



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

**Implementación de una red LoRaWAN segura aplicando el firmware
Meshtastic dentro de la agricultura de precisión.**

**CORREA ROMERO HUMBERTO GONZALO
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**CUN VALENCIA ROBERT DANIEL
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**MACHALA
2022**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

**Implementación de una red LoRaWAN segura aplicando el
firmware Meshtastic dentro de la agricultura de precisión.**

**CORREA ROMERO HUMBERTO GONZALO
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**CUN VALENCIA ROBERT DANIEL
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**MACHALA
2022**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

PROPUESTAS TECNOLÓGICAS

**Implementación de una red LoRaWAN segura aplicando el
firmware Meshtastic dentro de la agricultura de precisión.**

**CORREA ROMERO HUMBERTO GONZALO
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**CUN VALENCIA ROBERT DANIEL
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

HERNANDEZ ROJAS DIXYS LEONARDO

**MACHALA
2022**

Tesis Humberto y Cun

por Humberto Cun

Fecha de entrega: 15-sep-2022 03:04p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1900713711

Nombre del archivo: Documento_Final_-_Correa_-_Cun_-_TURNITIN.pdf (5.28M)

Total de palabras: 16648

Total de caracteres: 85214

Tesis Humberto y Cun

INFORME DE ORIGINALIDAD

2%

INDICE DE SIMILITUD

1%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

1%

2

Vilela, Jéssyka, Jaelson Castro, Luiz Eduardo G. Martins, and Tony Gorschek. "Integration between requirements engineering and safety analysis: A systematic literature review", *Journal of Systems and Software*, 2017.

Publicación

1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 101 words

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, CORREA ROMERO HUMBERTO GONZALO y CUN VALENCIA ROBERT DANIEL, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Implementación de una red LoRaWAN segura aplicando el firmware Meshtastic dentro de la agricultura de precisión., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

H. Correa R

CORREA ROMERO HUMBERTO GONZALO

0704660935

Robert

CUN VALENCIA ROBERT DANIEL

0706079217



UTMACH

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED IOT SEGURA BASADA EN LORAWAN Y
MESHTASTIC APLICADA A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

**CORREA ROMERO HUMBERTO GONZALO
ROBERT VALENCIA DANIEL CUN**

**MACHALA
2022**



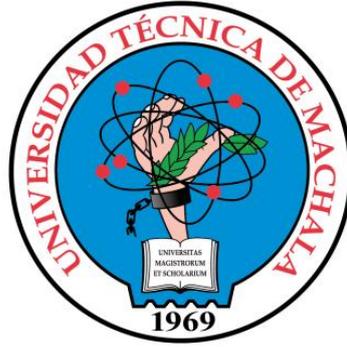
UTMACH

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED IOT SEGURA BASADA EN LORAWAN Y
MESHTASTIC APLICADA A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

**CORREA ROMERO HUMBERTO GONZALO
ROBERT VALENCIA DANIEL CUN**

**MACHALA
2022**



UTMACH

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PROPUESTAS TECNOLÓGICAS

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED IOT SEGURA BASADA EN LORAWAN Y
MESHTASTIC APLICADA A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

**CORREA ROMERO HUMBERTO GONZALO
ROBERT VALENCIA DANIEL CUN**

HERNANDEZ ROJAS DIXYS LEONARDO

MACHALA, 17 DE ENERO DE 2022

**MACHALA
2022**

DEDICATORIA

Autor: Robert Daniel Cun Valencia

El presente trabajo está dedicado a mis familiares, especialmente a mi padre cuyo esfuerzo se encuentra reflejado dentro del presente trabajo, cada uno de los logros que he alcanzado a lo largo de este proceso concluye en este punto, donde proyecto todos mis conocimientos, motivaciones, valores y enseñanzas para poder enorgullecer a cada uno de ellos.

Autor: Humberto Gonzalo Correa Romero

El presente trabajo está dedicado a mis familiares, especialmente a mi madre cuya paciencia y consejos me dieron ese soporte para alcanzar todas mis metas y objetivos dentro del proyecto de integración ejecutado.

AGRADECIMIENTO

Autor: Robert Daniel Cun Valencia

De manera especial agradezco a mi familia, compañeros y profesores durante estos años, los cuales fueron los pilares de nuestra motivación y apoyo moral durante todo este proceso académico, en especial a mi tutor Ing. Dixys Hernández, el cual confió plenamente en nuestro esfuerzo, conocimiento y ganas de hacer las cosas para un bien en común.

A la Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Carrera de Tecnologías de la información por acogerme en su institución y poder confiar en mis habilidades tanto como estudiante como ser humano.

Autor: Humberto Gonzalo Correa Romero

De manera especial agradezco a mi familia, amigos los cuales, durante estos años, fueron los pilares de mi motivación durante todo este proceso académico, en especial a mi tutor el Ing. Dixys Hernández, el cual confió plenamente en mi esfuerzo, conocimiento.

A la Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Carrera de Tecnologías de la información por acogerme en su institución y poder confiar en mis habilidades tanto como estudiante como ser humano.

RESUMEN

Las tecnologías actuales de comunicación son indispensables en cualquier área en la que involucre cierta gestión de información. En tiempos actuales tanto la seguridad como la transparencia de los datos se han vuelto en temas de mayor atención, hasta el punto en el que no tenemos una clara idea si nuestra información es completamente privada o segura por lo que es necesario un tipo diferente de redes de comunicación, ya sea por una limitación de distancia o energía para que esta funcione correctamente o por el simple hecho de que esta sea privada.

En el presente trabajo de investigación se implementó una red de comunicación IoT mediante el uso de la red LoRaWAN a partir del firmware Meshtastic para el envío de información en el contexto de la agricultura de precisión de manera segura con poco consumo de energía, siguiendo las directrices proporcionadas a partir de la Metodología IoTM.

Mediante el uso de recursos bibliográficos para la recopilación de información sobre la red LoRaWAN como del firmware Meshtastic, se procedió con la adquisición de cada uno de los dispositivos que posteriormente fueron configurados dependiendo del rol que iba a desempeñar cada uno, para este caso, se establecieron dos nodos los cuales actuaron de recolectores de datos ambientales, uno como intermediario que permitió la línea vista entre los nodos recolectores y el Gateway. En el caso de los dos nodos recolectores, estos tuvieron la tarea de enviar datos de temperatura y humedad hacia el nodo intermediario y luego al Gateway donde fueron transmitidos vía MQTT y almacenado en una base de datos para que posteriormente sean presentados en un dashboard, donde se visualizó información como el ultimo valor de temperatura como de humedad y un diagrama con los valores totales, esto con el fin de que la experiencia de usuario sea agradable y sencilla.

Inicialmente se ejecutaron resultados para comprobar si la Mesh en efecto estaba funcionando, esto se lo consiguió a partir del envío de un mensaje desde un nodo y este fue receptado hacia los otros que estuvieran conectados y que estén en el canal donde se envió la información. Posteriormente se ejecutaron pruebas para ver la seguridad de la red Mesh frente a otros dispositivos, como lo es el caso de la implementación de un “Nodo Pirata” y el de observar si los datos enviados están correctamente encriptados o no y la de latencia, esto para ver el tiempo que se demora cada nodo en recibir y transmitir un mensaje hacia los diferentes nodos, el cual dieron resultados favorables y su tiempo fue bueno, es decir, al momento de calcular el promedio de cada prueba ejecutada se dieron tiempos menores a los 20 segundos, donde el mayor fue de 17,4 segundos, esto debido a que al tener dos nodos el tiempo aumenta en comparación a cuando se

ejecutó la prueba pero con un solo nodo, para este caso fue de 14,8 segundos. Con la información adquirida a partir de estas pruebas, se procedió con la prueba de pérdida de paquetes, a cuál fue dividida a partir de la distancia que se ubicaba cada nodo, comenzado por una distancia mínima hasta la prueba final, la cual iba desde la ciudad de Machala hasta la finca Happy Fruit en la ciudad de Arenillas, la cual tenía una distancia aproximada de 33.5km.

Una vez recopilados los datos de cada una de las pruebas hechas, se llegó a la conclusión de que la red cumple con los requerimientos y objetivos planteados.

PALABRAS CLAVE: LoRaWAN, MQTT, Dashboard, agricultura de precisión.

ABSTRACT

Current communication technologies are essential in any area that involves some information management. In current times, both security and transparency of data have become issues of greater attention, to the point where we do not have a clear idea if our information is completely private or secure, so a different type of network is necessary. of communication, either due to a limitation of distance or energy for it to work correctly or for the simple fact that it is private.

In the present research work, an IoT communication network was implemented through the use of the LoRaWAN network from the Meshtastic firmware to send information in the context of precision agriculture in a safe way with little energy consumption, following the guidelines provided from the IoTM Methodology.

Through the use of bibliographic resources for the collection of information on the LoRaWAN network such as the Meshtastic firmware, each of the devices was acquired, which were later configured depending on the role that each one was going to play, for this case, two nodes appeared which acted as environmental data collectors, one as an intermediary that allowed the line of sight between the collecting nodes and the Gateway. In the case of the two collector nodes, they had the task of sending temperature and humidity data to the intermediary node and then to the Gateway where they were transmitted via MQTT and stored in a database so that they can later be presented on a dashboard, where Information such as the last temperature and humidity value and a diagram with the total values were displayed, in order to make the user experience pleasant and simple.

Initially, results were executed to check if the mesh was indeed working, this was achieved by sending a message from a node and this was received by the others that were connected and that are in the channel where the information was sent. Subsequently, tests were carried out to see the

security of the Mesh network compared to other devices, such as the case of the implementation of a "Pirate Node" and to observe if the data sent is correctly encrypted or not and the latency, this to see the time it takes for each node to receive and transmit a message to the different nodes, which gave favorable results and its time was good, that is, when calculating the average of each executed test, times were lower than those 20 seconds, where the longest was 17.4 seconds, this is due to the fact that having two nodes increases the time compared to when the test was executed but with a single node, in this case it was 14.8 seconds. With the information obtained from these tests, the packet loss test was carried out, which was divided based on the distance that each node was located, starting with a minimum distance until the final test, which went from the city of Machala to the Happy Fruit farm in the city of Arenillas, which had an approximate distance of 33.5km.

Once the data of each of the tests carried out was collected, it was concluded that the network meets the requirements and objectives set.

KEYWORDS: LoRaWAN, MQTT, Dashboard, Smart farming

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	X
GLOSARIO	XI
INTRODUCCIÓN	1
i. Declaración y formulación del Problema	2
ii. Objeto de estudio y Campo de acción	4
iii. Objetivos	4
iv. Hipótesis y variables o Preguntas de investigación	4
v. Justificación	5
vi. Organización del Documento	6
1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	7
1.1. Antecedentes de la Investigación	7
1.2. Antecedentes Teóricos	13
1.2.1. Internet de las Cosas	14
1.2.1.1. Generalidades de IoT	14
1.2.2. Paradigmas computacionales	15
1.2.2.1. Edge/Fog Computing	15
1.2.2.2. Cloud Computing	16
1.2.3. Componentes del Ecosistema	16
1.2.3.1. Capa de Percepción	17
1.2.3.2. Capa de red	17
1.2.4. Herramientas de Monitorización y Gestión de los datos	17
1.2.4.1. Node-red	17
1.2.4.2. Grafana	18
1.2.4.3. InfluxDB	18
1.2.5. Red amplia de baja potencia (LPWAN)	18
1.2.5.1. LoRaWAN	19
LoRa Mesh	19
Meshtastic	20
1.2.6. Agricultura de Precisión	21

1.3.	Antecedentes Contextuales	22
1.3.1.	Ámbito de aplicación	22
1.3.2.	Establecimiento de requerimientos	22
2.	CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL PROTOTIPO	23
2.1.	Definición del prototipo	23
2.2.	Metodología de desarrollo del prototipo	24
2.2.1.	Enfoque, alcance y diseño de investigación	24
2.2.2.	Unidades de análisis	25
2.2.3.	Técnicas e instrumentos de recopilación de datos	25
2.2.4.	Técnicas de procesamiento de datos para la obtención de resultados	25
2.2.5.	Metodología o métodos específicos	25
2.2.6.	Herramientas y/o Materiales	26
2.3.	Desarrollo del prototipo	28
2.4.	Ejecución del prototipo	39
3.	CAPITULO III. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO	49
3.1.	Plan de evaluación	49
3.2.	Resultados de la evaluación	56
4.	CONCLUSIONES	80
5.	RECOMENDACIONES	81
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
7.	ANEXOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Variables y dimensionamiento	5
Tabla 2.	Preguntas de Investigación en español	8
Tabla 3.	Preguntas de Investigación en inglés	8
Tabla 4.	Criterios de inclusión y exclusión en español	10
Tabla 5.	Criterios de inclusión y exclusión en inglés	11
Tabla 6.	Técnicas e instrumentos de recopilación de datos	25
Tabla 7.	Metodología o métodos específicos	26
Tabla 8.	Responsables del desarrollo del prototipo	29
Tabla 9.	Requisitos funcionales o no funcionales del prototipo	29
Tabla 10.	Configuración del Gateway	33
Tabla 11.	Configuración de los nodos	33
Tabla 12.	Cambio de intervalo de actualización de los nodos	34
Tabla 13:	Planificación de las pruebas	50
Tabla 14:	Prueba Latencia - Nodo I y Gateway	74
Tabla 15:	Prueba Latencia - Nodo I, II y Gateway	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Declaración del problema	3
Ilustración 2. Procesos y resultados de la búsqueda	11
Ilustración 3. Ejemplos de diagrama de cantidad de trabajos por año	12
Ilustración 4. Resultado de la cadena de búsqueda mediante VosViewer	12
Ilustración 5. Resultados de trabajos por año de la base de datos Scopus	13
Ilustración 6. Antecedentes teóricos	13
Ilustración 7. Definición del Prototipo	23
Ilustración 8. Metodología IOTM	28
Ilustración 9. Bosquejo del Prototipo	30
Ilustración 10. Descarga del Firmware Meshtastic	31
Ilustración 11. Flujos en Node-Red	37
Ilustración 12. Dashboard en Grafana	38
Ilustración 13. Consultas SQL	38
Ilustración 14 Vista previa de cada dispositivo	39
Ilustración 15 Posicionar Gateway para las pruebas	40
Ilustración 16 Posicionar Gateway para las pruebas 2	40
Ilustración 17 Posición de los nodos y Gateway	41
Ilustración 18 Resultados del Script de Python	42
Ilustración 19 Resultados en Node Red	42
Ilustración 20 Resultados en InfluxDB	43
Ilustración 21 Resultados en Grafana Nodo 1	43
Ilustración 22 Resultados en Grafana Nodo 2	43
Ilustración 23 Resultados en Grafana Nodo 3	44
Ilustración 24: Perfil de elevación entre puntos, Arenillas	44
Ilustración 25: Perfil Finca Happy Fruit - recolección de datos	45
Ilustración 26: Radio entre Finca y hogar Arenillas	46
Ilustración 27: Enlaces Arenillas – Machala	47
Ilustración 28: Línea vista Arenillas – Machala	47
Ilustración 29: Antena FrSky Super 8	48
Ilustración 30: Resumen de la disposición de los dispositivos	48
Ilustración 31: Resultados de la prueba Machala - Finca Happy Fruit	49
Ilustración 32: Escenario 1 - Nodo Pirata	51
Ilustración 33: Escenario 2 - Visibilidad de los Datos	52
Ilustración 34: Escenario 3 – Mesh	53
Ilustración 35: Escenario 4.1 - indoor con línea vista	53
Ilustración 36: Escenario 4.2 - indoor con obstáculos	54
Ilustración 37: Escenario 4.3 - campo abierto con distancia media	54
Ilustración 38: Escenario 4.4 - Distancia final Arenillas – Machala	55
Ilustración 39: Escenario 5 - Latencia	55
Ilustración 40: Nodo Pirata	56
Ilustración 41: Resultados del Gateway	56
Ilustración 42: Mensaje enviado	57
Ilustración 43: Resultados por MQTT	57

Ilustración 44: Resultados Wireshark - Mensaje desencriptado	58
Ilustración 45: Mensaje encriptado	59
Ilustración 46: Resultados en Wireshark - Mensaje Encriptado	59
Ilustración 47: Mensaje enviado desde el Gateway	59
Ilustración 48: Mensaje recibido al Gateway - MeshtestOne	60
Ilustración 49: Mensaje recibido al Nodo I - MeshtestOne	60
Ilustración 50: Mensaje recibido al Nodo II - MeshtestOne	61
Ilustración 51: Mensaje recibido al Nodo III - MeshtestOne	61
Ilustración 52: Mensaje enviado desde el Gateway - MeshtestTwo	62
Ilustración 53: Mensaje recibido al Gateway - MeshtestTwo	62
Ilustración 54: Mensaje recibido al Nodo I - MeshtestTwo	62
Ilustración 55: Mensaje recibido al Nodo III - MeshtestTwo	63
Ilustración 56: Vista previa indoor con línea vista	63
Ilustración 57: Información recogida del Nodo I	64
Ilustración 58: Información Recogida del Nodo II	64
Ilustración 59: Información Recogida del Nodo III	65
Ilustración 60: Resultados prueba indoor con línea vista	65
Ilustración 61: Distribución de cada Nodo	66
Ilustración 62: Información recogida Nodo I - indoor con obstáculo	67
Ilustración 63: Información Recogida Nodo II - indoor con obstáculo	67
Ilustración 64: Información Recogida Nodo III - indoor con obstáculo	68
Ilustración 65: Resultado prueba indoor con obstáculos	68
Ilustración 66: Información recogida de los Nodos	69
Ilustración 67: Resultados prueba de campo abierto con distancia media	69
Ilustración 68: Información Recogida Nodo I - Distancia final	70
Ilustración 69: Información Recogida Nodo II - Distancia Final	70
Ilustración 70: Resultado prueba distancia Final Arenillas - Machala	71
Ilustración 71: Análisis de los Resultados de la Perdida de Paquetes	78
Ilustración 72: Análisis Perdida de Paquetes - Comparación con otros trabajos	79
Ilustración 73: Análisis de los resultados de la Latencia	79
Ilustración 74: Análisis Latencia - Comparación con otros trabajos	80

GLOSARIO

Agricultura de Precisión: Se considera como un sistema de producción agrícola actual que tiene el objetivo de mejorar la productividad y la calidad mediante la observación y el manejo cuidadoso del clima, suelo y las condiciones del suelo.

Internet de las Cosas: Dispositivos u objetos interrelacionados conectados a través del internet, los cuales permiten recopilar y transferir datos a partir de una conexión inalámbrica

LoRaWAN: Es un protocolo de red de área amplia de bajo consumo a partir de la modulación de radio LoRa, los dispositivos son conectados de forma inalámbrica y son gestionados a partir de nodos y Gateways o puertas de enlace de red.

Mesh: Conexión de dispositivos en malla, es decir, en caso que un dispositivo o nodo se desconecte o quede fuera de línea, el nodo siguiente cogerá su lugar, para que así la malla no se rompa.

Meshtastic: Proyecto que recoge todo el tema relacionado con LoRaMesh, es decir, a partir de su firmware nos permite tener una red de comunicación de bajo consumo, la cual ayuda a transferir información en texto plano útil en casos como algún tipo de desastre natural o para el análisis de datos ambientales.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías inalámbricas utilizadas para transmitir datos de un sitio a otro van evolucionando cada día y se vuelven más sofisticadas en cuestiones de eficiencia y rapidez. La necesidad de transmitir información mediante una red de bajo consumo cuando se trata de datos ambientales en el área de la agricultura de precisión se ha vuelto en algo primordial al momento de monitorizar el estado de los cultivos. Las redes LPWAN son la mejor opción para este caso debido a su largo alcance y bajo consumo energético.

La finalidad de este trabajo fue satisfacer la necesidad de una red de comunicación de bajo consumo que permite el transporte de información ambiental de los cultivos de manera segura y en tiempo real para el control y toma de decisiones en la Finca Happy Fruit.

i. Declaración y formulación del Problema

Declaración del problema

A nivel mundial está ocurriendo una privación de nuestra seguridad dentro de las redes de comunicación. Así como una dependencia del internet para el transporte de la información. En sus inicios, el internet no estaba tan saturado de empresas que deseen la información del usuario y el desconocimiento de las personas, hacía que buscarán distintas formas de comunicación y envío de información. Sin embargo, una vez que el internet se masificó y tomó cabida en la mayoría de hogares del mundo, los datos que transitan internet se volvieron valiosos no solo para empresas privadas, sino también para gobiernos. Además, existen proyectos en los que el internet no es la opción más eficiente o incluso no es posible de implementar debido a la lejanía a los proveedores y el alto consumo energético de los equipos necesarios para su uso.

En América Latina es muy común que los servicios de internet no estén disponibles en zonas un poco más alejadas de la ciudad, ya sea por la falta de recursos o falta de interés por parte de los proveedores de internet, dificultando en gran medida a la comunicación con las partes más rurales de cada región, y, por tanto, generando mayor falta de interacción con la sociedad.

El Ecuador siendo un país agrícola, tiene muchos sectores destinados a la agricultura en los que el servicio de internet no está disponible. En la agricultura de precisión es necesario una red de datos en la cual la información pueda ser transportada rápidamente para ser medida, administrada y/o utilizada para tomar decisiones en tiempo real o en el menor tiempo posible.

El presente trabajo de integración curricular se desarrolló dentro de la finca Happy Fruit. Los encargados tienen un mejor control de los datos de los cultivos como temperatura y humedad. Se utilizó las redes de bajo consumo y gran alcance como LoRaWAN y el proyecto Meshtastic para transportar la información, esto es por causa de que los empleados de la finca se encuentran en distintas partes de la ciudad y gracias a esta nueva forma de enviar y recibir información pueden monitorear los datos y tomar decisiones en tiempo real sin la necesidad de trasladarse hacia la finca.



Ilustración 1. Declaración del problema

Fuente: Autores

En la **Ilustración 1.** se describen las causas y efectos de la problemática planteada dentro del proyecto de investigación, la cual trata de la necesidad de una red de comunicación de bajo consumo que permita el transporte de información ambiental de los cultivos de manera segura en la finca Happy Fruit desde Arenillas hasta Machala durante el periodo 2022.

Formulación del problema

Problema principal:

- Necesidad de una red de comunicación de bajo consumo y de larga distancia para el transporte de información ambiental de los cultivos de manera segura en la Finca Happy Fruit desde Arenillas hasta Machala durante el periodo 2022.

Problemas específicos:

- ¿Cómo enviar y recibir datos ambientales de los cultivos de la finca Happy Fruit?
- ¿Qué tecnología de conexión inalámbrica es la más indicada para la agricultura de precisión?
- ¿Cómo diseñar una red LPWAN?

ii. Objeto de estudio y Campo de acción

Objeto de estudio

- Comunicaciones inalámbricas LPWAN (Low Power Wide Area Network) en la agricultura de precisión aplicada a una finca.

Campo de acción

- Comunicación segura en el contexto de la agricultura de precisión aplicada en una finca.

iii. Objetivos

Objetivo General

- Implementar una red de comunicación IoT mediante LoRaWAN y Meshtastic para el envío de información en el contexto de la agricultura de precisión de manera segura con poco consumo de energía.

Objetivos específicos

- Realizar la búsqueda bibliográfica para la elaboración del estado del arte y marco teórico.
- Configurar el firmware para los dispositivos IoT para su control dentro de la red LoRaWAN.
- Implementar las antenas a cada uno de los dispositivos y la realización de pruebas dentro de la finca Happy Fruit.
- Implementar un dashboard para el monitoreo y control de datos en tiempo real en el contexto de la agricultura de precisión.
- Realizar depuración y pruebas de los dispositivos IoT para su correcto uso dentro del proyecto a desarrollar.

iv. Hipótesis y variables o Preguntas de investigación

Hipótesis principal

- ❖ La implementación de una red de bajo consumo y gran alcance en la finca Happy Fruit proporcionará una manera segura y eficiente la recolección de información ambiental de los cultivos.

