernandez, J., & Manrique, M. A. (2019). *Redes LoRaWAN revisión de componentes*

funcionales en aplicaciones IoT. <http://hdl.handle.net/11349/22411>

Burbano Jaime, Andrade Diego, & Brigss Stalin. (2023). *“Análisis de factibilidad y diseño de una red*

LoRaWAN en cuenca para la comunicación de una red de sensores ambientales, Administrada por el

instituto de estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE)”.

<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13741>

Catsensors. (s. f.). *Tecnología LoRa y LoRaWAN*. Catsensors.com. Recuperado 17 de febrero de 2025, de

<https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>

Catsensors.com. (2025). *Catsensors: Sensores e instrumentación industrial*.

<https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>

Celi, E. (2024, noviembre 20). *Azuay y Loja han sido las provincias más afectadas por los incendios en*

2024. <https://www.primicias.ec/sociedad/azuay-loja-incendios-fuego-hectareas-2024-83860/>

Chalup, Y. (2024, febrero 23). *Tecnología y medio ambiente: una lucha entre daños y beneficios*.

Telefónica. [https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/tecnologia-medio-ambiente-](https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/tecnologia-medio-ambiente-lucha-entre-danos-beneficios/)

[lucha-entre-danos-beneficios/](https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/tecnologia-medio-ambiente-lucha-entre-danos-beneficios/)

- Comité Técnico de la LoRa Alliance®. (s. f.). *LoRaWAN™ Security*. LoRaWAN® Is Secure (but Implementation Matters). Recuperado 17 de febrero de 2025, de https://loralliance.org/resource_hub/lorawan-is-secure-but-implementation-matters/
- Data Alliance. (2024). *Cables y adaptadores U.FL*. Data Alliance. <https://www.data-alliance.net/es/cables-y-adaptadores-ufl>
- DCM Sistemas. (2025). *Medidas de luz*. DCM Sistemas. <https://www.dcmsistemas.com/es/documentacion/informacion-adicional/2/medidas-de-luz/>
- Del Rosario, E. (2020, septiembre 25). *Dispositivos LoRa*. GIRNI Grupo de Investigación de Redes de Información Inalámbricas. <https://blog.espol.edu.ec/girni/dispositivos-lora-indice/>
- Dirección de Planificación e Inversión MAAE. (2021). *Plan-Estrategico-Institucional-Maae*. 47–48. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/04/PLAN-ESTRATEGICO-INSTITUCIONAL-MAAE.pdf>
- Ferney, W., Garzón, L., Camilo, J., & López, C. (2019). *Tecnología internet of things (IoT) y el big data*. *Internet of Thing (IoT) technology and the big data*. <https://doi.org/https://doi.org/10.52948/mare.v1i1.183>
- Green Rights Coalition. (2023). *El deber de cuidar el medio ambiente*. GreenRightsCoalition. <https://www.greenrightscoalition.org/es/duty-take-care-environment>
- Heltec Automation. (s. f.). *WiFi LoRa 32 (V2)*. Heltec Automation. Recuperado 16 de febrero de 2025, de <https://heltec.org/project/wifi-lora-32v2/>
- Heltec Automation. (2025). *WiFi LoRa 32(V3)*. <https://heltec.org/project/wifi-lora-32-v3/>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación : las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2025). *Aplicaciones Web – INAMHI*. Aplicaciones Web – INAMHI. <https://servicios.inamhi.gob.ec/aplicaciones-web/>

- Jabbar, W. A., Subramaniam, T., Ong, A. E., Shu'lb, M. I., Wu, W., & de Oliveira, M. A. (2022). LoRaWAN-Based IoT System Implementation for Long-Range Outdoor Air Quality Monitoring. *Internet of Things (Netherlands)*, 19, 22. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100540>
- Ketlun, M. del Mar. (2020). Fases y redes en la metodología del Design Thinking. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, 78, 91–102. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi78.3663>
- LoRa alliance®. (2023, noviembre 3). *About LoRaWAN® - LoRa alliance®*. . LoRa alliance®. . <https://loralliance.org/about-lorawan/>
- Lozada, J. O. (2014). *Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria*.
- 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
- Martinez, J. (2018, julio 13). *Zonas de Fresnel en un radioenlace*. PRORED. <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>
- Martínez, O. J., Asesor, A., Enrique, J., & Pena, A. (2024). *Seguridad y eficiencia de redes LoRa y LoRaWAN para estacionamientos*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/66396>
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.12.005>
- Mendoza-Pinto, L. M., Espinosa-Trujillo, M. J., & Peet-Manzón, J. H. (2019). Red de sensores de humedad y temperatura de bajo costo. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, 11–18. <https://doi.org/10.35429/jea.2019.18.6.11.18>
- Morales-Alvarez, J. P., Rodríguez-Abdaí, V. I., R Maciel-Barboza, F. M., Castillo-Soria, F. R., ogico Nacional, T. M., & campus La Paz, exico. (2021). *Descriptive survey of LoRaWAN and specific applications*

Estudio descriptivo de LoRaWAN y aplicaciones específicas (Vol. 15, Número 1).