Variables y dimensionamiento

Variables	Categorías	Indicadores	Técnicas
Variable Independiente: Redes de comunicación segura mediante LoRaWAN y Meshtastic.	Redes de baja potencia y área amplia. Open source, off-grid, hiking, climbing, skiing, GPS mesh communicator.	<ul style="list-style-type: none"> ● Red de Comunicación. ● Comunicación segura. ● Bajo consumo de energía. 	Recopilación de información para las redes de comunicación LoRaWAN.
Variable Dependiente: Recolección de información en la finca Happy Fruit.	<ul style="list-style-type: none"> ● Eficiencia. ● Seguridad. ● Rapidez. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Información. 	Recopilación de información.

Tabla 1. Variables y dimensionamiento

Fuente: Autores

v. Justificación

Con codificación de 128 bits de extremo a extremo, la información en una red LoRaWAN viaja encriptada y sin riesgos de pérdida o robo de datos. Con una red de comunicación propia con LoRaWAN, el usuario está exento de que al usar Wi-Fi y depender de proveedores de internet en proyectos que necesitan seguridad y la mayor eficiencia energética posible. Gracias al bajo consumo de LoRaWAN, los dispositivos inalámbricos conectados a la red pueden funcionar y enviar datos por varios meses, o incluso años sin la necesidad de cambio de baterías. Estas características hacen a LoRaWAN una tecnología muy recomendada en la agricultura de precisión, principalmente se usa en aplicaciones de monitoreo de baja potencia que requieren una batería de larga duración para nodos finales que se distribuyen en campos de amplio rango [1]. Comprender las condiciones ambientales es importante para la gestión agrícola, con esta información se toman decisiones para incrementar la calidad y cantidad de productos agrícolas. [2].

Nuestro proyecto pretende implementar una red IoT segura basada en LoRaWAN y Meshtastic aplicada en la agricultura de precisión dentro de la finca Happy Fruit para el envío de datos desde la ciudad de Arenillas hasta Machala.

vi. Organización del Documento

El presente documento está estructurado de la siguiente manera:

Capítulo 1: En este capítulo se presenta el marco teórico donde se detalla lo necesario para comprender los términos y herramientas utilizadas para el desarrollo del proyecto.

Capítulo 2: Se detalla el desarrollo del prototipo, además de definiciones, la metodología utilizada en el proyecto, el desarrollo y ejecución del prototipo.

Capítulo 3: Se presenta el plan de evaluación y los resultados, así como las conclusiones y recomendaciones.

1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la Investigación

La revisión sobre cada uno de los temas de investigación para este trabajo, se los realizó usando la metodología de Revisión Sistemática de la Literatura, cuyo fin principal dentro de cada trabajo de investigación es la de identificar, evaluar y resumir los resultados de trabajos anteriores que puedan aportar a la investigación la cual se está realizando actualmente.

a) Preguntas de investigación

Preguntas de Investigación	Descripción y motivación
RQ1. ¿Cuáles son los métodos para la transferencia de información segura a partir de redes de baja potencia?	El objetivo de esta pregunta es identificar los métodos por los cuales se puede transferir información segura a partir de redes de baja potencia
RQ1.1. ¿Cuáles son los tipos de redes para la transferencia de datos entre nodos?	El propósito de esta pregunta es la de definir los tipos de redes que sirven para la transferencia de datos entre nodos
RQ1.2. ¿Qué tipo de seguridad son aplicables para redes de baja potencia?	El objetivo de esta pregunta es identificar los tipos de seguridad que son aplicables a las redes de baja potencia
RQ1.3. ¿Cuáles son las herramientas aplicables para la agricultura de precisión dentro de redes de baja potencia?	Esta pregunta tiene como objetivo identificar las herramientas aplicables para la agricultura de precisión dentro de las redes de baja potencia.
RQ1.4. ¿Qué tipo de herramienta son útiles al momento de programar con dispositivos SoC?	El propósito de esta pregunta es la de conocer qué tipo de herramientas son útiles al momento de programar con dispositivos SoC, como los ESP32
RQ 2. ¿Qué problemas se identifican en la	Esta pregunta tiene como objetivo

investigación relacionada con LPWAN y LoRaWAN?	identificar los trabajos necesarios en esta área.
--	---

Tabla 2. Preguntas de Investigación en español

Fuente: Autores

En inglés:

Research Questions	Description and Motivation
RQ1. ¿What are the methods for the secure transfer of information from low-power networks?	The objective of this question is to identify the methods by which secure information can be transferred from low-power networks.
RQ1.1. ¿What are the types of networks for data transfer between nodes?	The purpose of this question is to define the types of networks that serve for the transfer of data between nodes.
RQ1.2. ¿What kind of security are applicable for low power networks?	The objective of this question is to identify the types of security that are applicable to low-power networks
RQ1.3. ¿What are the applicable tools for precision agriculture within low power networks?	This question aims to identify the applicable tools for precision agriculture within low power networks.
RQ1.4. ¿What kind of tools are useful when programming with SoC devices?	The purpose of this question is to know what kind of tools are useful when programming with SoC devices, such as ESP32
RQ 2. ¿What problems are identified in the research related to LPWAN and LoRaWAN?	This question aims to identify the jobs needed in this area

Tabla 3. Preguntas de Investigación en inglés

Fuente: Autores

a) Palabras claves y Cadena(s) de búsqueda

La cadena de búsqueda se especificó considerando los términos principales bajo investigación, mediante la realización de búsquedas piloto para refinar la cadena de búsqueda de forma iterativa. Se excluyeron palabras clave cuya inclusión no arrojó artículos adicionales en las búsquedas automáticas. Después de varias iteraciones, definimos la siguiente cadena de búsqueda utilizada para buscar en palabras clave, título, resumen y texto completo de las publicaciones:

(LoRaWAN OR LPWAN) AND (“use case” OR applications)

AND

(lorawan OR lpwan) AND (“precision agriculture” OR “smart agriculture” OR “smart farming” OR “agriculture 4.0”)

b) Criterios de inclusión y exclusión

En español:

#	Criterio de Inclusión
1	Estudios Primarios
2	Estudios que abordan en los objetivos el internet de las cosas, LoRaWAN, LPWAN y Meshtastic
3	Estudios publicados en cualquier año hasta octubre del 2022
4	Estudios que relacionan LPWAN y LoRaWAN
5	Estudios que relacionan LoRa Mesh y Meshtastic
#	Criterio de Exclusión
1	Estudios secundarios
2	Artículos Cortos (<=5 páginas)
3	Estudios duplicados
4	Artículos escritos que no sean en inglés o español
5	Estudios claramente irrelevantes para la investigación, teniendo en cuenta las preguntas de investigación

6	Literatura gris
7	Trabajo redundante de la misma autoría
8	Publicaciones cuyo texto no estaba disponible
9	Estudios cuyo enfoque no fue acerca del internet de las cosas, LoRaWAN, LoRa Mesh, Meshtastic.

Tabla 4. Criterios de inclusión y exclusión en español

Fuente: Autores

En inglés:

#	Inclusion Criterion
1	Primary studies
2	Studies that address the objectives of the internet of things, LoRaWAN, LPWAN and Meshtastic
3	Studies published in any year until October 2022
4	Studies linking LPWAN and LoRaWAN
5	Studies linking LoRaMesh and Meshtastic
#	Exclusion Criterion
1	Secondary studies
2	Short Articles (≤ 5 pages)
3	Duplicate studies
4	Articles written other than in English or Spanish
5	Studies clearly irrelevant to the research, taking into account the research questions
6	Gray literature
7	Redundant work of the same authorship

8	Publications whose text was not available
9	Studies whose focus was not on the internet of things, LoRaWAN, LoRa Mesh, Meshtastic.

Tabla 5. Criterios de inclusión y exclusión en inglés
Fuente: Autores

c) Proceso y resultados de la búsqueda

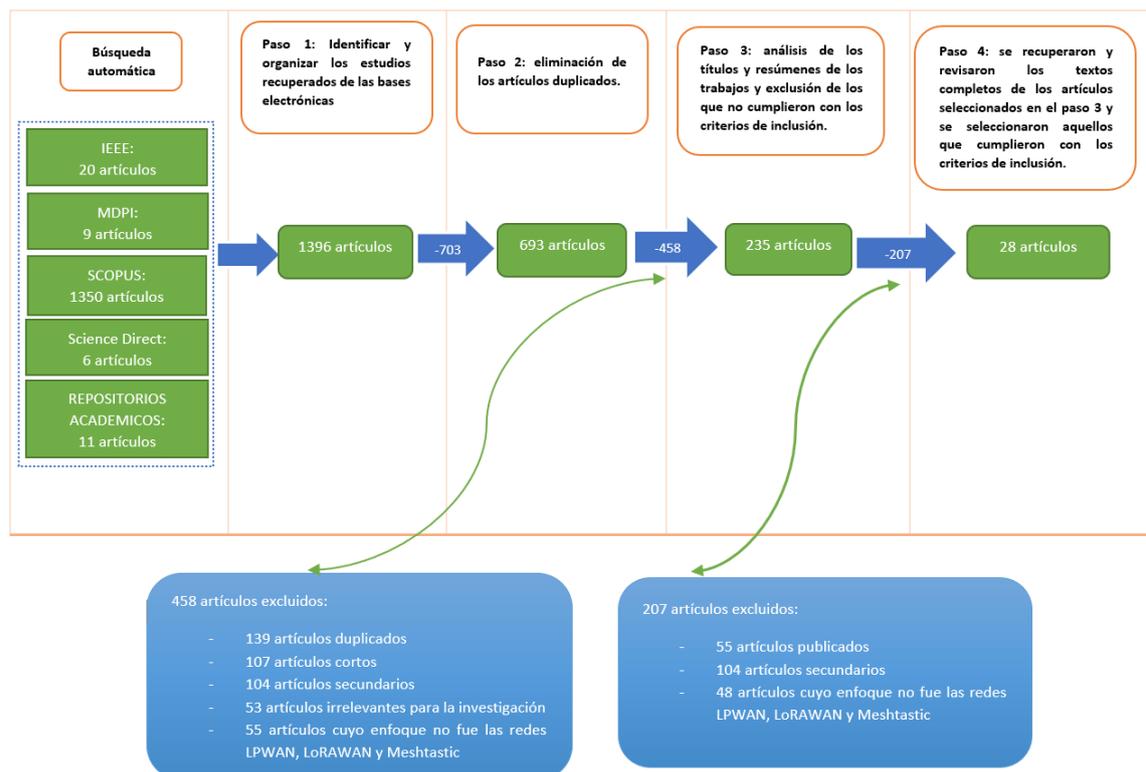


Ilustración 2. Procesos y resultados de la búsqueda

Fuente: Autores

En la **Ilustración 2.** se describe el proceso y resultado de la búsqueda bibliográfica, donde se detallan las bases de datos bibliográficos a utilizar dentro del proyecto de investigación, donde destacan IEEE, MDPI, SCOPUS, Science Direct y Repositorios Académicos. A partir de esta revisión general, se identificaron y organizaron los estudios recuperados de las bases electrónicas, las cuales sumaban 1369 artículos. Posteriormente, se eliminaron los artículos duplicados y se tomaron en cuenta otros aspectos como artículos cortos, secundarios, irrelevantes o que cuyo enfoque no se encontraba dentro de los temas de interés propuestos dentro del proyecto de investigación, quedando 28 artículos a considerar.

- Cantidad de trabajos por año



Ilustración 3. Ejemplos de diagrama de cantidad de trabajos por año

Fuente: Autores

En la **Ilustración 3**. Se detalla la cantidad de trabajos por año, los cuales fueron recopilados, analizados y seleccionados para el proyecto de investigación. El cual destaca que la mayoría de estos trabajos fueron escogidos dentro del año 2018 de las diferentes bases de datos bibliográficas descritas en la ilustración anterior.

A partir de la cadena de búsqueda creada, mediante la ayuda de la herramienta bibliográfica VosViewer, se ilustra el siguiente mapa:

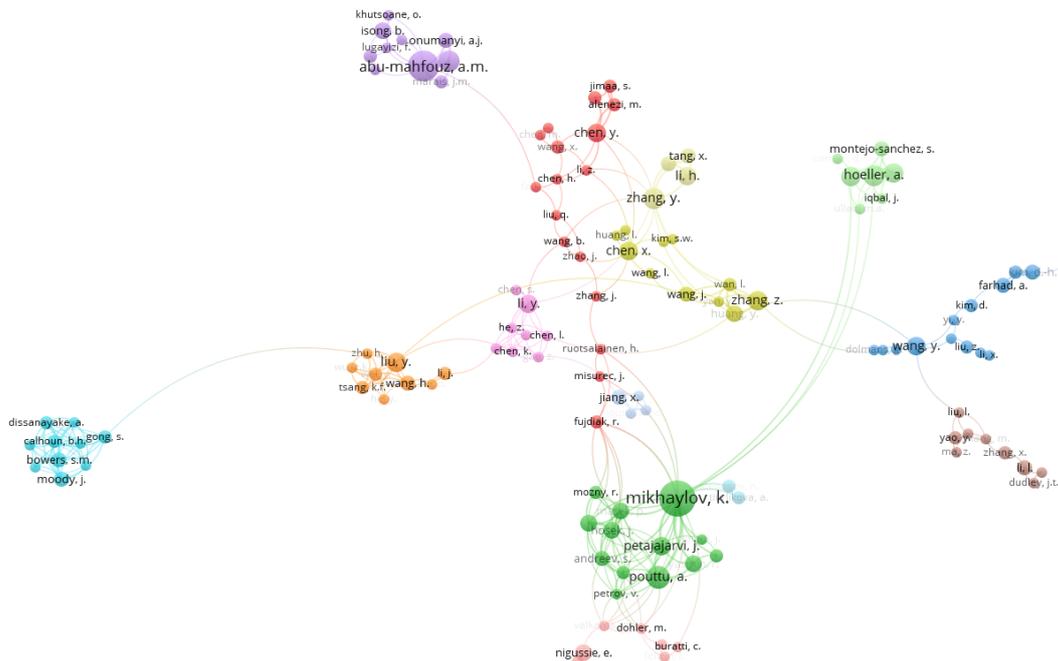


Ilustración 4. Resultado de la cadena de búsqueda mediante VosViewer

Fuente: VosViewer

En la **Ilustración 4**. se muestra el mapa obtenido en VosViewer a partir de la cadena de búsqueda elaborada anteriormente, en dicho mapa, se proyecta los nombres de los autores y la conexión de los trabajos que tienen entre estos.

Resultados a partir de la base de datos bibliográficas Scopus

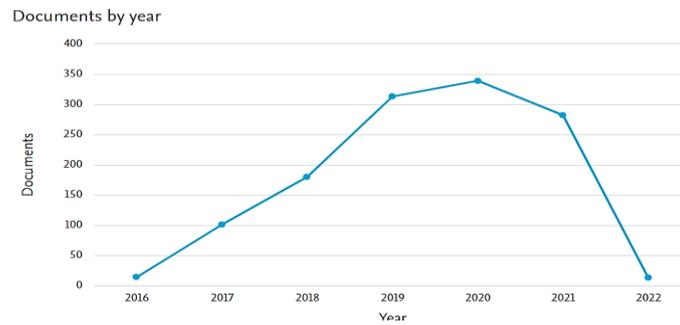


Ilustración 5. Resultados de trabajos por año de la base de datos Scopus

Fuente: Scopus

En la **Ilustración 5.** se muestran los trabajos por años a partir de la cadena de búsqueda elaborada, todo esto gracias a la correcta investigación dentro de la base de datos bibliográfica Scopus.

1.2. Antecedentes Teóricos

A continuación, se describen los temas y subtemas que van a ser tratados dentro del proyecto de investigación, donde destacan temas sobre el Internet de las cosas, LPWAN y la Agricultura de Precisión.

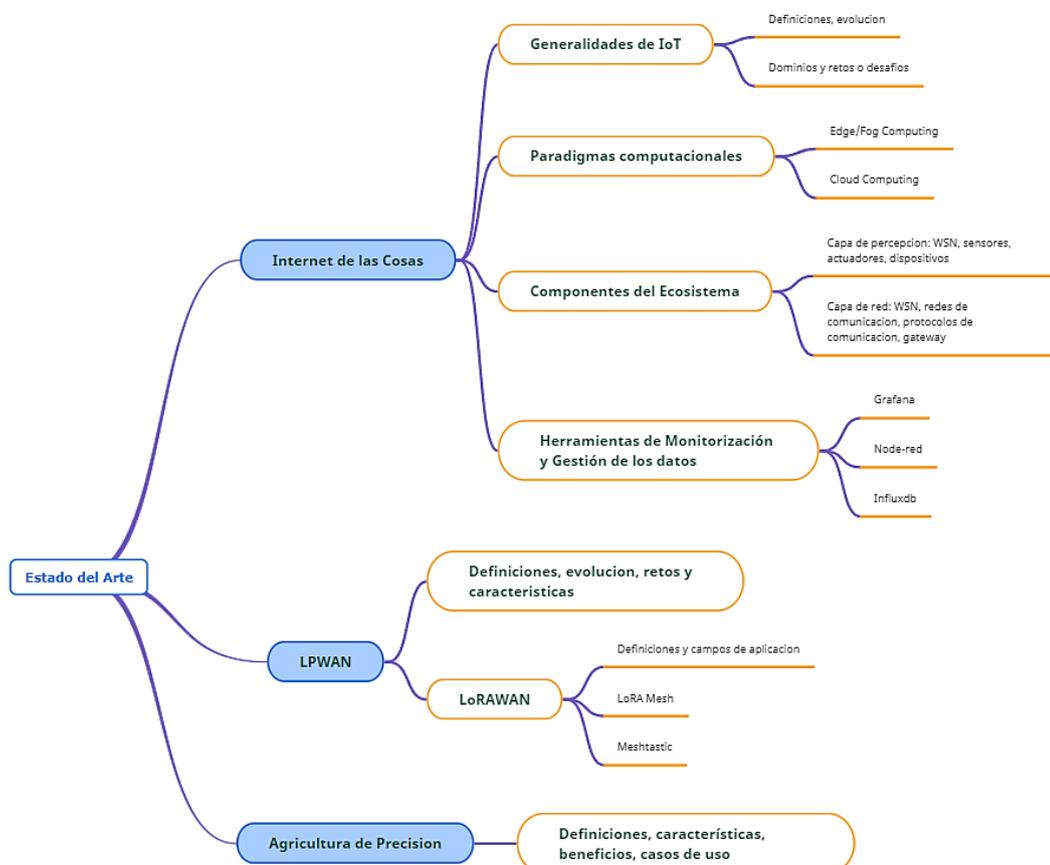


Ilustración 6. Antecedentes teóricos

Fuente: Autores

1.2.1. Internet de las Cosas

1.2.1.1. Generalidades de IoT

El internet de las cosas se ha convertido un tema muy recurrente en estos días, pero existe todavía mucho desconocimiento sobre lo que generalmente se tiene como un concepto definido de IoT, por lo que su definición general se entiende como el papel de comprender el estado de las cosas desde una ubicación remota y de intercambiar varios datos entre “cosas” en ambas direcciones. IoT se puede interpretar como una red de dispositivos interconectados entre sí o con internet, esta red permite que los dispositivos se comuniquen y compartan información entre ellos, tanto recolectada por sensores o realizada por actuadores, permitiendo una manipulación remota de estos dispositivos[34]. Tomando como cita el artículo de Yousuf et al [3], podemos interpretar que IoT tiene un largo recorrido en el camino de la innovación y del interés de muchas personas, ya que se estima que para el 2025 alrededor de 20 billones de dispositivos IoT van a estar activos alrededor del mundo.

Otro de los beneficios del internet de las cosas, son sus alternativas de transmisión de información de un punto a otro. Esto se encuentra reflejado con las redes de baja potencia o LPWAN, tecnologías que permiten la comunicación de un punto a otro a partir de dispositivos SoC previamente configurados. Un ejemplo de estos son los ESP32, dispositivos que cuentan con las funciones necesarias para realizar este tipo de comunicación y además puede brindar soporte en momentos donde las redes más comunes, como las Wi-Fi no son los adecuados por diversos motivos, ya sea por algún desastre natural o por una falla dentro de la propia red.

Según el trabajo de N. Ahmed [4], la monitorización y automatización IoT está reemplazando al trabajo de los seres humanos y se espera que alrededor del año 2050, actividades manuales que requieran de este tipo de procesos, como el caso de la agricultura, tenga más dispositivos IoT que personas. Lo que resultaría en un beneficio hacia los cultivos, ya que incrementaría la producción de alimentos en un 70%. IoT en general está siendo una gran alternativa hacia actividades que hoy por hoy tienen un nivel de monitoreo y procesamiento de información lento y mal administrado.

Entre las diferentes ventajas que nos brinda IoT, además del monitoreo y control de cultivos, domótica o cualquier otro trabajo cotidiano, posee una serie de características que se han evolucionado conforme la tecnología ha ido desarrollando:

- ❖ Uno de los aspectos más innovadores que vale destacar de estos dispositivos IoT, es su conectividad. A partir de redes “Mesh” o mallas en español, por medio de los nodos entre varios dispositivos se puede tener una comunicación de largo alcance y muy adaptable para cualquier proyecto.

- ❖ Otro punto importante son los sensores, ya que estos permiten recoger datos ambientales, como temperatura, humedad, luminosidad, etc., y permite un control óptimo de cualquier tipo de situación.
- ❖ La popularización de la “cloud” ha sido otro tema en auge durante estos años, cosa que IoT no ha dejado atrás. Dentro de las arquitecturas de comunicación se encuentra la Cloud, Fog y Edge Computing, lo cual permite una transferencia de datos cómoda, segura y más eficiente.

1.2.2. Paradigmas computacionales

A partir del trabajo de M. Donno et al [5], se puede interpretar que se ha evidenciado una evolución significativa de los paradigmas computacionales, ya que el más conocido y utilizado es la Cloud Computing, debido a que este fue concebido de la necesidad de usar la computación como una utilidad. Sin embargo, la Cloud Computing no es el único paradigma computacional que existe, existen otros paradigmas como lo son el Edge/Fog Computing, los cuales son mayormente representado como las antecámaras hacia la cloud, pero que también cumplen con papeles fundamentales en todo el proceso de comunicación IoT.

1.2.2.1.Edge/Fog Computing

Tanto Edge como Fog computing son considerados como paradigmas computacionales, sin embargo, su parte clave se encuentra dentro de los nodos. Según el trabajo de Z. Zhou et al [6], indica que los nodos se encuentran caracterizados de forma heterogénea y especializado en términos de recursos computacionales, con la función de realizar tareas para desarrollar tareas que permiten dar aplicaciones.

A partir de esto, se puede afirmar que tanto Fog como Edge Computing poseen sus diferencias, ya que estos dos cumplen y realizan procesos diferentes:

- ❖ Edge Computing ocurre directamente en los dispositivos en los cuales los sensores se encuentran conectados a partir de un Gateway o puerta de enlace.
- ❖ Mientras que Fog Computing traslada las actividades generadas por Edge hacia procesos que se encuentran dentro del área local o LAN.

Así que Fog como Edge, son procesos que necesitan el uno del otro para la transferencia de información.

Por otro lado, si se toma en consideración las funcionalidades de Fog, esta puede tener más características, tal y como nos explica A. Buyya [7], ya que nos indica que aparte del procesos y

análisis de los datos, este también facilita la administración y programación de la computación, redes, y servicios de almacenamiento entre centro de datos y dispositivos finales. Adicionalmente facilita en gran manera la movilidad del usuario, sus recursos y el análisis distribuido de datos.

1.2.2.2. Cloud Computing

Cloud Computing e Internet de las cosas son dos puntos a considerar al momento de tener un mejor almacenamiento y procesamiento de información, ya que la nube puede brindar muchos beneficios. Al estar en el internet, de ahí su nombre “cloud”, los procesos y almacenamiento de datos, se los realiza a través de servidores, este permite la compartición de los recursos, los cuales son requerimientos clave para las plataformas IoT. Además, la cloud proporciona localización independiente, el acceso a los usuarios dentro de este tipo de servicio permite entrar desde cualquier parte del mundo y a través de cualquier dispositivo que tenga una conexión a internet. A través del trabajo provisto por C. Stergiou et al [8], indica que este paradigma provee de almacenamiento, servicio y aplicaciones en la internet. Dentro de esta investigación, también se determinan varias novedades o características:

- ❖ Almacenamiento sobre internet, el cual puede ser descrito como una plantilla de trabajo de la tecnología que usa controles de transmisión y el protocolo de Internet (TCP/IP) para conectar servidores y dispositivos de almacenamiento.
- ❖ Servicio sobre internet, el cual permite ayudar a los clientes en todo el mundo en orden de transformar las aspiraciones que tienen en logros, por medio de la velocidad y la eficiencia del internet.
- ❖ Aplicaciones sobre el internet.
- ❖ Capacidades computacionales, este considera que un sistema es capaz mente computacional cuando este tenga los requerimientos para mejorar los resultados que nosotros deseamos y tomado los cálculos correctos.

1.2.3. Componentes del Ecosistema

En el mundo existen diferentes formas de monitorear el ambiente, es decir, mediciones o valores como temperatura, humedad, altitud, longitud y latitud, pueden ser medidos de manera manual o por dispositivos encargados para realizar estas actividades. Sin embargo, con el pasar del tiempo, la finalidad de este tipo de procesos se vuelve más compleja y se necesita de una mejor monitorización. IoT permite realizar este tipo de tareas de una manera más fácil y sencilla mediante el uso de sensores, dispositivos que son capaces de generar este tipo de valores en complemento

con un dispositivo SoC, por lo que se ha dividido en dos tipos de capas: La capa de percepción y la capa de red.

1.2.3.1. Capa de Percepción

Según el trabajo recopilatorio de P. Sethi et al [9], indica que la capa de percepción es referida a la capa física, en la cual se tiene a dispositivos como sensores que permiten recolectar información sobre el ecosistema, para obtener un registro de estos parámetros físicos o de otros objetos inteligentes dentro del medio ambiente.

Dentro de la capa de percepción se encuentran tanto sensores como actuadores, los mismos que permiten recopilar información del medio ambiente, estos dispositivos pueden ser útiles para una infinidad de proyectos, tal es el caso del ejemplo propuesto por H. Lee et al [10], donde indica el uso de los sensores IoT, mediante el uso de una red LoRa Mesh dentro de un área de 800x600m. La capa de percepción permite un contacto directo con la información que luego va a ser dirigida hacia las siguientes capas, dando por hecho que esta es la capa más cercana a los datos que ninguna otra.

1.2.3.2. Capa de red

Una vez recopilada la información, continúa el traslado de la misma, motivo por el cual, se halla distribuida mediante la capa de red. En el trabajo de P. Sethi et al [9], se indica que esta es la responsable del enrutamiento de los paquetes recibidos desde la capa de transporte.

1.2.4. Herramientas de Monitorización y Gestión de los datos

El internet de las cosas posee una gran variedad de herramientas que permiten tanto la monitorización como la gestión de los datos que se van suministrando a medida que tanto sensores como dispositivos vayan generando información, por tanto, estos van a ser descritos en los siguientes subtemas, destacando sus características y sus beneficios para la actividad que se está realizando.

1.2.4.1. Node-red

M. Lekic et al [27], describe a node red como una herramienta basada en javascript, construida en node.js, la cual provee de un editor basado en flujos, todo esto mediante el uso de un navegador web. Dentro de node red se puede realizar diversas tareas como lo es el uso de protocolos de red como MQTT, agregar plugins como bases de datos e inclusive tiene su propio dashboard donde se puede presentar los resultados de estos flujos.

Entre sus características se encuentra que este puede ser utilizado tanto de forma local como en un ambiente en la nube, este además soporta protocolos de red, no solo MQTT sino otros como Modbus, CoAP, BLE, entre otros y estos flujos son almacenados usando formato .json, por lo que estos se pueden importar o exportar para luego ser revisados en cualquier editor de texto o por el mismo node red.

1.2.4.2. Grafana

Grafana se encuentra basado en el principio donde los datos sean completamente accesibles para todo el mundo [28], por lo que esta aplicación web es utilizada para la monitorización de datos, los cuales son extraídos dentro de las bases de datos compatibles con Grafana.

Grafana es una herramienta muy utilizada dentro de los campos de Internet de las Cosas, por lo que A. Grunwald et al [29], aplica esta herramienta para la evaluación de LoRaWAN dentro de aplicaciones tanto de interior como exterior para empresas agrícolas.

1.2.4.3. InfluxDB

InfluxDB es una base de datos de series de tiempo de código abierto, que permite almacenar datos sean estos numéricos como de texto [30].

M. Giacobbe et al [31], detalla el uso de esta base de datos de series de tiempo para el monitoreo y análisis de entornos IoT distribuidos.

1.2.5. Red amplia de baja potencia (LPWAN)

En la actualidad existen una gran variedad de tecnologías usadas en aplicaciones IoT. Cada tecnología tiene sus propias fortalezas para satisfacer los requisitos de ciertos dominios. Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, y redes telefónicas son las tecnologías más usadas comúnmente. En proyectos donde la distancia es menor a 100 metros Wi-Fi y ZigBee son ideales [15]. Las redes celulares tienen un alcance mayor, pero consumen mucha energía y son más costosas. Las Nuevas Tecnologías LPWAN ofrecen una comunicación de gran alcance, bajo consumo energético y una baja tasa de transmisión de datos. Estas características hacen las tecnologías LPWAN ideales para su aplicación en el dominio de la agricultura. J.Petäjajarvi et al [22] describe cómo realizar el monitoreo remoto de salud mediante la tecnología LoRA LPWAN, para ello, los autores llevaron a cabo una campaña utilizando el equipo disponible dentro del campus principal de la Universidad de Oulu, Finlandia. Estas pruebas se ejecutaron mediante un nodo sensor que operaba cerca del cuerpo humano y que informaba de manera periódica los datos en tiempo real.

Otros casos de estudio donde se utiliza este tipo de redes de baja potencia es el trabajo de G. Roque et al [18], donde especifica un prototipo de detección de fuego en entornos externos basado en sensores, encaminado más en la recopilación de información de la temperatura y la medición del gas al momento del que el fuego comienza.

1.2.5.1. LoRaWAN

LoRaWAN es un estándar de redes abiertas desarrollado por LoRa Alliance, que define principalmente la capa de control de acceso al medio (MAC) y los formatos de mensaje. Está basado en LoRa, una capa física patentada (PHY) desarrollada por Semtech Corporation y derivado de la modulación chirp spread spectrum (CSS) [16]. J. Toussaint et al [21], detallan dentro de su investigación el método de activación mediante aire dentro de la capa MAC gracias al uso de LoRaWAN y a partir de un modelo de cadena de Markov. De manera similar a cómo la tecnología Wi-Fi se considera el principal competidor privado de tecnologías celulares, LoRaWAN se ha convertido en una alternativa privada viable a otras LPWAN [17]. L.Casals et al [20] indica dentro de su trabajo el modelado del rendimiento energético mediante el uso de LoRaWAN, el cual permite cuantificar el impacto de los parámetros y mecanismos de la red tanto de la capa física como de acceso al medio (MAC). P. Neumann et al [23], describe cómo se ha llevado a cabo el rendimiento de la red LoRaWAN dentro de un entorno interior. A partir de esto, los autores cuantifican los límites de esta tecnología y exponen los resultados de usar LoRaWAN para las comunicaciones IoT dentro del contexto 5G.

Un caso de estudio donde se utiliza la red LoRaWAN es un trabajo presentado por T. Bouguera et al [19], donde se describe el modelo de consumo de energía basado en las redes LoRaWAN, el cual permite estimar la energía consumida por cada nodo. Esto indica que este tipo de redes permiten una conectividad inalámbrica con varios nodos.

LoRa Mesh

Entre las primeras redes que existieron dentro del ámbito de IoT, se encuentran las redes LoRa. Estas permiten una conexión local de un punto con otro, pero a un rango de comunicación menor, al ser esto una desventaja, se optó por crear la tecnología LoRaWAN, Aunque también existen alternativas, como es el caso de LoRa Mesh, que es la unión de dispositivos IoT conectados a partir de nodos y que los datos que se reciban sean visualizados por todos los nodos que se encuentren conectados hacia un mismo canal., Según la investigación propuesta por H. Huh et al [11], donde se indica que las redes de malla o mesh network en inglés, pueden ser auto configuradas mediante

algoritmos de flujo, se sigue la regla de que el Gateway transmite un mensaje, y los nodos finales reciben este mensaje muchas veces.

Este tipo de redes conectadas por mallas, tiene una gran variedad de utilidades dentro de la vida cotidiana, tal es el caso del ejemplo planteado por H. Huh et al [11], donde propone un sistema de control inteligente para los semáforos, en donde se establece que miles de semáforos fueron instalados en una red privada con una sola puerta de enlace. Con esta estructura sólo una red de retorno es necesaria, ya que no se necesita de suscripciones celulares e impuestos de telecomunicaciones.

Otro ejemplo, es el del artículo de C. Ebi et al [12], donde indica la recopilación de información en tiempo real de un sistema de drenaje urbano en donde se utiliza la red LoRa Mesh como vía para todo el recopilado de datos.

En general, las redes LoRa en malla, ayudan a recolectar la información de una sola puerta de enlace y esta es enviada dentro de los nodos, mismos que solo se encuentren en un mismo canal de comunicación.

Meshtastic

Según el sitio web oficial de Meshtastic [13], es un proyecto que permite usar radios LoRa de bajo costo como un comunicador fuera de la red de largo alcance. En general, Meshtastic es un firmware de código abierto u open source destinado al uso de redes LoRa en malla o LoRa Mesh, con la particularidad de que esta función y otras más que son agregadas constantemente por la comunidad. Esto lo convierte en un proyecto para una variedad de usos, que van desde la comunicación de varios kilómetros a través de la red LoRa, hasta el monitoreo o control de la temperatura, altitud, latitud, longitud de un área en específico a través del uso del firmware. El proyecto Meshtastic como tal, sigue en una etapa de desarrollo, por lo que cualquier cambio que se haga siempre es necesario instalar como si fuera la primera vez cada vez que exista una actualización, ya que pueden existir errores o que estos cambios no se vean reflejados.

Al ser este un proyecto de aproximadamente 3 años de antigüedad, solo existen ciertos tipos de dispositivos que sean compatibles con el firmware, tal es el caso del TBEAM, dispositivo IoT que tienen integrado un ESP32 que es diseñado por el propio meshtastic, este dispositivo permite la integración de otras funcionalidades como lo son el GPS, entre otras características que se van desarrollando conforme el firmware se va actualizando.

Aparte de todo esto, Meshtastic también posee su propia API, la cual puede ser instalada en cualquier sistema operativo, sea este Windows, Linux o MacOS, esta API permite por medio de comando configurar las características que posee el firmware Meshtastic, una de estas es la agregar

un servidor MQTT, ingresar nuestro usuario y contraseña de la red Wi-Fi, esto en caso de que la información deba ser transmitida a partir del servidor MQTT hacia otros dispositivos, cambiar el canal de comunicación, entre muchas otras funcionalidades que se van añadiendo conforme el firmware se va actualizando.

1.2.6. Agricultura de Precisión

Los recientes avances han permitido que el internet de las cosas se desarrolle en otros ambientes aparte de la automatización de cosas. Se puede ver que el manejo de los suelos como los cultivos también fueron afectados por el uso de las tecnologías de la información, mayormente hablando sobre el uso del Internet de las Cosas y la agricultura. Por esta razón es que la agricultura de precisión en tiempos actuales ha tomado grandes beneficios por parte de los agricultores, los cuales han visto una gran mejoría en la monitorización y producción de los cultivos, mejorando inclusive un 70% de su producción en comparación con años donde esta tecnología no era implementada. Según [35] la agricultura de precisión o Agricultura Inteligente consiste en el uso de las TIC en la gestión localizada de cultivos o zonas agrícolas donde exista variabilidad en campo, para aplicar un tratamiento adecuado en el momento adecuado. IoT aplicado en Agricultura de Precisión, permite la optimización de recursos y el incremento de la producción agrícola [36].

R. Fresco et al [14], explica acerca de los desafíos para implementar la agricultura de precisión en un campo de alfalfas a través del modelo PRMWFA-ACPS, el cual incluye un submodelo biofísico, así como un regulador de agua y fertilizador.

Según la investigación de A. Valente et al [24], presentan un nodo donde se utiliza la tecnología LoRaWAN para la agricultura de precisión, para realizar esto, los autores utilizar una biblioteca de clústeres para la red LoRaWAN y dedicada a los sensores utilizados en la agricultura, por lo tanto, los autores utilizaron tres nodos con dichos que permiten medir valores como suelo, aire, velocidad, dirección del viento. Todos estos datos recopilados son enviados a un servidor mediante el uso del internet.

En el caso presentado por [15], se detalla el uso de la agricultura de precisión dentro de un campo de maíz, donde se detallan parámetros a partir del uso de nodos los cuales tienen la capacidad de recolectar información del viento, luz, temperatura y niveles de Ph en estos campos.

En sistemas más complejos como en un SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) integrado a las tecnologías IoT facilita la supervisión y el control eficientes de los componentes físicos (maquinaria, dispositivos de hardware, sensores y actuadores) [37].

Estos y muchos otros casos de estudio son detallados cada día, todos estos con la finalidad de facilitar los trabajos de producción de la agricultura, así como la monitorización y control de las

mismas, por lo que la agricultura de precisión ha hecho de estos procesos un beneficio y generación de ganancias en comparación con la agricultura manual y tradicional, tal y como se la ha realizado en años anteriores.

1.3. Antecedentes Contextuales

El proyecto de investigación, está centrado en la comunicación segura de información ambiental como temperatura y humedad de los cultivos de la finca Happy Fruit, los cuales van a ser enviados mediante la red LoRa y Meshtastic, desde la ciudad de Arenillas hasta la ciudad de Machala.

Según la página oficial de Happy Fruit [26], es una finca agroecológica familiar fundada desde 1985, la cual son un modelo de agricultura sostenible en el Sur del Ecuador, donde ellos cultivan productos orgánicos como las frutas secas de temporada, frutas deshidratadas, superalimentos, especias, cacao y chocolate e infusiones.

Happy Fruit consta de 17 hectáreas, sin embargo, el 70% es bosque seco, por esta razón, se debe tener distintos tipos de riegos, por aspersión y por goteo, por lo que hay plantas que requieren de mayor humedad que otras. Las plantas que se encuentran sembradas dentro de estas zonas son cítricos como el limón, mandarina, yuca, estos representar un 40% de las ventas totales anuales [26]

1.3.1. Ámbito de aplicación

Se realizó la recolección, monitoreo y control de datos ambientales, es decir, de la temperatura y humedad de los cultivos de la finca Happy Fruit, desde la ciudad de Arenillas a la ciudad de Machala, esto se lo consiguió gracias al uso de redes de bajo consumo, que para este caso fue la de LoRaWAN y de la implementación del firmware Meshtastic dentro de los dispositivos IoT, el cual nos dio el paso de datos seguros, para que luego esta información sea enviada vía protocolo MQTT y dichos datos sean almacenados a partir de una base de datos de series de tiempo, como lo es InfluxDB, finalmente se presentó esta información en Grafana, la cual es un dashboard que permite ver los datos de una forma más clara y sencilla. Lo cual beneficia a los empleados de la finca, los cuales van a tener un mejor análisis acerca de los datos ambientales que proporcionan los cultivos y a la toma de decisiones en un menor tiempo.

1.3.2. Establecimiento de requerimientos

La red de comunicación LoRa WAN permite recolectar los datos ambientales de los cultivos desde sensores, estos datos son enviados desde un dispositivo IoT (Nodo) hacia otro de la misma red.

Los datos viajan de forma segura hacia su destino y se visualizan en un dashboard para el análisis de estos y tomar decisiones mediante actuadores iniciados desde el dashboard.

2. CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

2.1. Definición del prototipo

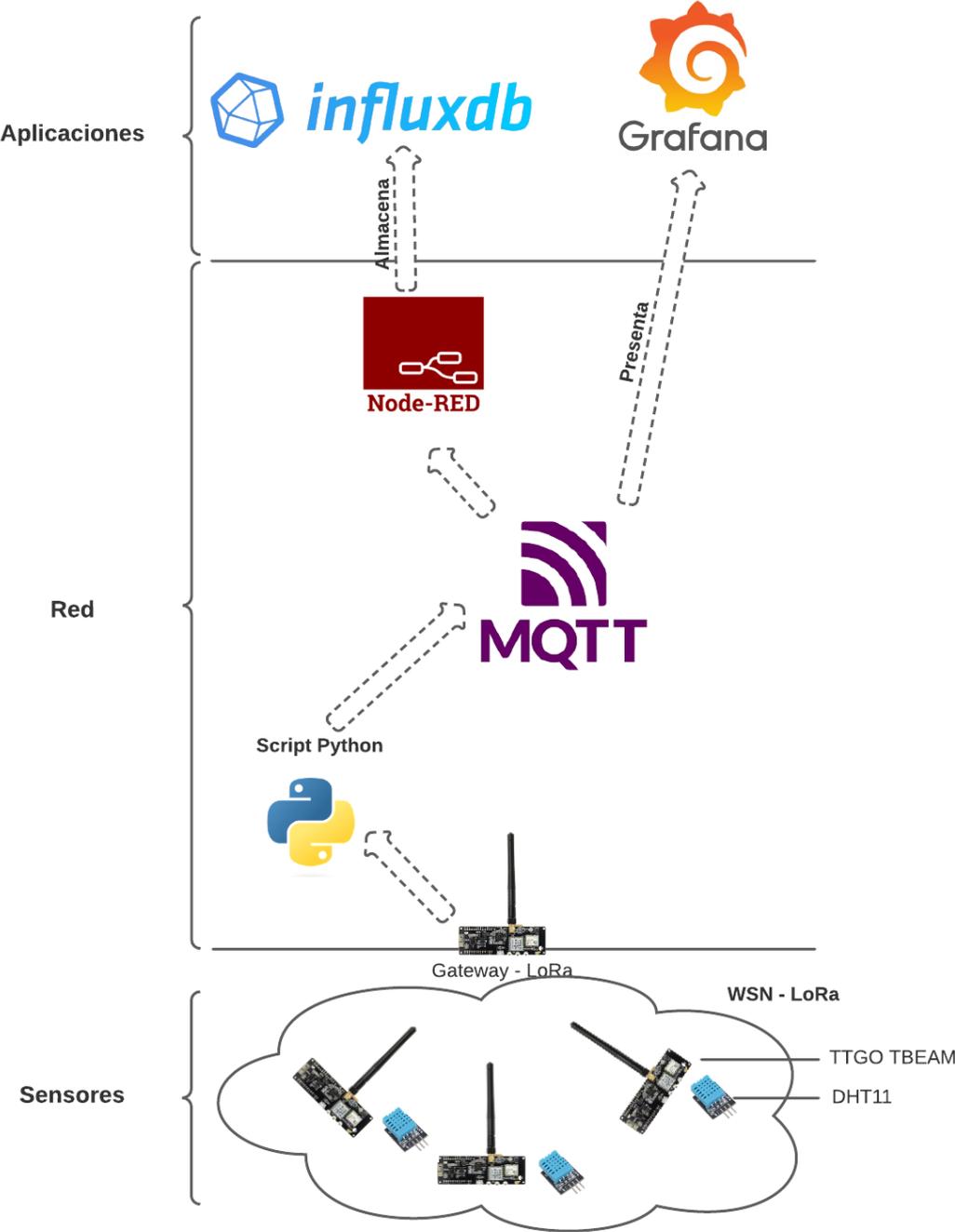


Ilustración 7. Definición del Prototipo

Fuente. Autores

En la Ilustración 7. se muestra como los dispositivos ESP32 y sus sensores obtienen la información ambiental de los cultivos de la finca, estos datos viajan dentro de la red LoRaWAN hasta el Gateway que se encarga de enviar los datos a Node-Red por medio del protocolo MQTT. Desde Node-Red estos datos se guardan en la base de datos y se presentan en el dashboard de Grafana.

Este prototipo fue desarrollado con la arquitectura de 3 capas detallada a continuación:

Capa sensores. En esta capa se encuentran tanto los dispositivos IoT como los sensores que recolectan los datos ambientales de temperatura y humedad, todos estos conectados a una red LoRa para que su información sea transmitida hacia el Gateway.

Capa de red. Dentro de esta capa, los datos pasan a partir de un script creado en Python que ayuda a enviar la información vía MQTT hacia diferentes rutas, una de ellas node-red, que sirve para filtrar los datos y almacenarlos en la base de datos InfluxDB.

Capa de Aplicación. Finalmente, los datos que fueron recolectados, transportados y almacenados se muestran en tiempo real al usuario mediante el dashboard de Grafana, desde el cual podrá monitorear la información de los cultivos para su análisis y toma de decisiones.

2.2. Metodología de desarrollo del prototipo

2.2.1. Enfoque, alcance y diseño de investigación

Problema de investigación: Necesidad de una red de comunicación de bajo consumo y de larga distancia para el transporte de información ambiental de los cultivos de manera segura en la Finca Happy Fruit desde Arenillas hasta Machala durante el periodo 2022.

Gestión del diseño de la investigación

Enfoque del estudio

El enfoque de este proyecto fue el cuantitativo, puesto que la investigación se basó en la medición de datos ambientales y cuyos valores fueron numéricos, por ende, los resultados fueron datos tanto numéricos como estadísticos.

Alcance de la investigación

El alcance de la investigación fue descriptivo, debido a que se estudiaron características del fenómeno, es decir la temperatura y la humedad de los cultivos, pasando a medir variables a través de sensores que posteriormente fueron puestos bajo análisis.

Diseño del estudio

El diseño de la investigación fue cuasi-experimental, ya que el objeto de estudio no se elige de forma aleatoria, sino que este es seleccionado previo al inicio de la investigación, que, en este caso, fue la comunicación inalámbrica LPWAN dentro del contexto de la agricultura de precisión.

2.2.2. Unidades de análisis

Población (universo)

La población utilizada en la siguiente investigación fueron los datos que van a arrojar los sensores (temperatura y humedad) de los cultivos dentro de la finca Happy Fruit.

Muestra

Dentro del trabajo no fue necesaria la obtención de la muestra.

2.2.3. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

Técnica	Instrumento
Análisis de documentos o datos	Guía de análisis de documentos o de datos
Observación	Guía de observación y análisis de control

Tabla 6. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

Fuente: Autores

En la **Tabla 6.** Se detallan las técnicas e instrumentos para la recopilación de información para el proyecto de investigación. Las cuales son; el análisis de documentos o datos con su instrumento la guía de análisis de documentos o datos y la técnica de observación, con el instrumento de guía de observación y análisis de control.

2.2.4. Técnicas de procesamiento de datos para la obtención de resultados

Después de la revisión bibliográfica de trabajos de investigación similares, se concluyó que la técnica de procesamiento de datos para la obtención de resultados fue Gráficos de barras como Histogramas, todos estos representados gracias a la ayuda de Grafana, para luego ir monitoreando el comportamiento de la temperatura y humedad de los cultivos dentro del periodo establecido

2.2.5. Metodología o métodos específicos

Para el desarrollo de este proyecto, se empleó la metodología IoTM, la cual está compuesta por las siguientes fases [25]:

- Las tres primeras fases se centran en la lluvia de ideas y la ideación
- Las siguientes tres fases ayuda al desarrollo, diseño e implementación de productos
- Las últimas tres fases tienen que ver con optimizar, mejorar y ajustar los sistemas que ya existen.