<http://difu100cia.uaz.edu.mx/index.php/difuciencia/article/view/224>

Mouser Electronics. (2025). *DHT11 Herramientas de desarrollo de sensores*.

<https://doi.org/https://orcid.org/0000-0002-2086-2519>

Moya Quimbita, M. A. (2018). *Evaluación de pasarela LoRa/LoRaWAN en entornos urbanos*.

<https://riunet.upv.es:443/handle/10251/109791>

Pazmiño Sanches, C. A. (2021). *Protocolo LoRa para análisis de medición con Gps y arduino en la industria ganadera del Ecuador: una revisión sistemática*.

<https://doi.org/http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20340>

Pérez, D., & Risc, R. (2019). Implementación de Lora y Lorawan como escenario futuro de la industrias 4.0 en el sector agroindustrial peruano. *Campus*, 25(29), 11–11.

<https://doi.org/10.24265/campus.2019.v25n29.10>

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>

Placido, S. (2024, marzo 18). *Metodología para la Validación de Datos de Sensores de Bajo Costo, suplementarios e informativos no*. Colnodo Red de Desarrollo Sostenible. https://rds.org.co/apc-aa-files/ba03645a7c069b5ed406f13122a61c07/1metodologia-para-la-validacion-de-datos-de-sensores-ambientales-de-bajo-costo.pdf?utm_source=chatgpt.com

Ramos, E. R., Otalora, A., & Fuentes Remmy Ignacio. (2022). Desarrollo de una plataforma de monitoreo para una red de dispositivos IOT empleando tecnología Lorawan. *Journal Boliviano de Ciencias*, 18, 6–25. <https://doi.org/10.52428/20758944.v18i53.371>

Rawat, A. S., Rajendran, J., Ramiah, H., & Rana, A. (2020a). LORA (Long Range) and LORAWAN technology for IoT applications in Covid-19 pandemic. *Proceedings - 2020 International Conference on*

Advances in Computing, Communication and Materials, ICACCM 2020, 2020-August, 3.

<https://doi.org/10.1109/ICACCM50413.2020.9213067>

Rawat, A. S., Rajendran, J., Ramiah, H., & Rana, A. (2020b). LoRa (Long Range) and LoRaWAN Technology for IoT Applications in COVID-19 Pandemic. *2020 International Conference on Advances in Computing, Communication & Materials (ICACCM)*, 419–422.

<https://doi.org/10.1109/ICACCM50413.2020.9213067>

Sabando, E., Marlon, N., & Zambrano, J. (2023). *Review of studies on sensor networks for CO 2 monitoring*. 16(4), 24–41. <http://publicaciones.uci.cu>

Semtech. (s. f.). *What is LoRa?* Semtech. Recuperado 15 de febrero de 2025, de

<https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>

Sifuentes De La Hoya, E., González Landaeta, R., Gabriel, M. I., Martínez, B., Reyna, I., & Moreno Hernández, G. (2015). *NODO SENSOR INALÁMBRICO PARA MEDIR ILUMINACIÓN*.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7129026>

TEKTELIC. (s. f.). *LoRa Antenna*. TEKTELIC. Recuperado 17 de febrero de 2025, de

<https://tektelic.com/what-it-is/lora-antenna/>

Tenecela Edwin. (2021). *Evaluación de la factibilidad de la tecnología LoRa WAN en el monitoreo ambiental de zonas con alto índices de contaminación de la ciudad de Azogues*.

<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/12100>

The Things Network. (s. f.-a). *RSSI and SNR*. The Things Network. Recuperado 17 de febrero de 2025, de

<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/rssi-and-snr/>

The Things Network. (s. f.-b). *Security*. The Things Network. Recuperado 17 de febrero de 2025, de

<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/security/>

Torres, C., & Andrade, J. (2022). *PROTOTIPO DE UN BASURERO INTELIGENTE CON UN SISTEMA DE NOTIFICACIONES BASADO EN ARDUINO Y SENSORES* [Instituto Tecnológico Superior Particular

Sudamericano]. <https://repositorio.sudamericano.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b664a2f5-9c1a-4e55-959f-7ec700dc5a94/content>

Vega, A. (2024, septiembre 5). *La calidad del aire en Cuenca, un llamado a la acción para la comunidad*.

Universidad del Azuay. <https://www.uazuay.edu.ec/noticias/la-calidad-del-aire-en-cuenca-un-llamado-la-accion-para-la-comunidad>

Zafra-Pérez, A., Medina-García, J., Boente, C., Gómez-Galán, J. A., Sánchez de la Campa, A., & de la Rosa,

J. D. (2024). Designing a low-cost wireless sensor network for particulate matter monitoring:

Implementation, calibration, and field-test. *Atmospheric Pollution Research*, 15(9), 102208.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apr.2024.102208>

Zhao, H., Kam, K. A., Kymissis, I., Mailloux, B. J., & Culligan, P. J. (2024). A LoRaWAN-based environmental

sensing network for urban green space monitoring with demonstrated application for stormwater

management. *Sustainable Cities and Society*, 115, 10. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105852>