Fases	Subfases
Lluvia de ideas (Brainstorm)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Co-crear (Co-Creat) ➤ Idear (Ideate) ➤ Validar (Validate)
Construcción (Build)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Arquitectura (Architect) ➤ Implementar (Implement) ➤ Desplegar (Deploy)
Mejoramiento (Tune)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificar (Identify) ➤ Clasificar (Classify) Actuar y Ajustar (Act & Adjust)

Tabla 7. Metodología o métodos específicos

Fuente: Autores

2.2.6. Herramientas y/o Materiales

Para la siguiente el siguiente trabajo de investigación se utilizaron las siguientes herramientas tanto de hardware como de software:

Herramientas de Hardware:

- ✓ X4 TTGO T-Beam V1.1 ESP32 LoRa NEO-6M 18650, **especificaciones y características:**
 - Voltaje de funcionamiento: 1.8V ~ 3.7V
 - Protocolos de comunicación:
 - WiFi
 - Bluetooth
 - LoRa32
 - Memoria Flash: 4 Mb
 - Soporte para batería : 18650
 - Corriente
 - De trabajo: 10mA ~ 14mA
 - Sleep mode: 0.2uA
 - Corriente de transmisión:
 - 120mA @ + 20dBm
 - 90 mA @ + 17dBm

- 29 mA @ + 13dBm
- Frecuencia de funcionamiento: 915MHz
- Potencia de transmisión: + 20dBm
- Sensibilidad de recepción:
 - -139dBm @ LoRa y 62.5Khz & SF = 12 y 146bps
 - -136dBm @ Lora y 125Khz & SF = 12 es & 293bps
 - -118dBm @ LoRa y 125Khz y SF = 6 y 9380bps
 - -123dBm @ FSK & 5Khz & 1.2Kbps
- Error de frecuencia: +/- 15KHz
- Espacio FIFO: 64 Bytes
- Velocidad de datos: 1.2K ~ 300Kbps @ FSK
- 0.018K~37.5Kbps@LoRa
- Modo de modulación: FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa TM, OOK
- Forma de interfaz: SPI
- Versión: 1.1
- 1.5uA@IDLE
- Temperatura de funcionamiento: -40 °C – + 85 °C
- Dimensiones: 100 mm x 32.6 mm x 24 mm
- Peso: 66 g
- ✓ x3 sensor ambiental DHT11, **especificaciones técnicas:**
 - Voltaje de Operación: 3V - 5V DC
 - Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C
 - Precisión de medición de temperatura: ±2.0 °C
 - Resolución Temperatura: 0.1°C
 - Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.
 - Precisión de medición de humedad: 5% RH.
 - Resolución Humedad: 1% RH
 - Tiempo de sensado: 1 seg.
 - Interface digital: Single-bus (bidireccional)
 - Modelo: DHT11
 - Dimensiones: 16*12*5 mm
 - Peso: 1 gr.
- ✓ x4 Baterías recargables MaxDay 8800 mAh

Herramientas de software:

- ✓ Meshtastic Firmware
- ✓ PlatformIO
- ✓ Visual Studio Code
- ✓ Meshtastic Python API
- ✓ Node-Red
- ✓ InfluxDB
- ✓ Grafana

2.3. Desarrollo del prototipo

El desarrollo del prototipo de nuestro trabajo de investigación se estableció a partir de la metodología IoT o IoTMethodology, la cual se encuentra dividida en las siguientes fases, así con sus respectivas subfases [25]:

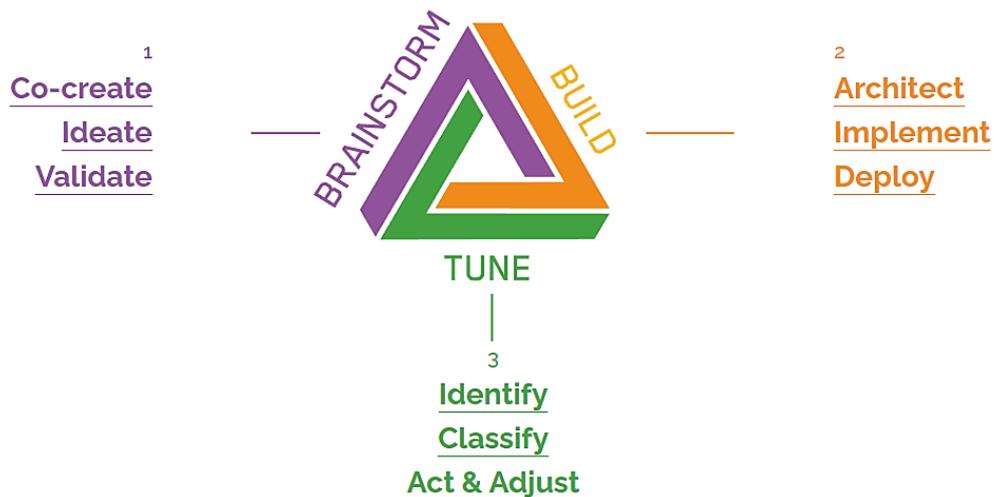


Ilustración 8. Metodología IOTM

2.3.1. Brainstorm

Co-Crear

Dentro de la primera fase, se desarrollaron actividades que permite validar e idear el funcionamiento del prototipo, además de las personas involucradas en todo el proceso de desarrollo del mismo. En la Tabla 8. Se establecen los responsables del desarrollo del prototipo:

Nombre	Rol
Ing. Dixys Hernández	Supervisor
Robert Cun Valencia	Desarrollador

Humberto Correa Romero	Desarrollador
------------------------	---------------

Tabla 8. Responsables del desarrollo del prototipo

En esta etapa se listaron los requisitos tanto funcionales como no funcionales del prototipo, mismos que se encuentran detallados en la Tabla 9.

Requisitos funcionales	Requisitos no funcionales
➤ Instanciar Node-red, InfluxDB y Grafana en un entorno local	➤ Definir los dispositivos IoT y sensores a utilizar.
➤ Establecer los roles de cada dispositivo, nodos como Gateway.	➤ Presentación de los datos ambientales recogidos por los sensores
➤ Configurar los dispositivos como sensores a partir de firmware Meshtastic.	
➤ Establecer la comunicación por MQTT desde los dispositivos hacia node-red.	
➤ Establecer la base de datos en influxDB.	

Tabla 9. Requisitos funcionales o no funcionales del prototipo

Idear

En esta etapa se elaboró el bosquejo del prototipo, por lo que se definió que, dentro de la finca Happy Fruit se van a agregar 3 dispositivos IoT, estos ya tienen incorporados y configurado cada uno un sensor DHT11, estos dispositivos van a ser distribuidos en cada punto de la finca, donde, los datos ambientales que recojan los sensores, van a transferirse hacia el dispositivo configurado como Gateway, el cual se va a encontrar en la ciudad de Machala, para que luego este transfiera esta información hacia Node-Red, sea almacenada en influxDB y se presenten los datos en un dashboard por medio de Grafana, todo esto se resume en la siguiente ilustración:

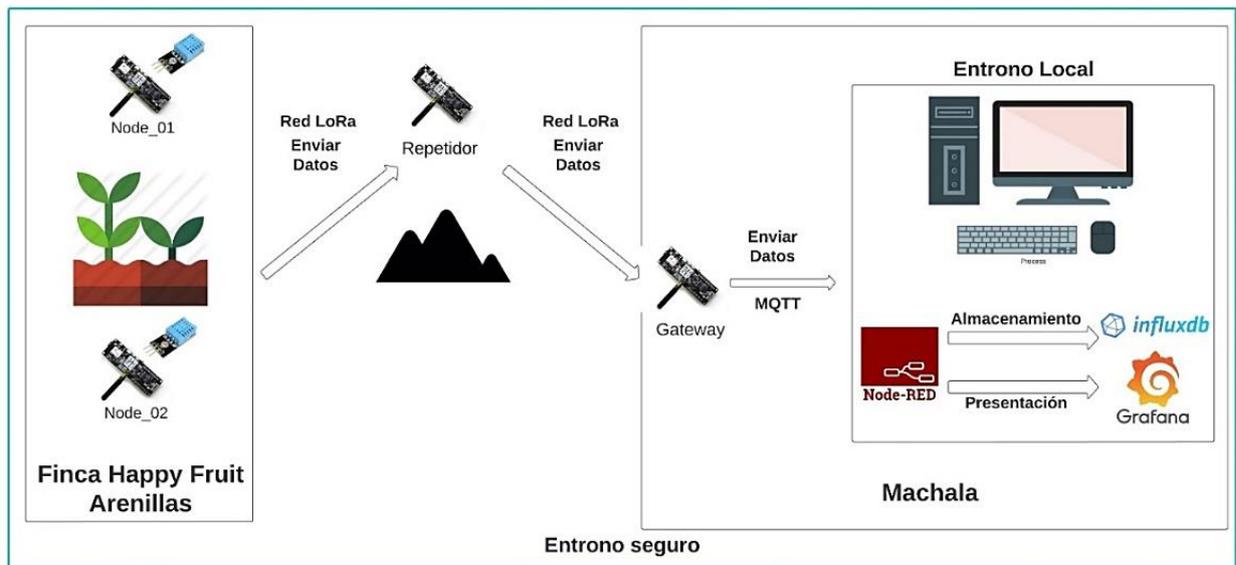


Ilustración 9. Bosquejo del Prototipo

En la **Ilustración 9.** se explica de forma gráfica como se va a desarrollar el prototipo, cabe destacar que todo el entorno, es decir, la transferencia de información se encuentra segura, es decir, que no está expuesta a ataques o fuga de datos.

Validación

En la etapa de validación se realizaron reuniones entre los responsables del trabajo de investigación, en este caso el supervisor y los desarrolladores, donde se presentaron los bocetos del prototipo elaborados en esta etapa, dando concluida esta primera etapa de la metodología antes planteada.

2.3.2. Build

Arquitectura

La arquitectura escogida fue el modelo de referencia IoT de 4 capas, compuesta por las capas de aplicación, servicio, red y dispositivos. En la Ilustración 7. se detallan los elementos utilizados en cada una de las capas:

Implementar

Firmware Meshtastic

Para la creación de la red LoRa mesh, se necesitó del firmware meshtastic, el cual se consigue dentro de su repositorio en github: <https://github.com/meshtastic/Meshtastic-device>, aquí, se descarga la versión más estable del firmware, no se recomienda la última, ya que, como el proyecto

se encuentra en desarrollo, las últimas versiones pueden tener algún tipo de error o bug que puede dañar nuestros dispositivos.



Ilustración 10. Descarga del Firmware Meshtastic

Instalación de Meshtastic

Para la instalación del firmware meshtastic dentro de cada dispositivo se necesita de los siguientes elementos:

- Python 3.x, pip, pytap2, meshtastic, esptool
- Firmware meshtastic

Con esto, se procede con la instalación del firmware, a partir del siguiente comando:

```
device_install.bat -f firmware-tbeam-1.2.53.19c1f9f.bin
```

Una vez instalado el firmware en los dispositivos, se requiere adicionalmente de las siguientes dependencias, las cuales van a utilizarse más adelante:

- Python: meshtastic-mqtt protobuf pypubsub paho-mqtt requests meshtastic pytap2

Configuración del firmware Meshtastic

Dentro de los dispositivos, una vez conectados hacia el computador, se procedió a configurarlos de la siguiente manera:

Configuración general

Estos comandos fueron aplicados a todos los dispositivos, los cuales son los siguientes:

- meshtastic --set region US
- meshtastic --ch-set modem_config Bw125Cr48Sf4096 --ch-index 0
- meshtastic --ch-set name "HFChannel" --ch-index 0
- meshtastic --ch-set psk default --ch-index 0

- meshtastic --set mqtt_disabled false
- meshtastic --set mesh_sds_timeout_secs 4294967295
- meshtastic --set is_always_powered true

Cabe mencionar que cada uno de los comandos fueron vía línea de comandos y gracias al API de meshtastic, por lo que estos comandos tienen las siguientes funciones dentro de los dispositivos:

- **Selección de la región**, para este caso es US, ya que esta se encuentra dentro de la frecuencia 915Mhz.
- **Selección del modem**, para este caso, se necesitó del rango más amplio, pero con el envío de datos lento.
- **Selección del canal**, en este caso, meshtastic permite comunicarse mediante el uso de canales, por lo que se decidió configurar uno nuevo, donde solo los dispositivos IoT que tengan ese canal se puedan enviar información.
- **Selección de que el dispositivo no se duerma**, es decir, que el dispositivo nunca se apague y este en un constante envío de información, que, para este caso son de datos ambientales.

Una vez dispuesto la configuración general, se distribuyeron los dispositivos de la siguiente manera:

- gatewayMain: Dispositivo Gateway
- nodo_01, nodo_02 y nodo_03: Dispositivos nodos

Configuración de gatewayMain

Como primer dispositivo a configurar fue el Gateway, el cual se le configuro con las siguientes instrucciones dentro del firmware meshtastic:

Instrucción	Función
meshtastic --set is_router true	Permite el paso de datos en cada momento.
meshtastic --set-owner "gatewayMain" --set-owner-short "gtw"	Permite cambiar el nombre del dispositivo.
meshtastic --set wifi_ssid "Netlife - Beatriz_Romero" --set wifi_password "tromiro031112"	Permite agregar la red wifi, esto con el fin de que los datos se transmitan hacia el servidor MQTT.
meshtastic --ch-set downlink_enabled true --ch-set uplink_enabled true --ch-index 0	Permite seleccionar el flujo de datos tanto para la red lora como la red Wi-Fi.

meshtastic --set mqtt_server "test.mosquitto.org"	Permite agregar el servidor MQTT.
meshtastic --set environmental_measurement_plugin_ measurement_enabled true --set environmental_measurement_plugin_ screen_enabled true	Permite observar los datos ambientales, así como presentarlos en la pantalla LED del dispositivo el cual los recibe de los nodos.

Tabla 10. Configuración del Gateway

En la siguiente tabla se muestra tanto la instrucción como la función que tiene cada una para la configuración del Gateway.

Configuración de los nodos

Para la configuración de cada nodo, se tomaron en cuenta las siguientes instrucciones, así como sus respectivas funciones:

Instrucción	Función
meshtastic --set-owner "node_01" --set-owner-short "n1"	Selecciona el nombre como su abreviatura del nodo 1.
meshtastic --set-owner "node_02" --set-owner-short "n2"	Selecciona el nombre como su abreviatura del nodo 2.
meshtastic --set-owner "node_03" --set-owner-short "n3"	Selecciona el nombre como su abreviatura del nodo 3.
meshtastic --ch-set downlink_enabled true --ch-index 0	Selecciona el flujo de los datos para el envío de datos entre la red lora de cada dispositivo.
meshtastic --set environmental_measurement_plugin_ measurement_enabled true --set environmental_measurement_plugin_sensor_pin 13 - -set environmental_measurement_ plugin_sensor_type DHT11	Permite habilitar el plugin para recoger los datos ambientales a partir de los sensores conectados a cada dispositivo.

Tabla 11. Configuración de los nodos

En la siguiente tabla se muestran tanto las instrucciones como las funciones que se van a configurar cada nodo. Se decidió cambiar el intervalo de actualización de cada nodo, es decir, que cada nodo

tiene un tiempo diferente para que se reciban datos ambientales, esto con el fin de que no se congestione el Gateway, las instrucciones son las siguientes:

Instrucción	Función
meshtastic --set environmental_measurement_plugin_update_interval 120 -- set environmental_measurement_plugin_recovery_interval 30	Exclusivo para el primer nodo, el cual tiene un intervalo de actualización y de recuperación de 120 y 30 segundos.
meshtastic --set environmental_measurement_plugin_update_interval 140 -- set environmental_measurement_plugin_recovery_interval 30	Exclusivo para el segundo nodo, el cual tiene un intervalo de actualización y de recuperación de 140 y 30 segundos.
meshtastic --set environmental_measurement_plugin_update_interval 160 -- set environmental_measurement_plugin_recovery_interval 30	Exclusivo para el tercer nodo, el cual tiene un intervalo de actualización y de recuperación de 160 y 30 segundos.

Tabla 12. Cambio de intervalo de actualización de los nodos

Una vez configurado cada dispositivo con sus instrucciones correspondientes, se procedió a conectarlos con cada sensor y dejar el dispositivo “gatewayMain” como puerta de enlace para que este recoja los datos de cada dispositivo en el tiempo antes establecido.

Desplegar

En esta subfase se desarrolló todo lo relacionado a la recolección de datos, como lo es la integración de un script que permitió publicar los datos vía MQTT hacia node-red, luego estos se almacenen dentro de una base de datos de series de tiempo y sean presentados en un dashboard como lo es grafana.

Integración del script en Python

A partir de un script en Python publicado por el usuario de github *joshpirihi*, se logró publicar los datos que recogía el Gateway hacia el servidor MQTT antes configurado en cada dispositivo, que en este caso es el de mosquitto, dicho script se encuentra detallado a continuación:

Fuente: <https://github.com/joshpirihi/meshtastic-mqtt>
`import meshtastic_mqtt.portnums_pb2 as portnums_pb2`

```

from meshtastic_mqtt.portnums_pb2 import
ENVIRONMENTAL_MEASUREMENT_APP, POSITION_APP
import random
import json
import meshtastic_mqtt.mesh_pb2 as mesh_pb2
import meshtastic_mqtt.mqtt_pb2 as mqtt_pb2
import meshtastic_mqtt.environmental_measurement_pb2 as
environmental_measurement_pb2
from paho.mqtt import client as mqtt_client
import requests
from paho.mqtt import client as mqtt_client

class MeshtasticMQTT():
    broker = 'test.mosquitto.org'
    port = 1883
    topic = "msh/1/c/#"
    #generar client-id
    client_id = f'meshtastic-mqtt-{{random.randint(0, 100)}}'

    prefix = "meshtastic/"

    traccarHost = 'test.mosquitto.org'

    def connect_mqtt(self) -> mqtt_client:
    def on_connect(client, userdata, flags, rc):
    if rc == 0:
    print("Connected to MQTT Broker!")
    else:
    print("Failed to connect, return code %d\n", rc)

    client = mqtt_client.Client(self.client_id)
    client.username_pw_set("user", "pass")
    client.on_connect = on_connect
    client.connect(self.broker, self.port)
    return client

    def subscribe(self, client: mqtt_client):
    def on_message(client, userdata, msg):
    se = mqtt_pb2.ServiceEnvelope()
    se.ParseFromString(msg.payload)

    print(se)
    mp = se.packet
    if mp.decoded.portnum == portnums_pb2.POSITION_APP:
    pos = mesh_pb2.Position()
    pos.ParseFromString(mp.decoded.payload)
    print(getattr(mp, "from"))
    print(pos)
    if pos.battery_level > 0:
    client.publish(self.prefix+str(getattr(mp, "from"))+"/battery",
pos.battery_level)
    elif mp.decoded.portnum == ENVIRONMENTAL_MEASUREMENT_APP:
    env = environmental_measurement_pb2.EnvironmentalMeasurement()
    env.ParseFromString(mp.decoded.payload)
    print(env)

```

```
    client.publish(self.prefix+str(getattr(mp, "from"))+"/temperature",
env.temperature)
    client.publish(self.prefix+str(getattr(mp,
"from"))+"/relative_humidity", env.relative_humidity)

client.subscribe(self.topic)
client.on_message = on_message

def run(self):
    client = self.connect_mqtt()
    self.subscribe(client)
    client.loop_forever()

def initialize(self):
    self.run(self)

def main():
    mm = MeshtasticMQTT()
    mm.run()

if __name__ == '__main__':
    main()
```

Configuración en node-red

Una vez puesto una ruta para el pase de datos, se configuro node-red, para este caso, se realizó el siguiente diagrama de flujo:

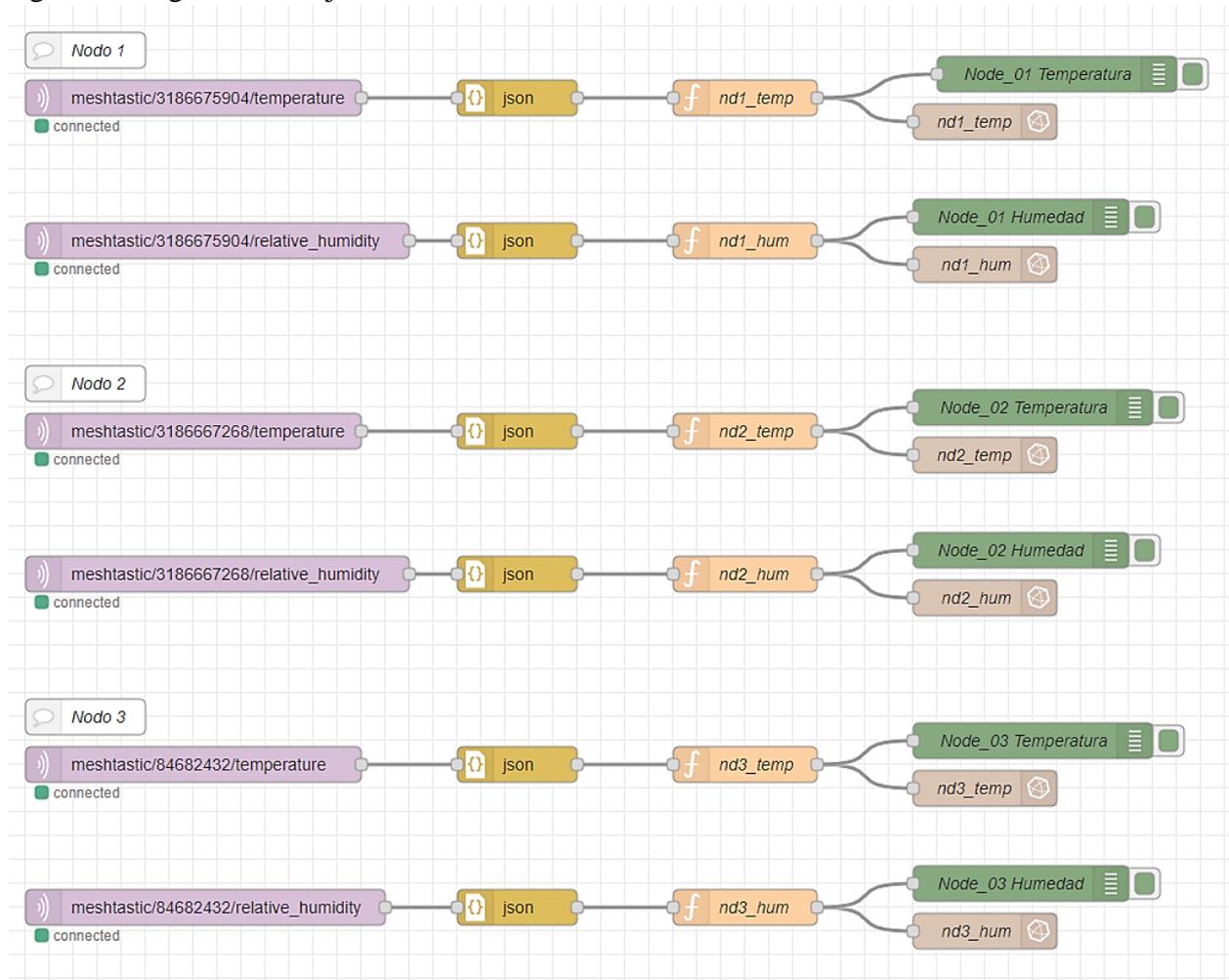


Ilustración 11. Flujos en Node-Red

Donde:

- El nodo mqtt_in, permite suscribirse a los datos, tanto de temperatura como de humedad de cada nodo que se encuentre dentro de la red lora, para este caso, cada dispositivo se encuentra definido por un número, tal y como se muestra en el gráfico.
- El nodo json, permite la conversión en formato json de los datos que va trayendo cada dispositivo.
- El nodo function, permite filtrar los datos en parámetros como el id del dispositivo, que, para este caso, pasan de ser números a escribirse el nombre del nodo antes configurado, y tanto la temperatura como la humedad, esto dependiendo del tópic al cual se suscribió.
- El nodo de la base de datos, el cual es influxDB, donde la base de datos tiene como nombre thdata, y sus mediciones van a depender del nodo o dispositivo y del parámetro de temperatura o humedad, como, por ejemplo, si quiero almacenar la temperatura del nodo_1

a thdata, entonces tengo como medición nd1_temp y este va a estar conectado hacia el filtro de la función nd1_temp.

Una vez diseñado el diagrama de flujo dentro de node-red, se procedió con la configuración dentro de influxdb.

Configuración en InfluxDB

Dentro de influxdb, una vez instalado, se creó la base de datos thdata a partir de la siguiente instrucción:

```
create database thdata
```

Con esto, ya queda configurada la base de datos, ya que la información, así como las mediciones se van a crear una vez se vayan enviando a través de los dispositivos, por ende, las mediciones de cada nodo quedaron de la siguiente forma:

- nd1_temp, nd1_hum (Nodo 1)
- nd2_temp, nd2_hum (Nodo 2)
- nd3_hum, nd3_hum (Nodo 3)

Configuración en Grafana

Dentro de Grafana se procedió a realizar el siguiente dashboard:



Ilustración 12. Dashboard en Grafana

Dentro de cada panel se va a presentar cada uno de los datos que se registren dentro de la base de datos. Por consiguiente, dentro de cada panel se escribieron las siguientes consultas para que cada nodo seleccione tanto la temperatura como la humedad que estos recogieran:

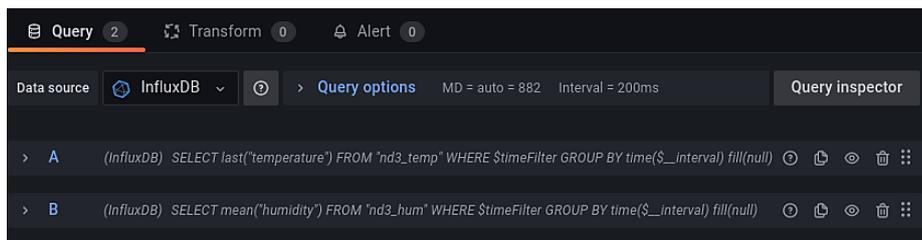


Ilustración 13. Consultas SQL

Cabe mencionar que estas mismas consultas se realizaron a todos los paneles, solo con el ligero cambio del número de nodo, es decir, en el gráfico se detalla que se va a seleccionar tanto la temperatura como la humedad del nodo 3, entonces, para el nodo 2, sería el mismo proceso solo que cambiando nd3 por nd2.

Con esto quedaría completa esta subfase, donde se configuro e implemento tanto los dispositivos como el servidor MQTT que permite el envío de datos hacia la base de datos y estos puedan ser presentados dentro de un dashboard.

En la siguiente fase de la metodología, Tune, se procedió con la evaluación como tal del sensor, es decir, con el análisis y resultados esperados.

2.4. Ejecución del prototipo

Para la ejecución del prototipo se realizaron dos pruebas, la primera con el fin de comprobar que la red funciona a una distancia media, mientras que la segunda fue ya desde la ciudad de Machala hasta la finca Happy Fruit que se encuentra en la ciudad de Arenillas.

Prueba distancia media – Zoila Ugarte Ciudad de Machala

Esta prueba se la realizo en la ciudad de Machala en el parque Zoila Ugarte, donde cada uno de los nodos se encontraba en un punto del parque mientras que el Gateway se encontraba a 1.9km de distancia de los nodos.

Vista previa de cada dispositivo

Antes de que se realizara la ejecución del prototipo, se conectó los sensores con los nodos y se encendieron cada uno de estos, tal y como se muestra en la siguiente Ilustración.

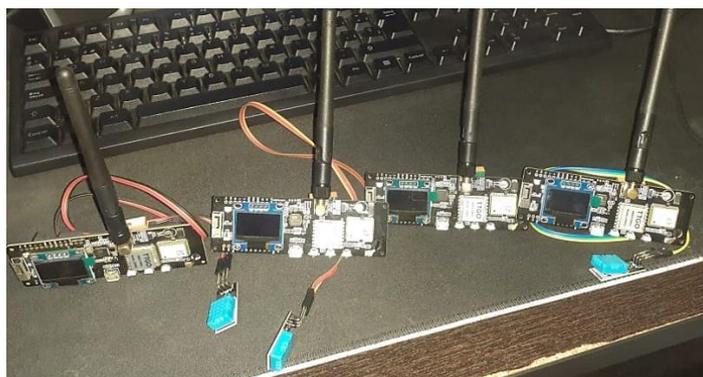


Ilustración 14 Vista previa de cada dispositivo

Puesta del Gateway

Para la ejecución de las pruebas, primero se posicionó el dispositivo Gateway en una posición alta.

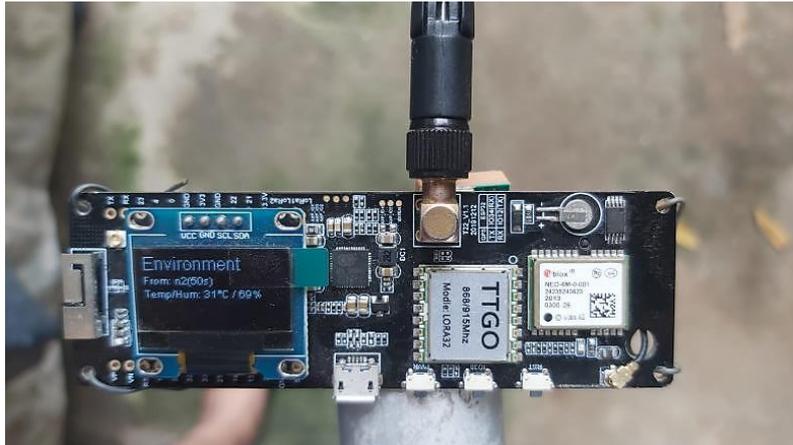


Ilustración 15 Posicionar Gateway para las pruebas

Por consiguiente, el Gateway fue amarrado a un tubo y puesto en una posición alta, tal y como se ve en la siguiente Ilustración.



Ilustración 16 Posicionar Gateway para las pruebas 2

Vista previa de cada dispositivo en el Mapa

A partir del diseño de un mapa, se pudo ver la distancia máxima en la cual estaban tanto el dispositivo Gateway como los nodos y se indicó como quedo determinado cada nodo con el Gateway, cabe aclarar que cada nodo tiene una distancia de 5km cada uno.

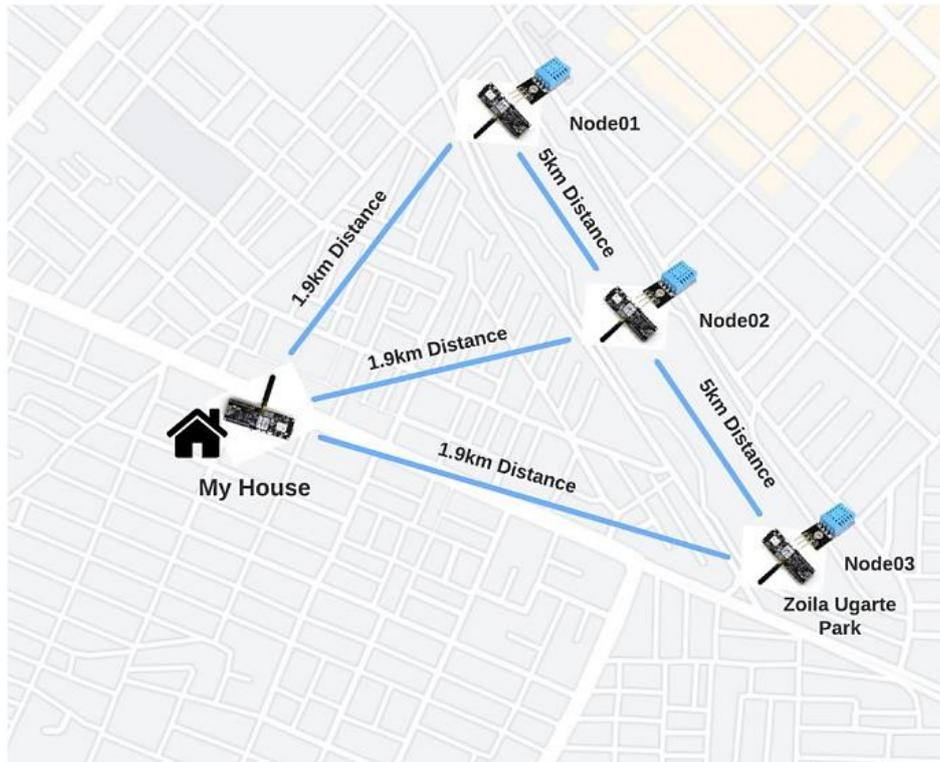


Ilustración 17 Posición de los nodos y Gateway

Configuración

Antes de procesar todos los datos, se requirió la configuración de todo el proceso de toma de datos, estos necesitan ser ejecutados en el siguiente orden:

- Datos ambientales enviados por los Nodos
- Script de Python
- Node-red
- InfluxDB
- Grafana

Resultados del Script de Python

A partir del script en Python se pudo capturar los datos que se recogen a partir del Gateway. Dentro del resultado que da se destacan los siguientes puntos como el payload, que, para este caso, son la temperatura y humedad que fue recogida de un nodo determinado, este nodo es determinado a partir del número que se ve en from; entre otras características también destacan el id y el canal donde fueron recogidos estos datos. Una vez estos datos se muestran en el script, van directamente hacia el servidor MQTT configurado previamente.

```

packet {
  from: 84682432
  to: 4294967295
  decoded {
    portnum: ENVIRONMENTAL_MEASUREMENT_APP
    payload: "\r\315\314\350A\025\000\000\212B%\`5\375?-h\267\373?"
  }
  id: 1372414543
  rx_time: 1644590154
  rx_snr: 9.25
  hop_limit: 2
}
channel_id: "HFChannel"
gateway_id: "!bdf0b48c"

temperature: 29.1
relative_humidity: 69.0

```

Ilustración 18 Resultados del Script de Python

Resultados en Node-red

En node-red, se mostraron los datos ambientales que va trayendo cada nodo hacia el servidor MQTT a partir del tópic que se le fue asignado, donde el número que da el script en Python es clave para reconocer que nodo está receptando esos datos.

```

meshtastic/302333376/relative_humidity : msg : Object
  ▶ { topic:
    "meshtastic/302333376/relative_...",
    payload: object, qos: 0, retain:
    false, _msgid: 5797e27fcc1d11b6 }
-----
11/2/2022, 09:33:13 node: Node_03 Temperatura
meshtastic/84682432/temperature: msg : Object
  ▶ { topic:
    "meshtastic/84682432/relative_h...",
    payload: object, qos: 0, retain:
    false, _msgid: dc22d6673f9231ef }

```

Ilustración 19 Resultados en Node Red

Resultados en InfluxDB

Todos estos datos que se iban receptando en los nodos, fueron almacenados dentro de InfluxDB, donde se observa información como el tiempo, el id del dispositivo y la temperatura o humedad, con esto, se puede tener un respaldo de estos datos, en caso de que querríamos ver en qué momento hubo temperaturas o humedades altas o bajas.

```

> select * from nd1_temp
name: nd1_temp
time                device_id temperature
-----
1644243430000000000 nodo_1      27.899999618530273
1644243550000000000 nodo_1      27.899999618530273
1644589711000000000 nodo_1      29.5
1644589822000000000 nodo_1      29.5
1644589943000000000 nodo_1      29.5
> select * from nd1_hum
name: nd1_hum
time                device_id humidity
-----
1644243433000000000 nodo_1      82
1644243557000000000 nodo_1      82
1644589711000000000 nodo_1      76
1644589823000000000 nodo_1      76
1644589943000000000 nodo_1      76

```

Ilustración 20 Resultados en InfluxDB

Resultados en Grafana

Una vez que los datos fueron almacenados, estos pasaron a su correspondiente presentación dentro de grafana, donde, se tiene asignado cada nodo con su panel, dicho panel, se puede observar tanto la temperatura, humedad y el tiempo en el que fueron receptados los datos.

Resultados del Nodo 1

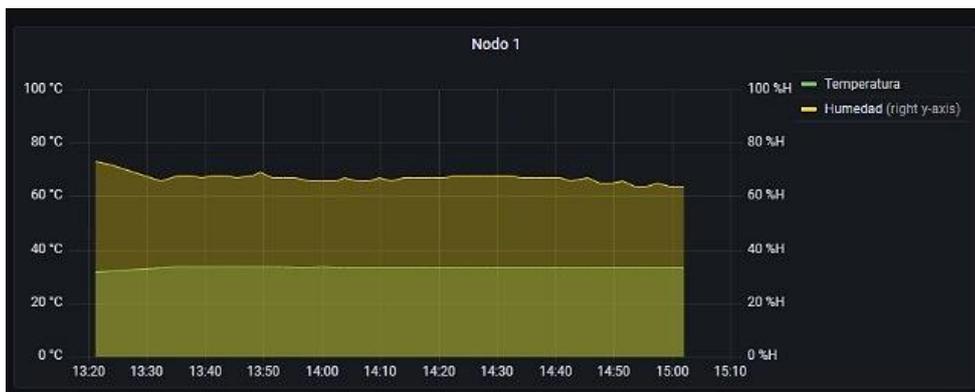


Ilustración 21 Resultados en Grafana Nodo 1

Resultados del Nodo 2

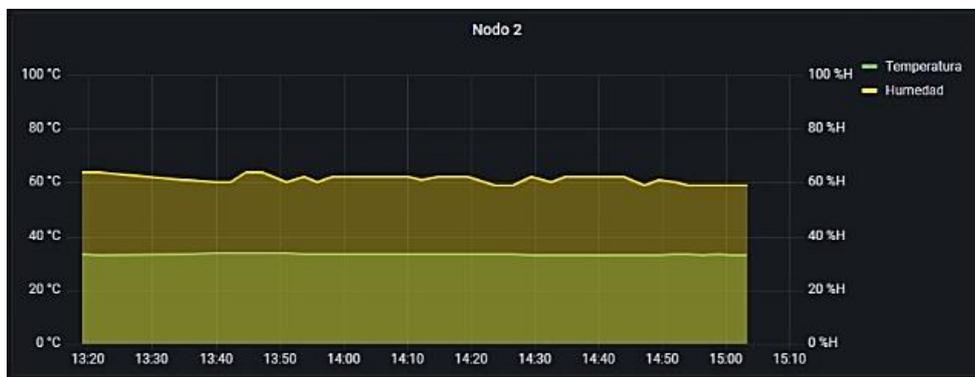


Ilustración 22 Resultados en Grafana Nodo 2

Resultados del Nodo 3

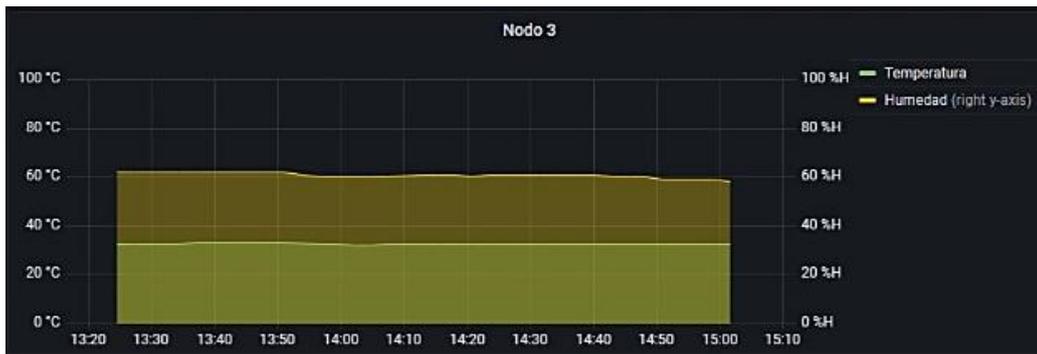


Ilustración 23 Resultados en Grafana Nodo 3

Prueba distancia Machala – finca Happy Fruit

Con la prueba de distancia media hecha en Machala, se determinó que la red es funcional y permite la recepción de datos a largas distancia, por lo que la siguiente prueba que se ejecuto fue desde la ciudad de Machala hasta la finca Happy Fruit de la ciudad de Arenillas.

Sin embargo, antes de la ejecución de la prueba, se tomaron en cuenta datos como la distancia y la línea vista de estas dos ciudades, medidas que fueron extraídas utilizando el sitio web Radio Mobile, esto con el fin de que no exista ningún tipo de inconveniente durante la prueba.

Perfil de elevación entre puntos, Arenillas

Se tomó en cuenta el perfil de elevación entre puntos, es decir si la elevación era la correcta para que el nodo Gateway pueda receptor los datos desde Arenillas.

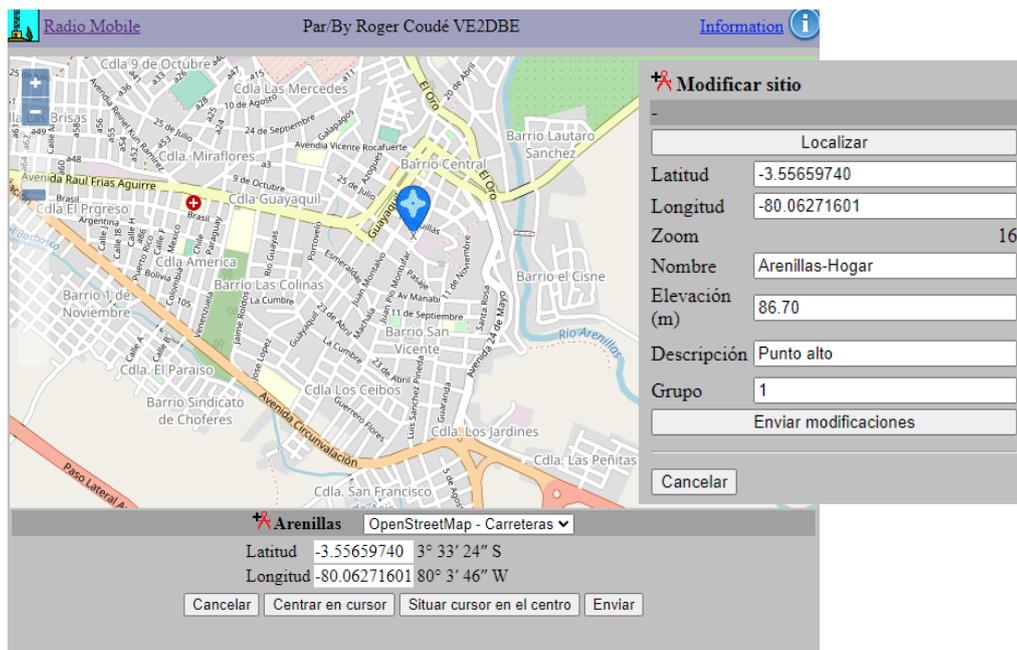


Ilustración 24: Perfil de elevación entre puntos, Arenillas

Finca Happy Fruit, Recolección de datos

En el caso de la finca, lugar donde se recolectaron los datos, estos tuvieron una elevación que permitió la recepción de los datos hacia un punto en arenillas, que sirvió como receptor de los datos hacia el Gateway.

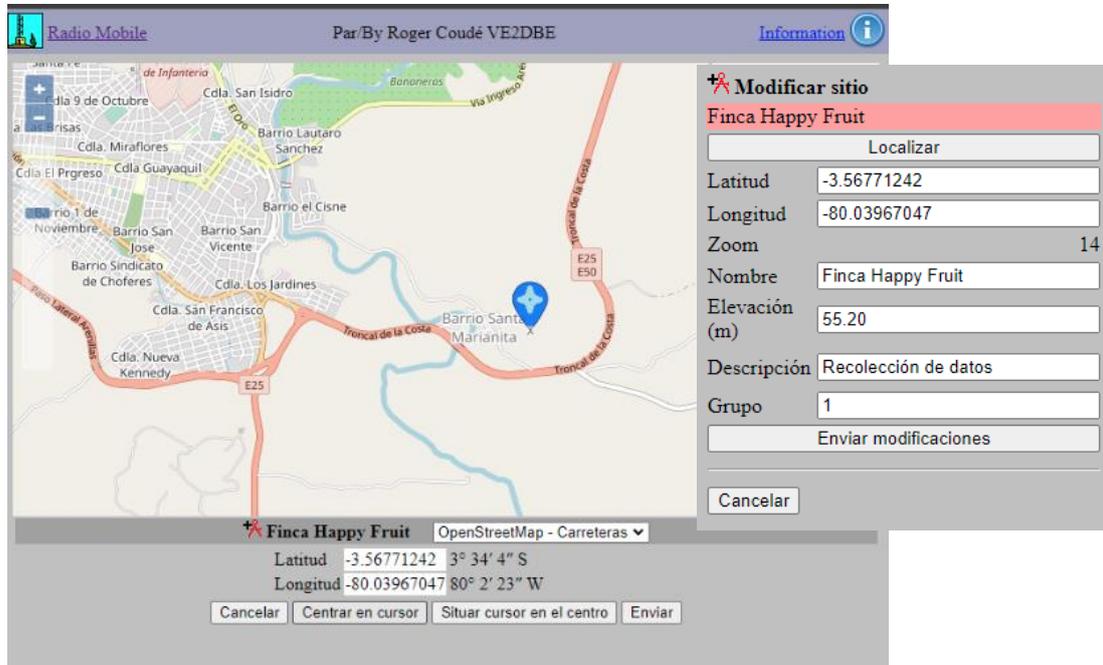


Ilustración 25: Perfil Finca Happy Fruit - recolección de datos

A partir de este análisis, se creó una tabla donde se listo los datos importantes tanto de la finca como de la ciudad de arenillas, lugar donde se encuentra el nodo que permite la recepción hacia Machala, por lo que la distancia entre esos 2 puntos fue de 2.84KM.

Radio entre Finca y hogar Arenillas	
<u>Finca Happy Fruit</u> (1)	(2) <u>Arenillas</u>
Latitud	-3.567712 °
Longitud	-80.039670 °
Elevación del terreno	55.2 m
Altura de la antena	5.0 m
Azimuth	295.79 TN 297.61 MG °
Inclinación	0.62 °
	Latitud
	-3.556597 °
	Longitud
	-80.062716 °
	Elevación del terreno
	86.7 m
	Altura de la antena
	5.0 m
	Azimuth
	115.79 TN 117.60 °
	MG
	Inclinación
	-0.65 °

Sistema de radio		Propagation	
Potencia TX	43.01 dBm	Pérdida en espacio libre	94.53 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	30.40 dB
Ganancia de antena TX	6.00 dBi	Pérdida por bosque	1.00 dB
Ganancia de antena RX	2.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	6.52 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	132.46 dB
Performance			
Distance			2.841 km
Precisión			10.0 m
Frecuencia			450.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente			39.905 W
Ganancia del sistema			160.53 dB
Fiabilidad requerida			70.000 %
Señal recibida			-84.95 dBm
Señal recibida			12.67 μ V
Margen de escucha			28.07 dB

Ilustración 26: Radio entre Finca y hogar Arenillas

Fuente: https://www.ve2dbe.com/rmonline_s.asp

Implementación de las antenas

Se implementaron antenas destinadas a un rango más amplio. Se colocaron nodos en la finca Happy Fruit encargados de recolectar los datos ambientales. Un nodo repetidor fue necesario para obtener la línea vista hacia la ciudad de Machala. Y en Machala se colocó el Gateway encargado de la recepción de los datos.

Enlaces Arenillas – Machala

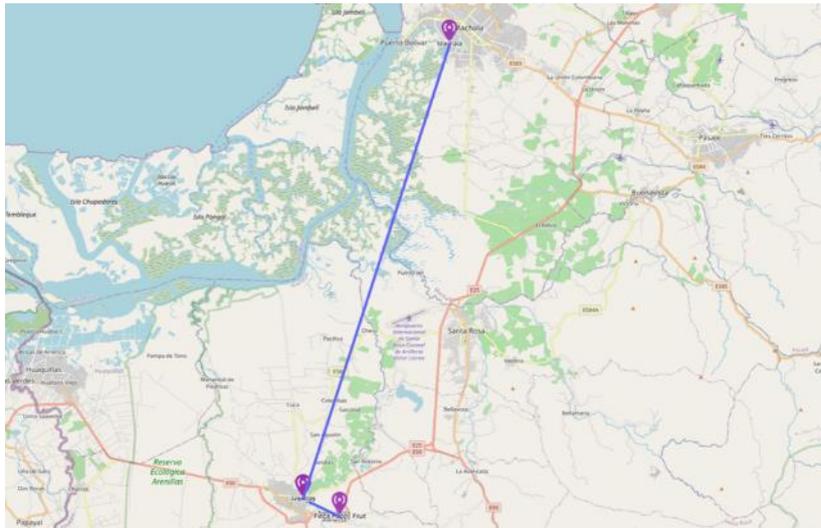


Ilustración 27: Enlaces Arenillas – Machala

Elevación del terreno:

Arenillas: 86.7 m

Machala: 1.6 m

Altura de antenas: 6 m

Distancia: 33.5 km

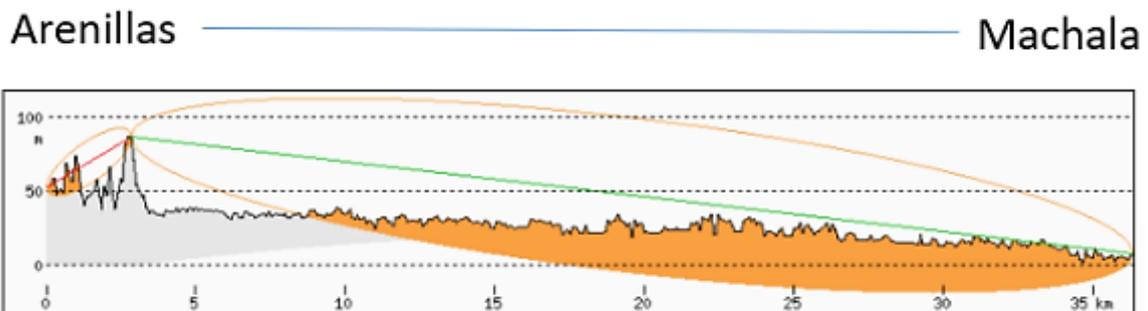


Ilustración 28: Línea vista Arenillas – Machala

Fuente: <http://www.heywhatsthat.com/profiler.html>

Implementación de las antenas a cada uno de los dispositivos y la realización de pruebas dentro de la finca Happy Fruit.

Antena FrSky Super 8.

Especificaciones:

- Rango de frecuencia: 868 MHz (UE LBT) y 915 MHz (no EU FCC)
- Pico de ganancia: 3 dBi@900 Mhz.
- Impedancia de alimentación: 50 ohm.
- RF Cable: RG405 Semiflexible

- Conector: agujero de tornillo interno SMA

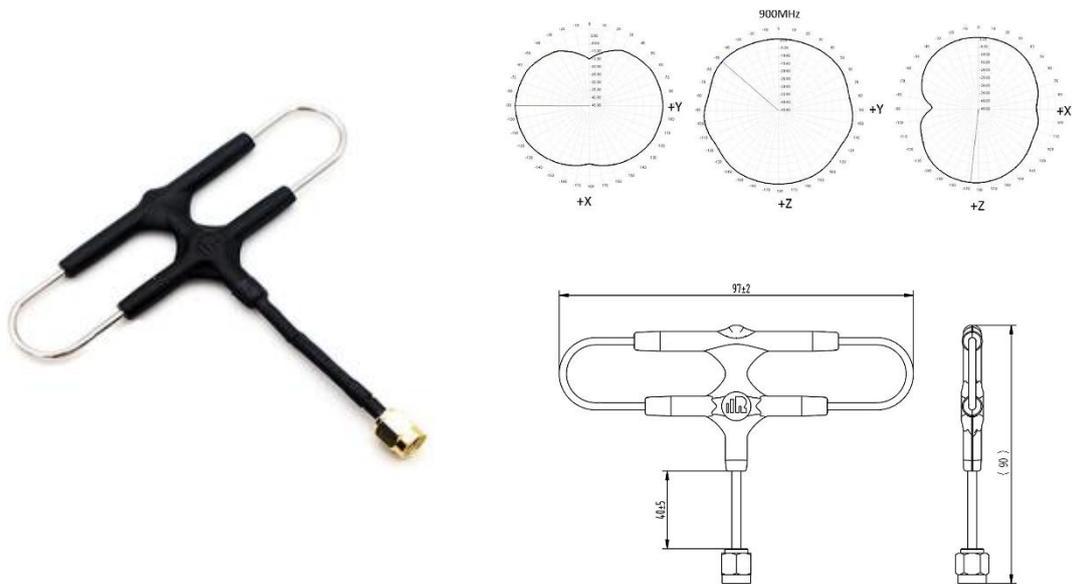


Ilustración 29: Antena FrSky Super 8

Resumen de la disposición de los dispositivos

Una vez dispuestos todos los elementos necesarios se procedió a armar la red LoRaWAN Meshtastic a partir de la siguiente disposición:

- **Nodo Gateway:** Encargado de recibir los datos que llegan de la finca, se lo ubico en la ciudad de Machala.
- **Nodo 1 y 2:** Ubicados en la finca Happy Fruit, estos tomaron los datos ambientales (temperatura y humedad) de los cultivos.
- **Nodo 3:** Ubicado aproximadamente a 2km de la finca, actuó como receptor para los dos nodos.



Ilustración 30: Resumen de la disposición de los dispositivos

Resultados de la prueba de Distancia Machala – finca Happy Fruit

Con el armado de la red se procedió a recolectar y presentar los datos en Grafana.



Ilustración 31: Resultados de la prueba Machala - Finca Happy Fruit

3. CAPITULO III. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO

En el presente capítulo se realizó la evaluación del prototipo, donde se determinó el plan de evaluación que se utilizó para evaluar el prototipo del proyecto de integración, y por consiguiente se analizó los resultados esperados a partir de la planificación hecha.

3.1. Plan de evaluación

3.1.1. Planificación de las pruebas

No.	Tipo de Prueba	Objetivo de la prueba	Resultados
1	Nodo Pirata	Determinar el nivel de seguridad de la red al añadir un nodo externo.	Imágenes donde se descubre un nodo pirata mediante la información que brinda el Gateway.
2	Visibilidad de Datos	Determinar el nivel de seguridad que brinda Meshtastic encriptando los datos.	Imágenes que comprueban la encriptación de los datos desde el Gateway hasta el MQTT bróker.

3	Mesh	Comprobar el correcto funcionamiento de la configuración en Mesh de la red.	Evidencia del funcionamiento de la red conectada en Mesh con pruebas de desconexión de nodos y detección de la ruta que toman los datos.
4	Perdida de Paquetes	Medir el porcentaje de pérdida de paquetes en la red con distintos escenarios.	Porcentaje de pérdida de paquetes en los escenarios: indoor con línea vista, in-doors con obstáculos, campo abierto con distancia media y distancia final Arenillas – Machala.
5	Latencia	Medir la latencia total de la red.	Resultados de latencia desde el nodo 1 hasta el Gateway.

Tabla 13: Planificación de las pruebas

3.1.2. Requerimientos

Hardware

- 4 dispositivos TTGO TBEAM.
- 1 computador Portátil, **especificaciones:**
 - Intel Core I7 7700HQ Quad Core 2.8Ghz.
 - 16GB RAM DDR4.
 - 128GB M2 SSD.
 - 2TB HDD.
 - Nvidia GeForce GTX 1050 4GB.
- 4 antenas FrSky Super 8.
- 4 cable coaxial macho-macho 6mts.
- 4 tubos 6mts.
- 4 baterías recargable de 8800 mA.

Software - Dispositivos TTGO TBEAM

- Firmware Meshtastic.

Software – Computador

- Wireshark.

- **Sistema operativo:** Windows 10 Pro.
- **Consola de Comandos** donde se ejecutó lo siguiente:
 - Node-Red.
 - Script de transferencia desde el dispositivo a node-red hecho en Python.
 - Base de Datos InfluxDB.
 - Navegador Web Microsoft Edge Chromium.
 - Grafana.

3.1.3. Diagrama o estructura de los escenarios

Prueba de seguridad

Escenario 1 – Nodo Pirata

En esta prueba se agregó un dispositivo externo a la red intentando simular un nodo pirata con la intención de conectarse al Gateway. Se comprobó que se puede observar el nuevo nodo conectado y su distancia mediante la consola en la API de meshtastic instalada localmente en la computadora, además se puede observar este en la pantalla LCD del Gateway. Demostrando así la seguridad de esta red en este escenario.

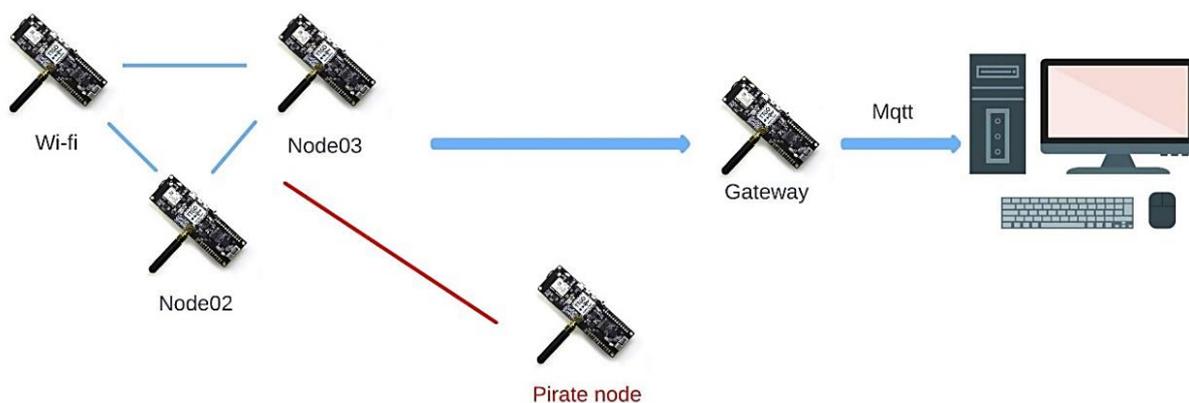


Ilustración 32: Escenario 1 - Nodo Pirata

Escenario 2 – Visibilidad de Datos

En esta prueba se tratará de visualizar los datos que viajan entre el Gateway y el MQTT broker mediante la red Wi-Fi y se comprobará mediante el analizador de protocolos Wireshark, el encriptado correspondiente de los datos por parte de meshtastic.

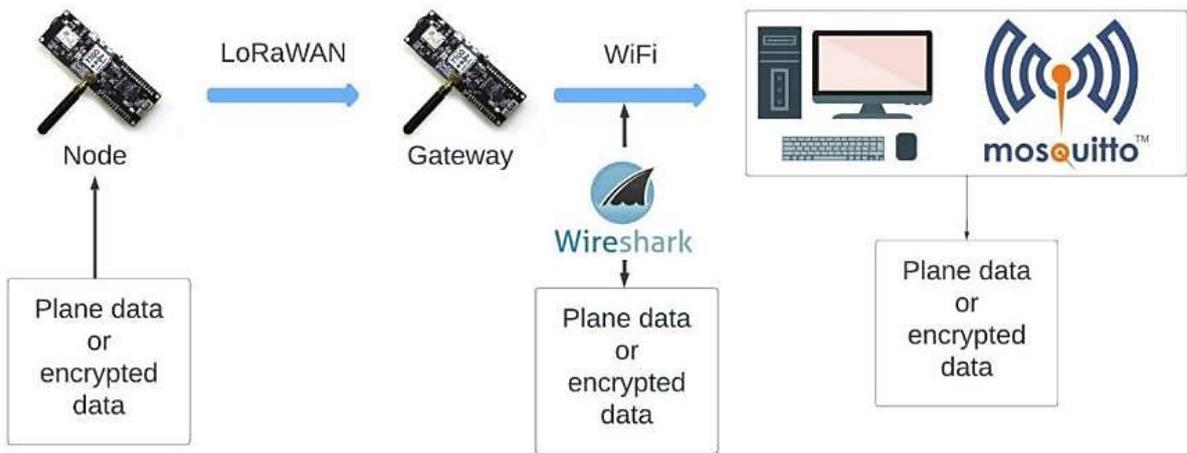
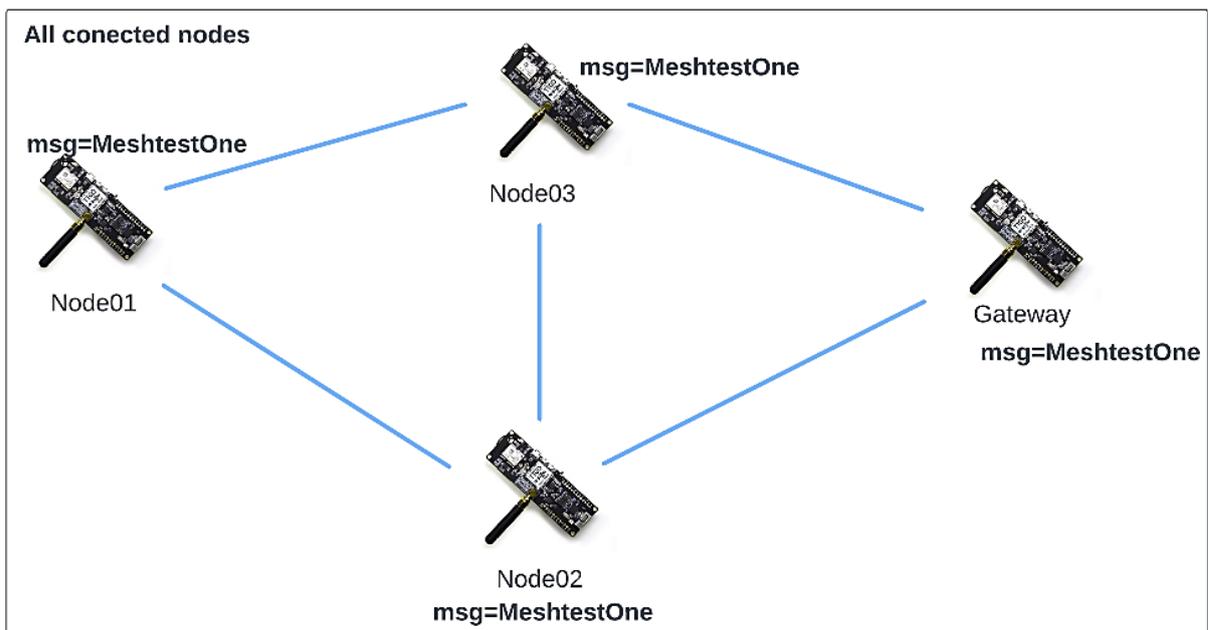


Ilustración 33: Escenario 2 - Visibilidad de los Datos

Escenario 3 – Mesh

Para este escenario, se configurará la red en forma de mesh y se enviará un mensaje desde un nodo y este se receptorá hacia todos los nodos. Luego se ejecutará la misma prueba, pero se apagará un nodo para comprobar que la mesh funciona y los datos llegan a su destino mediante el otro nodo que sigue funcionando.



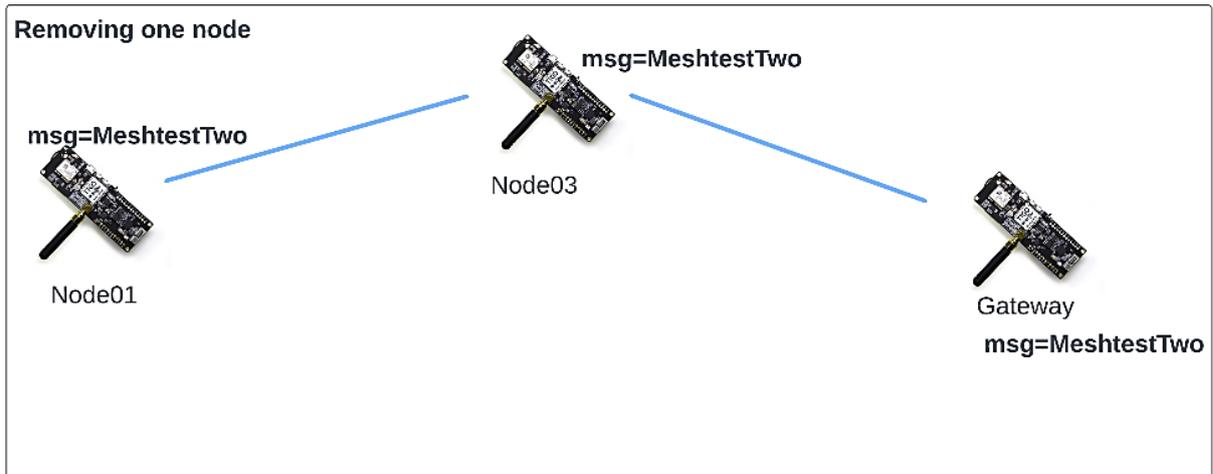


Ilustración 34: Escenario 3 – Mesh

Perdida de Paquetes

Escenario 4.1 – indoor con línea vista

En el escenario 3.1, se realizó la prueba de pérdida de paquetes tomando en cuenta una distancia corta, es decir, que todos los dispositivos estén lo más cerca posible uno de otro, con esto se realizó la prueba con los primero 30 paquetes que fueron enviados hacia el Gateway y se calculó el porcentaje de paquetes perdidos de los 3 nodos.

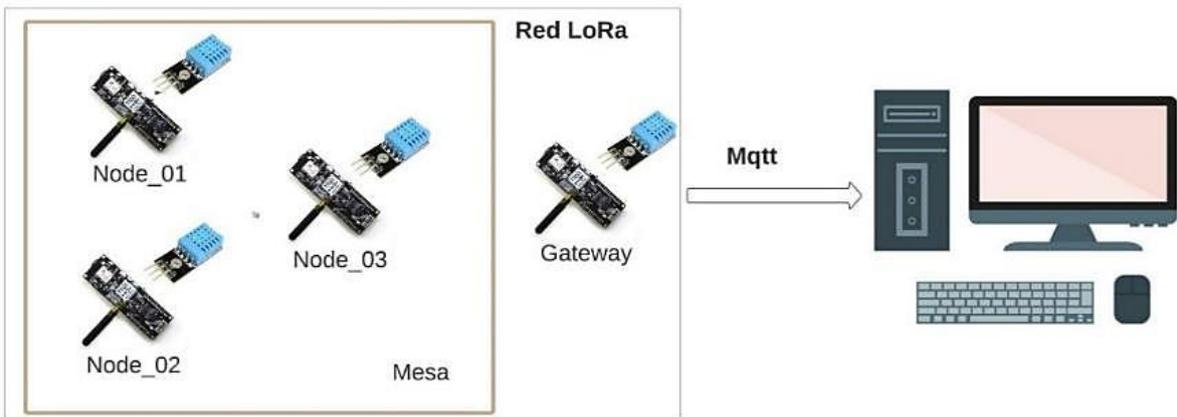


Ilustración 35: Escenario 4.1 - indoor con línea vista

Escenario 4.2 - in-doors con obstáculos

En el escenario 3.2, se tomó la prueba de pérdida de paquetes, pero con una distancia media, donde cada dispositivo se lo puso en distintos lugares de la casa, pero con obstáculos, como una silla, pared, etc...., de la misma forma se tomaron los 30 primeros paquetes y se calculó el porcentaje de los mismos en los 3 nodos.

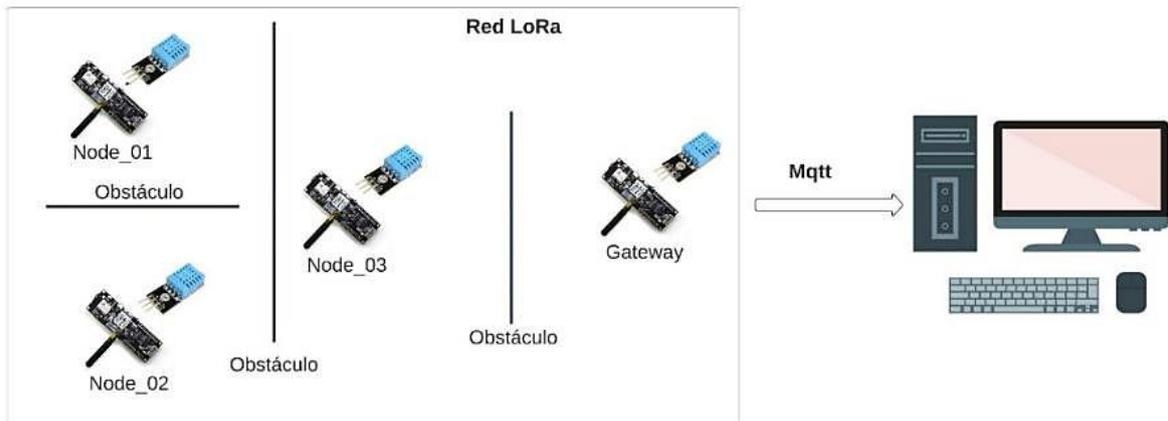


Ilustración 36: Escenario 4.2 - indoor con obstáculos

Escenario 4.3 - campo abierto con distancia media

En el escenario 4.3, se tomó la prueba de pérdida de paquetes a una distancia más larga en comparación a los otros 2 escenarios, que fue desde el aeropuerto Zoila Ugarte de la ciudad de Machala, donde cada nodo se puso en una parte del parque, y estos fueron tomando datos para después irlos recibiendo el Gateway, de la misma forma se tomaron los 30 primeros paquetes y se calculó el porcentaje de los mismos en los 3 nodos.

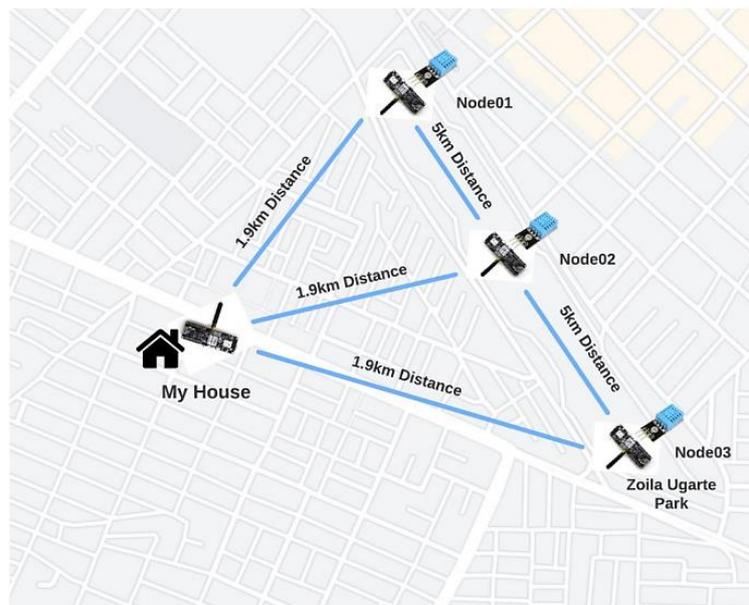


Ilustración 37: Escenario 4.3 - campo abierto con distancia media

Escenario 4.4 - distancia final Arenillas - Machala

En el escenario 4.4, se ejecutó la prueba de pérdida de paquetes desde la finca Happy Fruit hacia la ciudad de Machala, para esta prueba solo se pusieron 2 nodos en la finca, mientras que un nodo estuvo en la casa de mi compañero, esto con el fin de acortar la distancia hacia Machala, de la misma forma como paso con los otros 3 escenarios, se tomaron los 30 primeros paquetes y se calculó el porcentaje de los mismos en los 2 nodos.

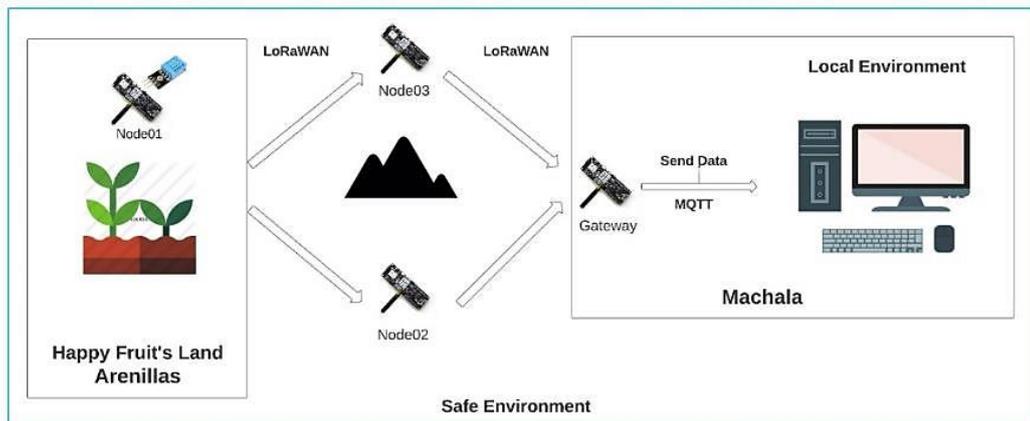


Ilustración 38: Escenario 4.4 - Distancia final Arenillas – Machala

Escenario 5 – Latencia

En este escenario se conectará cada nodo con un computador, donde se enviará un mensaje desde el nodo 1 y este registrará el tiempo, de la misma forma se lo realizara con los otros dos nodos, pero con la diferencia que se tomarán los tiempos de llegada del mensaje que se envió en el nodo 1 hasta llegar al Gateway. Luego, con todos los datos registrados, se sumarán todos los nodos y se promediarán los tiempos totales.

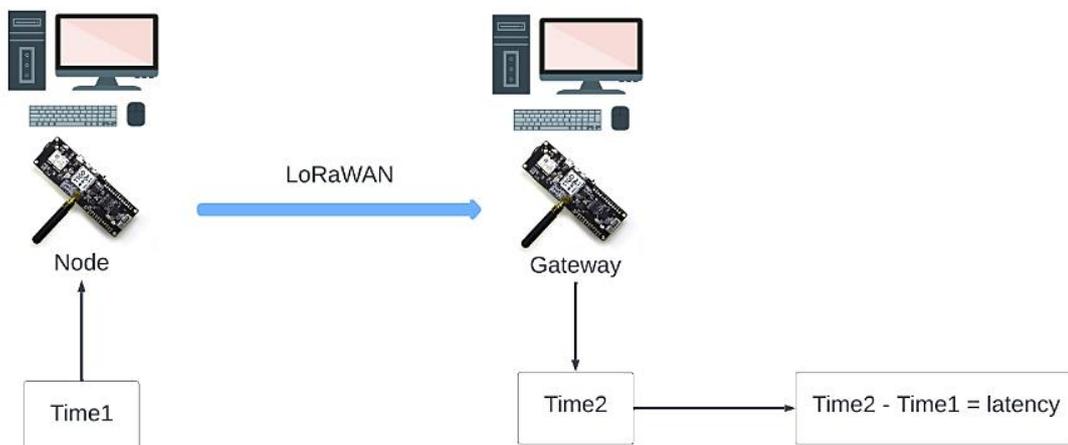


Ilustración 39: Escenario 5 - Latencia

3.2. Resultados de la evaluación

Una vez generado los escenarios de pruebas, se procedió con los resultados del plan de evaluación, mismos que van a ser detallados a continuación:

Escenario 1 – Nodo Pirata

Para la ejecución de este escenario se tomó un nodo externo como referencia para que este se infiltre dentro la redMesh que en este caso tienen como canal principal HFChannel, este nodo posee la siguiente configuración:

```
Meshtastic –set-owner “PrNode” –set-owner-short “prd”
```

```
Meshtastic –set range_test_plugin_enabled true –set range_test_plugin_sender 1
```

Nodo Pirata

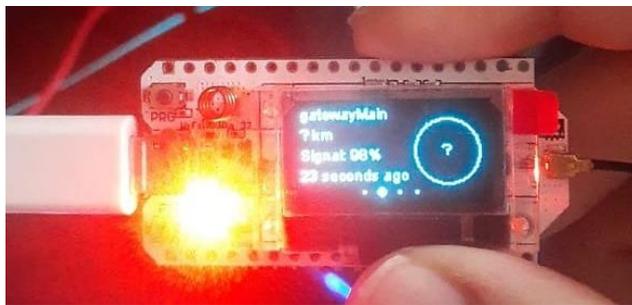
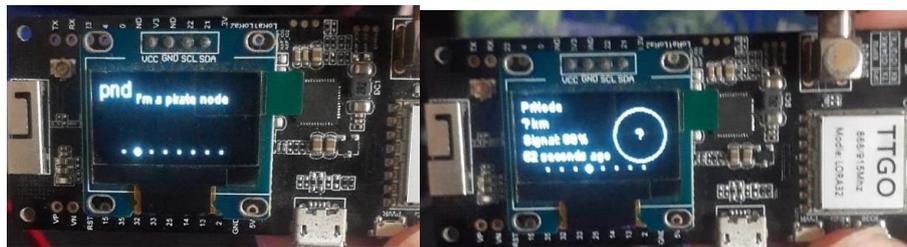


Ilustración 40: Nodo Pirata

En la imagen se puede ver como el nodo pirata se ha podido infiltrar a la red mesh, esto a partir de la ejecución del siguiente comando dentro de este nodo, cabe mencionar que para hacer esto se necesita del nombre del canal para enviar mensajes a los nodos conectados a ese canal, caso contrario no va a ser posible el envío de estos:

```
Meshtastic –ch-set name “HFChannel”
```

Gateway



```
Connected to radio
Owner: gatewayMain (gtw)
e2c15-d", "rebootCount": 143, "bitrate": 17.08847, "messageTimeoutMsec": 3000
ayMain', 'shortName': 'gtw', 'macaddr': '7c:9e:bd:f0:b4:8c', 'hwModel': 'TBEA
Name': 'node_02', 'shortName': 'n2', 'macaddr': '7c:9e:bd:f0:af:04', 'hwModel
'id': '!12053dc0', 'longName': 'PrNode', 'shortName': 'pnd', 'macaddr': 'a4:
{'from': 302333376, 'to': 4294967295, 'id': 443358084, 'rxTime': 1659551465,
```

Ilustración 41: Resultados del Gateway

Una vez que el nodo se ha infiltrado, el Gateway inmediatamente vera un nuevo nodo, en este caso el nodo pirata y vemos como este puede enviarnos mensajes a todos los nodos y al momento de ver la información del Gateway, este se va a tener al nodo pirata entre sus registros.

¿Como combatir el escenario del nodo pirata?

Para resolver el problema del nodo pirata, es decir que un nodo externo se filtre a nuestra red privada es la de monitorear los canales de cada uno de los nodos, es decir, tener una lista blanca con los nodos que se encuentren en la red y en el caso de que algún nodo ajeno consiga obtener el nombre del canal, el Gateway enviara una notificación o correo electrónico con el id único de este nodo y el servidor principal lo ponga en una lista negra donde se le negara el acceso y este no podrá mandar mensajes a la red.

Escenario 2 – Visibilidad de los Datos

Para la visibilidad de los datos se usó la siguiente instrucción en el Gateway, para tanto encriptar como desencriptar los datos

```
Meshtastic -set mqtt_encryption_enabled "false or true"
```

Datos no cifrados

Al momento de desencriptar los datos con el comando puesto en false, será posible ver cada uno de los datos que se envían por MQTT hacia node-red, para este caso, se usaron los datos de temperatura y humedad como ejemplo.

Mensaje enviado

```
temperature: 26.899999618530273  
relative_humidity: 76.0
```

Ilustración 42: Mensaje enviado

Resultado MQTT

Mediante el script hecho en Python se pudo ver el resultado enviado por los nodos al Gateway, donde se ve el payload o mensaje desencriptado.

```
C:\Users\TEMP\Downloads\Meshtastic_Documentacion\Meshtastic mqtt Script>py mes  
Connected to MQTT Broker!  
packet {  
  from: 3186675904  
  to: 4294967295  
  decoded {  
    portnum: ENVIRONMENTAL_MEASUREMENT_APP  
    payload: "\r33\327A\025\000\000\230B%\3204\375?- \030I\375?5d\210\r@"  
  }  
  id: 354748363  
  rx_snr: 10.25  
  hop_limit: 2  
}  
channel_id: "HFChannel"  
gateway_id: "!bdf0b48c"  
  
temperature: 26.899999618530273  
relative_humidity: 76.0
```

Ilustración 43: Resultados por MQTT

Resultados Wireshark

El caso de la herramienta Wireshark, sucede lo mismo, ya que los datos enviados hacia el Gateway se muestran sin ningún problema.

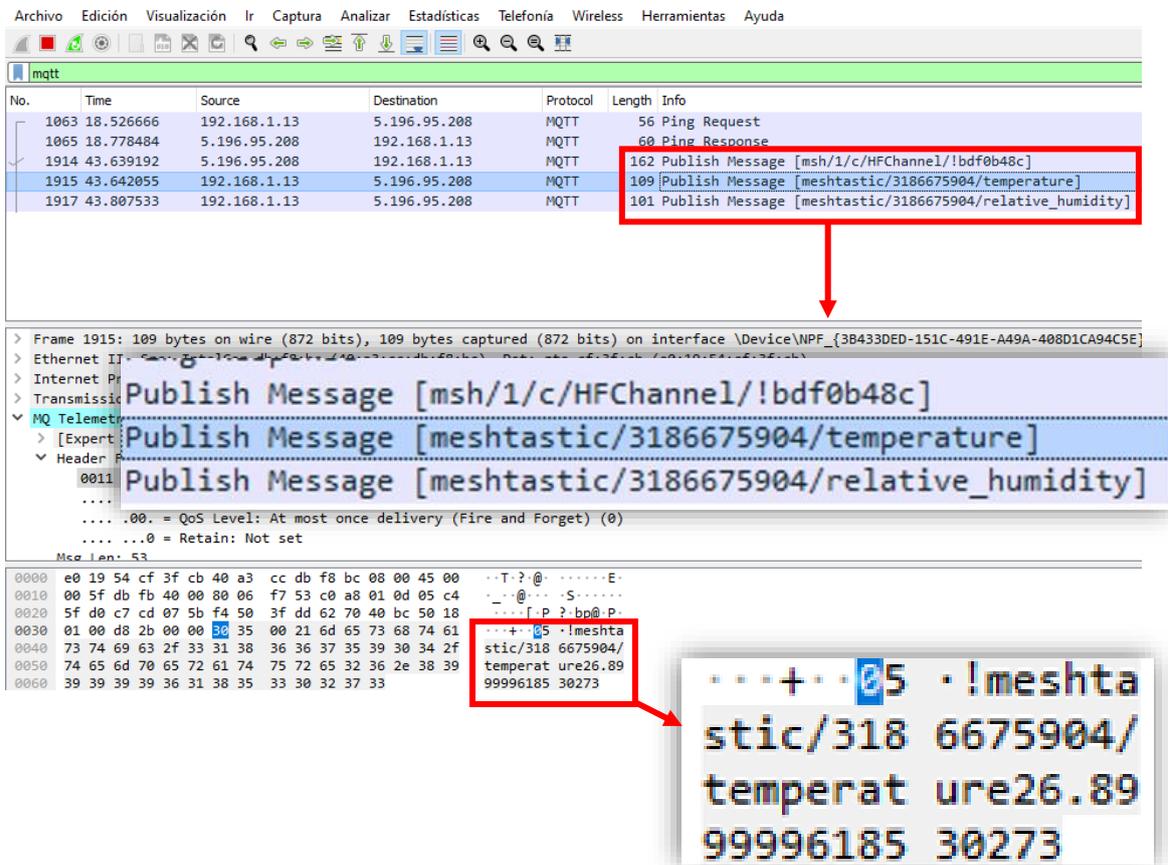


Ilustración 44: Resultados Wireshark - Mensaje descriptado

En esta imagen, se puede observar que los mensajes son presentados de forma natural, es decir se los puede ver sin ningún problema dentro de Wireshark.

Datos cifrados

Al momento de cambiar el comando a true, los datos se encuentran completamente encriptados, es decir que estos no van a ser posible ser vistos de ninguna forma, para este ejemplo se utilizó también los datos de temperatura y humedad.

Mensaje enviado

El mensaje enviado fue de temperatura y humedad, pero en este caso al estar encriptados los datos, estos no se vieron de forma correcta

```

packet {
  from: 3186675904
  to: 4294967295
  channel: 241
  encrypted: "\244\302\251e\027\240\327\360~R0\334e\305zIcx;5\201\355\030\315\300L\261Z\307"
  id: 141581636
  rx_time: 1659571325
  rx_snr: 10.25
  hop_limit: 2
}
channel_id: "HFChannel"
gateway_id: "!bdf0b48c"

```

Ilustración 45: Mensaje encriptado

Resultados en Wireshark

Para el caso de observar los datos en Wireshark, esto no fue posible, ya que los datos al estar encriptados, estos no pasaban del envío por MQTT, haciendo complicado su presentación por esta herramienta.

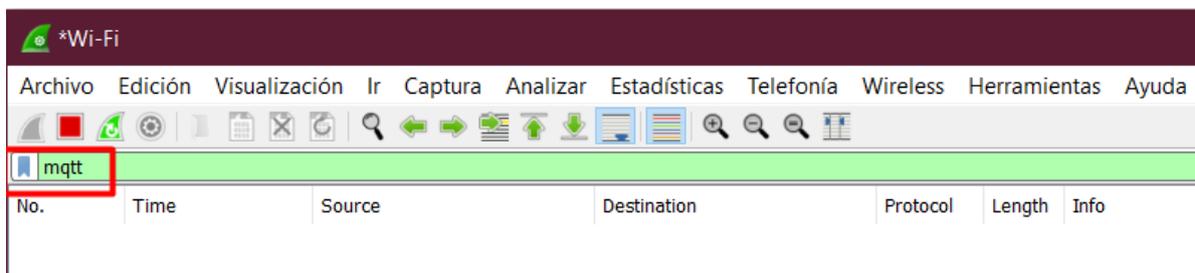


Ilustración 46: Resultados en Wireshark - Mensaje Encriptado

Escenario 3 – Mesh

La ubicación de cada uno de los dispositivos, es la siguiente:

- Nodo I y II: En las lomas en Arenillas
- Nodo III: En la Finca Happy Fruit
- Nodo Gateway: Ubicado en una vivienda en Machala

Prueba 3.1 Todos los dispositivos conectados

Para esta prueba, todos los dispositivos estuvieron conectados, tal y como se muestra en el diagrama, para este caso, se envió un mensaje y este fue recibido a todos los nodos conectados al canal HFChannel. Cabe mencionar que tanto el nodo 1 como el 2 tienen una distancia de 10 metros.

Mensaje enviado: MeshtestOne

Este mensaje fue enviado por el Gateway hacia todos los nodos.

```

C:\Users\Humberto Correa>meshtastic --sendtext "MeshtestOne"
Connected to radio
Sending text message MeshtestOne to ^all on channelIndex:0

```

Ilustración 47: Mensaje enviado desde el Gateway

Nodo Gateway

Una vez enviado el mensaje, este pasa primero por el Gateway.



Ilustración 48: Mensaje recibido al Gateway - MeshtestOne

Nodo I

En el primer Nodo, una vez recibido el mensaje, se mostró en la pantalla el mensaje recibido.

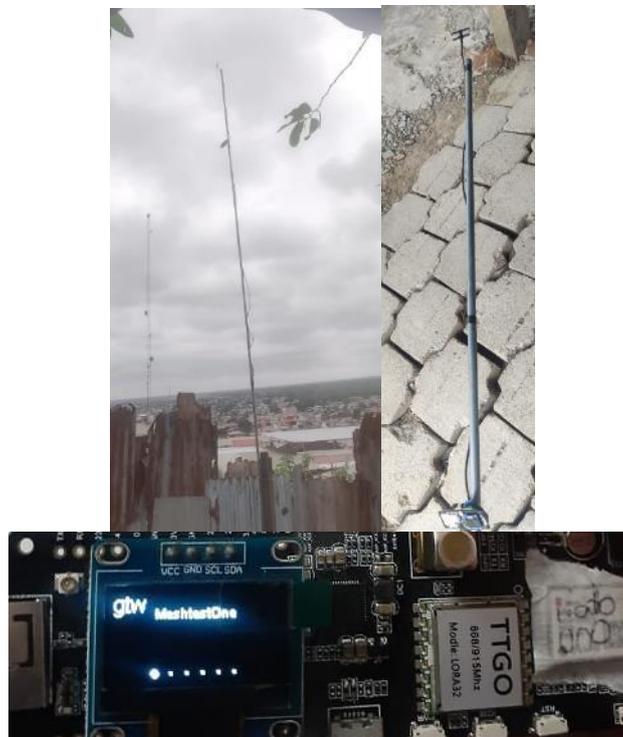


Ilustración 49: Mensaje recibido al Nodo I - MeshtestOne

Nodo II

Para el caso del segundo nodo, se tomó una foto de la pantalla que muestra la recepción del mensaje hacia este nodo.



Ilustración 50: Mensaje recibido al Nodo II - MeshtestOne

Nodo III

Por último, el nodo ubicado en la finca Happy Fruit, se realizó de la misma forma, se tomó una foto del mensaje enviado por el Gateway.



Ilustración 51: Mensaje recibido al Nodo III - MeshtestOne

Prueba 3.2 – Eliminando Nodo II

Mensaje enviado: MeshtestTwo

Para ejecutar esta prueba, se mantuvo el mismo formato de distribución de los nodos, con la diferencia de que el nodo 2 fue suprimido.

```
C:\Users\Humberto Correa>meshtastic --sendtext "MeshtestTwo"  
Connected to radio  
Sending text message MeshtestTwo to ^all on channelIndex:0
```

Ilustración 52: Mensaje enviado desde el Gateway - MeshtestTwo

Nodo Gateway

Al momento de enviar el mensaje desde el Gateway, este se mostró dentro de su pantalla, por lo que se tomó una foto.

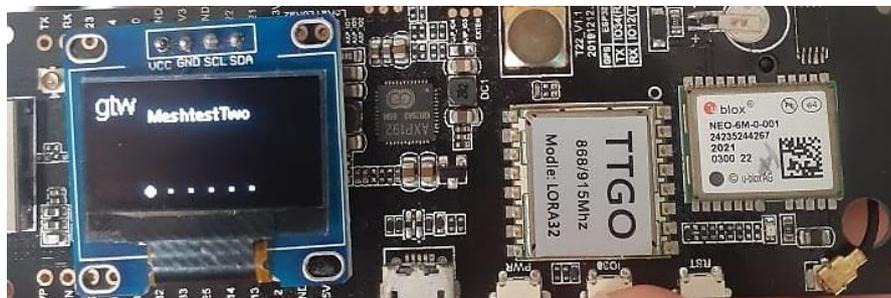


Ilustración 53: Mensaje recibido al Gateway - MeshtestTwo

Nodo I

En el nodo I, de la misma forma se tomó una foto con el mensaje recibido del Gateway



Ilustración 54: Mensaje recibido al Nodo I - MeshtestTwo

Nodo III

Para el nodo III fue de la misma forma, dando por hecho, que a pesar de haber eliminado un nodo la mesh siguió funcionando sin ningún problema, ya que el mensaje enviado fue retransmitido por los otros nodos.

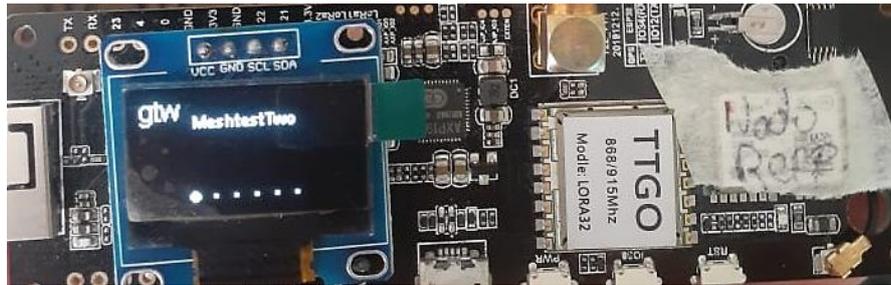


Ilustración 55: Mensaje recibido al Nodo III - MeshtestTwo

Escenario 4 – Perdida de Paquetes

En cada uno de los escenarios de perdida de paquetes se siguieron las siguientes pautas para su posterior cálculo:

- Cada uno de los nodos envió 30 paquetes hacia el Gateway.
- Tiempo configurado para el envío de datos: 2 minutos.
- En el caso de que cualquier nodo envíe un paquete en un tiempo mayor al configurado, se lo considerará como un paquete perdido, es decir, para el caso del Nodo I tiene configurado 2 minutos por paquete al Gateway, en el caso de que se envíe este a los 4 minutos, entonces se perdió uno.
- Se calculó el porcentaje de perdida de paquetes de cada nodo para su posterior análisis.

Escenario 4.1 – indoor con línea vista

Para esta prueba se colocó los dispositivos sobre una mesa, cerca los unos de los otros y se procedió a realizar las pruebas de perdida de paquetes.



Ilustración 56: Vista previa indoor con línea vista

Nodo I

Una vez encendido todos los nodos, se procedió a almacenar los datos dentro de la base de datos influxDB, y se tomó los resultados del tiempo que llego cada mensaje, para este caso del Nodo I.

TEMPERATURA			HUMEDAD		
<pre>> select * from nd1_temp</pre>			<pre>> select * from nd1_hum</pre>		
name: nd1_temp			name: nd1_hum		
time	device_id	temperature	time	device_id	humidity
----	-----	-----	----	-----	-----
2022-06-19T20:04:00Z	nodo_1	29.399999618530273	2022-06-19T20:04:00Z	nodo_1	78
2022-06-19T20:05:40Z	nodo_1	29.399999618530273	2022-06-19T20:05:40Z	nodo_1	74
2022-06-19T20:07:39Z	nodo_1	29.399999618530273	2022-06-19T20:07:39Z	nodo_1	76
2022-06-19T20:09:41Z	nodo_1	29.299999237060547	2022-06-19T20:09:41Z	nodo_1	76
2022-06-19T20:12:43Z	nodo_1	29.299999237060547	2022-06-19T20:12:43Z	nodo_1	74
2022-06-19T20:14:42Z	nodo_1	29.399999618530273	2022-06-19T20:14:42Z	nodo_1	74
2022-06-19T20:16:42Z	nodo_1	29.200000762939453	2022-06-19T20:16:42Z	nodo_1	76
2022-06-19T20:19:13Z	nodo_1	29.200000762939453	2022-06-19T20:19:13Z	nodo_1	76
2022-06-19T20:21:14Z	nodo_1	29.200000762939453	2022-06-19T20:21:14Z	nodo_1	74
2022-06-19T20:27:54Z	nodo_1	29.299999237060547	2022-06-19T20:27:54Z	nodo_1	76
2022-06-19T20:30:56Z	nodo_1	29.299999237060547	2022-06-19T20:30:56Z	nodo_1	76
2022-06-19T20:34:01Z	nodo_1	29.200000762939453	2022-06-19T20:34:01Z	nodo_1	76
2022-06-19T20:35:57Z	nodo_1	29.399999618530273	2022-06-19T20:35:57Z	nodo_1	76
2022-06-19T20:38:59Z	nodo_1	29.299999237060547	2022-06-19T20:38:59Z	nodo_1	76
2022-06-19T20:41:00Z	nodo_1	29.299999237060547	2022-06-19T20:41:00Z	nodo_1	76
2022-06-19T20:44:01Z	nodo_1	29.200000762939453	2022-06-19T20:44:01Z	nodo_1	76
2022-06-19T20:46:01Z	nodo_1	29.299999237060547	2022-06-19T20:46:02Z	nodo_1	76

Ilustración 57: Información recogida del Nodo I

Nodo II

De la misma forma sucede con el nodo II, que se tomaron los tiempos de llegada a partir de la información suministrada por influxDB.

TEMPERATURA			HUMEDAD		
<pre>> select * from nd2_temp</pre>			<pre>> select * from nd2_hum</pre>		
name: nd2_temp			name: nd2_hum		
time	device_id	temperature	time	device_id	humidity
----	-----	-----	----	-----	-----
2022-06-19T16:41:00Z	nodo_2	27.799999237060547	2022-06-19T16:41:00Z	nodo_2	70
2022-06-19T16:43:21Z	nodo_2	27.899999618530273	2022-06-19T16:43:21Z	nodo_2	70
2022-06-19T16:58:37Z	nodo_2	28.399999618530273	2022-06-19T16:58:37Z	nodo_2	70
2022-06-19T17:00:57Z	nodo_2	28.299999237060547	2022-06-19T17:00:57Z	nodo_2	70
2022-06-19T17:03:18Z	nodo_2	28.600000381469727	2022-06-19T17:03:18Z	nodo_2	69
2022-06-19T17:05:51Z	nodo_2	28.5	2022-06-19T17:05:51Z	nodo_2	70
2022-06-19T17:07:58Z	nodo_2	28.600000381469727	2022-06-19T17:07:58Z	nodo_2	70
2022-06-19T17:10:29Z	nodo_2	28.600000381469727	2022-06-19T17:10:29Z	nodo_2	70
2022-06-19T17:14:10Z	nodo_2	28.799999237060547	2022-06-19T17:14:10Z	nodo_2	70
2022-06-19T17:16:30Z	nodo_2	28.700000762939453	2022-06-19T17:16:30Z	nodo_2	69
2022-06-19T17:18:51Z	nodo_2	28.700000762939453	2022-06-19T17:18:52Z	nodo_2	69
2022-06-19T17:21:10Z	nodo_2	28.799999237060547	2022-06-19T17:21:11Z	nodo_2	69
2022-06-19T17:24:02Z	nodo_2	28.700000762939453	2022-06-19T17:24:02Z	nodo_2	69
2022-06-19T17:26:23Z	nodo_2	28.799999237060547	2022-06-19T17:26:23Z	nodo_2	69
2022-06-19T17:29:13Z	nodo_2	28.700000762939453	2022-06-19T17:29:13Z	nodo_2	69
2022-06-19T17:31:33Z	nodo_2	28.700000762939453	2022-06-19T17:31:33Z	nodo_2	69

Ilustración 58: Información Recogida del Nodo II

Nodo III

En el nodo III, se almacenar los datos en InfluxDB y se tomo el tiempo de llegada de cada paquete.

TEMPERATURA

```
> select * from nd3_temp
name: nd3_temp
time                device_id temperature
-----
2022-06-19T20:12:17Z nodo_3    29.5
2022-06-19T20:15:02Z nodo_3    29.5
2022-06-19T20:17:35Z nodo_3    29.5
2022-06-19T20:20:16Z nodo_3    29.5
2022-06-19T20:30:43Z nodo_3    29.899999618530273
2022-06-19T20:33:22Z nodo_3    29.899999618530273
2022-06-19T20:36:33Z nodo_3    29.799999237060547
2022-06-19T20:41:23Z nodo_3    29.899999618530273
2022-06-19T21:02:04Z nodo_3    29.799999237060547
2022-06-19T21:09:55Z nodo_3    29.5
2022-06-19T21:12:35Z nodo_3    29.5
2022-06-19T21:15:14Z nodo_3    29.399999618530273
2022-06-19T21:18:01Z nodo_3    29.200000762939453
2022-06-19T21:20:34Z nodo_3    29.100000381469727
2022-06-19T21:23:14Z nodo_3    29
2022-06-19T21:30:34Z nodo_3    28.799999237060547
2022-06-19T21:40:59Z nodo_3    28.700000762939453
2022-06-19T21:43:39Z nodo_3    28.600000381469727
2022-06-19T21:46:19Z nodo_3    28.600000381469727
```

HUMEDAD

```
> select * from nd3_hum
name: nd3_hum
time                device_id humidity
-----
2022-06-19T20:12:17Z nodo_3    67
2022-06-19T20:15:03Z nodo_3    67
2022-06-19T20:17:35Z nodo_3    67
2022-06-19T20:20:17Z nodo_3    67
2022-06-19T20:30:43Z nodo_3    67
2022-06-19T20:33:23Z nodo_3    67
2022-06-19T20:36:33Z nodo_3    67
2022-06-19T20:41:23Z nodo_3    69
2022-06-19T21:02:04Z nodo_3    69
2022-06-19T21:09:55Z nodo_3    69
2022-06-19T21:12:35Z nodo_3    69
2022-06-19T21:15:15Z nodo_3    70
2022-06-19T21:18:01Z nodo_3    70
2022-06-19T21:20:34Z nodo_3    69
2022-06-19T21:23:14Z nodo_3    69
2022-06-19T21:30:34Z nodo_3    67
2022-06-19T21:40:59Z nodo_3    69
2022-06-19T21:43:39Z nodo_3    69
2022-06-19T21:46:19Z nodo_3    69
```

Ilustración 59: Información Recogida del Nodo III

Resultados de la prueba de pérdida de paquetes indoor con línea vista

En los resultados podemos observar que algunos paquetes se han perdido, esto se debe a que los dispositivos están muy cerca entre ellos. Sin embargo, como la red LoRaWAN está diseñada para distancias cortas, esta pérdida no es muy significativa en comparación con las siguientes pruebas realizadas.

```
# Resultados Nodo_1
# Humedad y Temperatura
Tiempo por dato Nodo_1 = 120 sg(2 minutos)
Paquetes enviados = 30
Paquetes perdidos = 15
Porcentaje de perdida de paquetes = 50%
# Resultados Nodo_2
# Humedad y Temperatura
Tiempo por dato Nodo_2 = 140sg (2 minutos y 20 segundos)
Paquetes enviados = 30
Paquetes perdidos = 07
Porcentaje de perdida de paquetes = 23,33%
# Resultados Nodo_3
# Humedad y Temperatura
Tiempo por dato Nodo_3 = 160sg (2 minutos y 40 segundos)
Paquetes enviados = 30
Paquetes perdidos = 14
Porcentaje de perdida de paquetes = 46,66%
```

Ilustración 60: Resultados prueba indoor con línea vista

Escenario 4.2 indoors con obstáculos

Distribución de cada nodo

Para esta prueba se realizó a una distancia un poco más grande dentro de una casa. Aquí se colocaron diferentes obstáculos como paredes, mismas que poseen las siguientes medidas y características:

- **Medidas de la casa:** 7m² de ancho por 14m² de largo
- **Material de las paredes:** Cemento

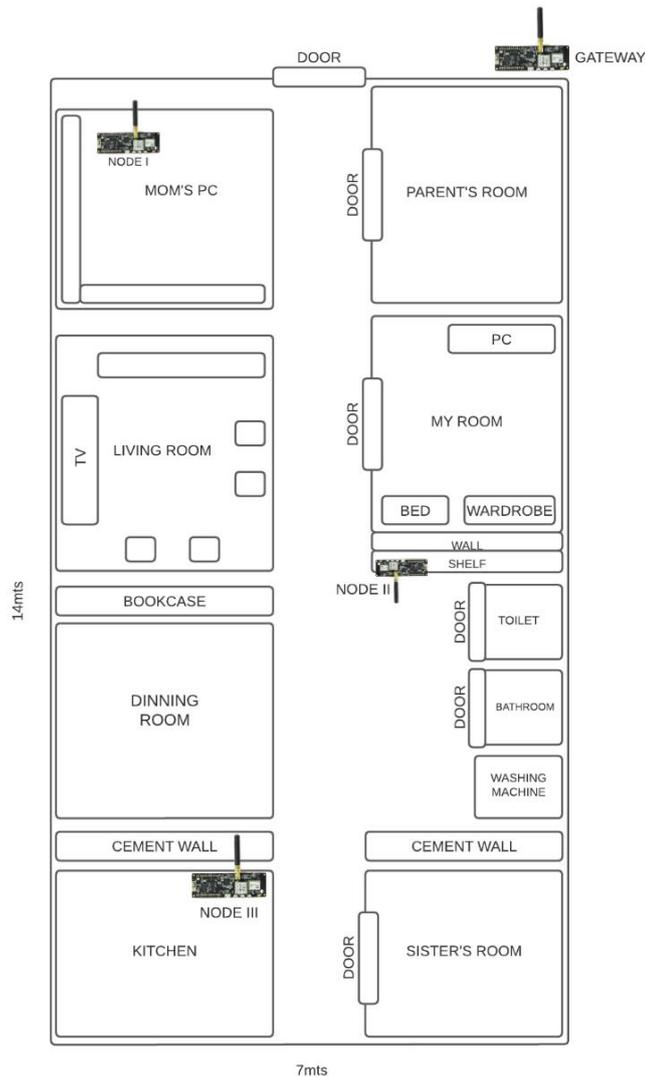


Ilustración 61: Distribución de cada Nodo

Nodo I

Una vez distribuido los nodos, se procedió a tomar los datos dentro de la base de datos en InfluxDB, para este caso del Nodo I.

TEMPERATURA			HUMEDAD		
<pre>> select * from nd1_temp</pre>			<pre>> select * from nd1_hum</pre>		
name: nd1_temp			name: nd1_hum		
time	device_id	temperature	time	device_id	humidity
-----	-----	-----	-----	-----	-----
2022-06-17T21:00:59Z	nodo_1	29.5	2022-06-17T21:00:59Z	nodo_1	70
2022-06-17T21:03:42Z	nodo_1	29.5	2022-06-17T21:03:42Z	nodo_1	70
2022-06-17T21:05:43Z	nodo_1	29.5	2022-06-17T21:05:43Z	nodo_1	70
2022-06-17T21:09:15Z	nodo_1	29.399999618530273	2022-06-17T21:09:15Z	nodo_1	69
2022-06-17T21:11:15Z	nodo_1	29.5	2022-06-17T21:11:15Z	nodo_1	69
2022-06-17T21:15:19Z	nodo_1	29.5	2022-06-17T21:15:19Z	nodo_1	69
2022-06-17T21:17:20Z	nodo_1	29.399999618530273	2022-06-17T21:17:21Z	nodo_1	69
2022-06-17T21:21:07Z	nodo_1	29.399999618530273	2022-06-17T21:21:07Z	nodo_1	69
2022-06-17T21:22:53Z	nodo_1	29.5	2022-06-17T21:22:54Z	nodo_1	69
2022-06-17T21:25:25Z	nodo_1	29.399999618530273	2022-06-17T21:25:25Z	nodo_1	69
2022-06-17T21:27:56Z	nodo_1	29.399999618530273	2022-06-17T21:27:56Z	nodo_1	69
2022-06-17T21:35:39Z	nodo_1	29.299999237060547	2022-06-17T21:35:40Z	nodo_1	70
2022-06-17T21:37:24Z	nodo_1	29.399999618530273	2022-06-17T21:37:24Z	nodo_1	70
2022-06-17T21:40:21Z	nodo_1	29.5	2022-06-17T21:40:21Z	nodo_1	69
2022-06-17T21:42:39Z	nodo_1	29.5	2022-06-17T21:42:39Z	nodo_1	69
2022-06-17T21:45:32Z	nodo_1	29.399999618530273	2022-06-17T21:45:32Z	nodo_1	69
2022-06-17T21:47:22Z	nodo_1	29.399999618530273	2022-06-17T21:47:22Z	nodo_1	69
2022-06-17T21:50:37Z	nodo_1	29.200000762939453	2022-06-17T21:50:37Z	nodo_1	69
2022-06-17T21:53:27Z	nodo_1	29.200000762939453	2022-06-17T21:53:27Z	nodo_1	70
2022-06-17T21:57:31Z	nodo_1	29	2022-06-17T21:57:31Z	nodo_1	70

Ilustración 62: Información recogida Nodo I - indoor con obstáculo

Nodo II

Para el nodo II, fue de la misma forma, se almacenaron los datos que fueron receptados por el Gateway.

TEMPERATURA			HUMEDAD		
<pre>> select * from nd2_temp</pre>			<pre>> select * from nd2_hum</pre>		
name: nd2_temp			name: nd2_hum		
time	device_id	temperature	time	device_id	humidity
-----	-----	-----	-----	-----	-----
2022-06-17T21:00:27Z	nodo_2	29.5	2022-06-17T21:00:27Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:02:47Z	nodo_2	29.5	2022-06-17T21:02:48Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:10:49Z	nodo_2	29.600000381469727	2022-06-17T21:10:50Z	nodo_2	64
2022-06-17T21:13:40Z	nodo_2	29.5	2022-06-17T21:13:41Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:16:31Z	nodo_2	29.5	2022-06-17T21:16:32Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:18:50Z	nodo_2	29.600000381469727	2022-06-17T21:18:50Z	nodo_2	64
2022-06-17T21:21:36Z	nodo_2	29.5	2022-06-17T21:21:36Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:23:31Z	nodo_2	29.399999618530273	2022-06-17T21:23:31Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:25:53Z	nodo_2	29.399999618530273	2022-06-17T21:25:53Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:28:15Z	nodo_2	29.399999618530273	2022-06-17T21:28:15Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:30:31Z	nodo_2	29.5	2022-06-17T21:30:31Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:32:52Z	nodo_2	29.5	2022-06-17T21:32:52Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:35:12Z	nodo_2	29.399999618530273	2022-06-17T21:35:12Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:37:36Z	nodo_2	29.399999618530273	2022-06-17T21:37:36Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:39:50Z	nodo_2	29.5	2022-06-17T21:39:51Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:42:11Z	nodo_2	29.399999618530273	2022-06-17T21:42:11Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:44:32Z	nodo_2	29.399999618530273	2022-06-17T21:44:32Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:46:53Z	nodo_2	29.399999618530273	2022-06-17T21:46:53Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:49:11Z	nodo_2	29.399999618530273	2022-06-17T21:49:12Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:51:40Z	nodo_2	29.399999618530273	2022-06-17T21:49:12Z	nodo_2	67
2022-06-17T21:53:55Z	nodo_2	29.399999618530273	2022-06-17T21:51:41Z	nodo_2	67

Ilustración 63: Información Recogida Nodo II - indoor con obstáculo

Nodo III

En el Nodo III tuvo el mismo proceso, los datos fueron almacenados en la base de datos InfluxDB para su posterior análisis.

TEMPERATURA			HUMEDAD		
<pre>> select * from nd3_temp name: nd3_temp time device_id temperature -----</pre>			<pre>> select * from nd2_hum name: nd2_hum time device_id humidity -----</pre>		
2022-06-17T22:54:50Z	nodo_3	28.700000762939453	2022-06-17T21:00:27Z	nodo_2	67
2022-06-17T22:58:18Z	nodo_3	28.200000762939453	2022-06-17T21:02:48Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:01:29Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:10:50Z	nodo_2	64
2022-06-17T23:04:09Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:13:41Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:06:51Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:16:32Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:09:31Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:18:50Z	nodo_2	64
2022-06-17T23:12:11Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:21:36Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:16:23Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:23:31Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:19:10Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:25:53Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:21:43Z	nodo_3	27.899999618530273	2022-06-17T21:28:15Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:26:29Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:30:31Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:31:28Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:32:52Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:37:30Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:35:12Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:40:09Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:37:36Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:42:50Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:39:51Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:46:32Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:42:11Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:49:11Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:44:32Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:54:31Z	nodo_3	28	2022-06-17T21:46:53Z	nodo_2	67
2022-06-17T23:57:39Z	nodo_3	27.899999618530273	2022-06-17T21:49:12Z	nodo_2	67
2022-06-18T00:02:46Z	nodo_3	27.799999237060547	2022-06-17T21:51:41Z	nodo_2	67
2022-06-18T00:05:03Z	nodo_3	27.899999618530273			

Ilustración 64: Información Recogida Nodo III - indoor con obstáculo

Resultados de la prueba de indoors con obstáculos

Podemos observar que también se pierden muchos paquetes debido a los obstáculos ya que se está utilizando las antenas integradas de los dispositivos.

```
# Resultados Nodo_1
# Humedad y Temperatura
Tiempo por dato Nodo_1 = 120 sg(2 minutos)
Paquetes enviados = 30
Paquetes perdidos = 18
Porcentaje de perdida de paquetes = 60%
# Resultados Nodo_2
# Humedad y Temperatura
Tiempo por dato Nodo_2 = 140sg (2 minutos y 20 segundos)
Paquetes enviados = 30
Paquetes perdidos = 10
Porcentaje de perdida de paquetes = 33,33%
# Resultados Nodo_3
# Humedad y Temperatura
Tiempo por dato Nodo_3 = 160sg (2 minutos y 40 segundos)
Paquetes enviados = 30
Paquetes perdidos = 12
Porcentaje de perdida de paquetes = 40%
```

Ilustración 65: Resultado prueba indoor con obstáculos

Escenario 4.3 – campo abierto con distancia media

La ejecución de la prueba se desarrolló dentro de la ciudad de Machala en el parque Zoila Ugarte, esto con el fin de conocer si los dispositivos son capaces de tomar datos ambientales a una distancia más larga en comparación con las dos pruebas hechas anteriormente.

Una vez que se distribuyó cada nodo hacia su ubicación dentro del parque, estos fueron receptados hacia el Gateway y almacenados hacia la base de datos, donde se puede ver tanto el tiempo como

la temperatura y humedad. Una vez almacenados los datos se procedió con el análisis de los resultados.

```
> select * from nd1_temp
name: nd1_temp
time                device_id temperature
-----
164424343000000000 nodo_1      27.899999618530273
164424355500000000 nodo_1      27.899999618530273
164458971100000000 nodo_1      29.5
164458982200000000 nodo_1      29.5
164458994300000000 nodo_1      29.5
> select * from nd1_hum
name: nd1_hum
time                device_id humidity
-----
164424343300000000 nodo_1      82
164424355700000000 nodo_1      82
164458971100000000 nodo_1      76
164458982300000000 nodo_1      76
164458994300000000 nodo_1      76
```

Ilustración 66: Información recogida de los Nodos

Resultados de la prueba de campo abierto con distancia media

Se puede observar que en los resultados de esta prueba se tuvo una pérdida de paquetes mínima, esto es causado por el hecho de que al ser LoRaWAN una red especializada a distancias largas este no tuvo inconvenientes en recibir los datos, además que al no haber obstáculos de por medio la mayoría de la información ambiental llegaba de forma correcta y sin inconveniente.

```
# Resultados Nodo_1
# Humedad y Temperatura
Tiempo por dato Nodo_1 = 120 sg(2 minutos)
Paquetes enviados = 30
Paquetes perdidos = 05
Porcentaje de pérdida de paquetes = 16,66%
# Resultados Nodo_2
# Humedad y Temperatura
Tiempo por dato Nodo_2 = 140sg (2 minutos y 20 segundos)
Paquetes enviados = 30
Paquetes perdidos = 03
Porcentaje de pérdida de paquetes = 10%
# Resultados Nodo_3
# Humedad y Temperatura
Tiempo por dato Nodo_3 = 160sg (2 minutos y 40 segundos)
Paquetes enviados = 30
Paquetes perdidos = 04
Porcentaje de pérdida de paquetes = 13,33%
```

Ilustración 67: Resultados prueba de campo abierto con distancia media

Escenario 4.4 – distancia final Arenillas - Machala

Para la prueba final se implementaron antenas destinadas a un rango más amplio. Se colocaron nodos en la finca Happy Fruit encargados de recolectar los datos ambientales. Un nodo repetidor

fue necesario para obtener la línea vista hacia la ciudad de Machala. Y en Machala se colocó el Gateway encargado de la recepción de los datos.

Nodo I

Mediante la consulta en la base de datos thdata, se pudo ver los datos de temperatura y humedad del Nodo I.

TEMPERATURA			HUMEDAD		
<pre>name: nd1_temp time device_id temperature -----</pre>			<pre>> select * from nd1_hum name: nd1_hum time device_id humidity -----</pre>		
2022-07-02T19:25:11Z	nodo_1	24.299999237060547	2022-07-02T19:25:11Z	nodo_1	85
2022-07-02T19:27:44Z	nodo_1	24.799999237060547	2022-07-02T19:27:45Z	nodo_1	82
2022-07-02T19:30:44Z	nodo_1	24.700000762939453	2022-07-02T19:30:45Z	nodo_1	82
2022-07-02T19:35:16Z	nodo_1	24.799999237060547	2022-07-02T19:35:16Z	nodo_1	81
2022-07-02T19:39:39Z	nodo_1	24.700000762939453	2022-07-02T19:39:39Z	nodo_1	82
2022-07-02T19:51:23Z	nodo_1	25	2022-07-02T19:51:23Z	nodo_1	88
2022-07-02T19:53:48Z	nodo_1	24.799999237060547	2022-07-02T19:53:48Z	nodo_1	84
2022-07-09T13:43:30Z	nodo_1	25.299999237060547	2022-07-09T13:43:30Z	nodo_1	81
2022-07-09T13:45:31Z	nodo_1	25.399999618530273	2022-07-09T13:45:31Z	nodo_1	81
2022-07-09T13:47:31Z	nodo_1	25.399999618530273	2022-07-09T13:47:31Z	nodo_1	81
2022-07-09T19:00:04Z	nodo_1	27.399999618530273	2022-07-09T19:00:04Z	nodo_1	76
2022-07-09T19:02:34Z	nodo_1	27.100000381469727	2022-07-09T19:02:35Z	nodo_1	76
2022-07-09T19:04:35Z	nodo_1	27.100000381469727	2022-07-09T19:04:35Z	nodo_1	76
2022-07-09T19:06:35Z	nodo_1	27	2022-07-09T19:06:35Z	nodo_1	76
2022-07-09T19:08:34Z	nodo_1	27.100000381469727	2022-07-09T19:08:34Z	nodo_1	76

Ilustración 68: Información Recogida Nodo I - Distancia final

Nodo II

De la misma forma se ejecutaron las consultas para el nodo II.

TEMPERATURA			HUMEDAD		
<pre>> select * from nd2_temp name: nd2_temp time device_id temperature -----</pre>			<pre>> select * from nd2_hum name: nd2_hum time device_id humidity -----</pre>		
2022-07-02T19:23:59Z	nodo_2	25	2022-07-02T19:23:59Z	nodo_2	86
2022-07-02T19:26:12Z	nodo_2	25.200000762939453	2022-07-02T19:26:12Z	nodo_2	86
2022-07-02T19:29:03Z	nodo_2	26	2022-07-02T19:29:03Z	nodo_2	84
2022-07-02T19:32:00Z	nodo_2	26.200000762939453	2022-07-02T19:32:00Z	nodo_2	82
2022-07-02T19:34:20Z	nodo_2	26.600000381469727	2022-07-02T19:34:21Z	nodo_2	81
2022-07-02T19:37:09Z	nodo_2	26.600000381469727	2022-07-02T19:37:09Z	nodo_2	81
2022-07-02T19:39:31Z	nodo_2	26.700000762939453	2022-07-02T19:39:31Z	nodo_2	81
2022-07-02T19:41:43Z	nodo_2	26.399999618530273	2022-07-02T19:41:43Z	nodo_2	81
2022-07-02T19:44:11Z	nodo_2	26.399999618530273	2022-07-02T19:44:11Z	nodo_2	82
2022-07-02T19:47:26Z	nodo_2	26	2022-07-02T19:47:26Z	nodo_2	81
2022-07-02T19:50:49Z	nodo_2	26	2022-07-02T19:50:49Z	nodo_2	82
2022-07-02T19:53:17Z	nodo_2	26	2022-07-02T19:53:18Z	nodo_2	82
2022-07-02T19:55:28Z	nodo_2	25.200000762939453	2022-07-02T19:55:28Z	nodo_2	84
2022-07-02T19:57:49Z	nodo_2	25.700000762939453	2022-07-02T19:57:49Z	nodo_2	84

Ilustración 69: Información Recogida Nodo II - Distancia Final

Resultados de la prueba distancia final Arenillas - Machala

```
# Resultados Nodo_1
# Humedad y Temperatura
Tiempo por dato Nodo_1 = 120 sg(2 minutos)
Paquetes enviados = 30
Paquetes perdidos = 04
Porcentaje de perdida de paquetes = 13,33%
# Resultados Nodo_2
# Humedad y Temperatura
Tiempo por dato Nodo_2 = 140sg (2 minutos y 20 segundos)
Paquetes enviados = 30
Paquetes perdidos = 03
Porcentaje de perdida de paquetes = 10%
```

Ilustración 70: Resultado prueba distancia Final Arenillas - Machala

En la prueba de perdida de paquetes de la distancia final de los nodos 1 y 2 hacia el repetidor y los datos que llegan al Gateway se puede observar una pérdida de paquetes insignificante. Gracias a las antenas de larga distancia se ha logrado obtener la comunicación a través de una distancia máxima de 32.5km.

Escenario 5 – Latencia

Para la ejecución de la prueba de latencia, se decidió por ejecutar tres pruebas, es decir, tomar el tiempo de un nodo con un Gateway, otra tomando 2 nodos y la final con un nodo, pero con la diferencia de que su distancia es mayor a comparación de las 2 pruebas anteriores. Cabe mencionar que los tiempos recogidos son de formato timestamp, y se necesitó de un conversor para cambiarlo a formato de horas, minutos y segundos para así tener un mejor calculo. Dicho calculó se lo realizó de la siguiente manera:

- Se restaron los tiempos de los nodos con el Gateway y su resultado es la latencia de un mensaje enviado.
- Se calculó el promedio de cada prueba a partir de la suma de las latencias de cada mensaje sobre el total de mensajes enviados.

Prueba 5.1

En el caso de la primera Prueba, gracias a la aplicación en Android que proporciona Meshtastic fue posible tomar el tiempo del Nodo I, para el caso del Gateway se utilizó al script hecho en Python para medir el tiempo, esta fue realizada dentro de la casa, por lo que sus distancias son pequeñas.

Mensaje	Nodo I	Gateway	Resultados												
MeshOne	<pre>packet from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshOne" } id: 2166730861 rx_time: 1659910780 rx_snr: 10.25 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet { from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshOne" } id: 2166730861 rx_time: 1659910758 hop_limit: 3 } channel_id: "HFChanne12" gateway_id: "!bdf0b48c"</pre>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mensaje</th> <th>MeshOne</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659910780</td> <td>22:19:40</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659910758</td> <td>22:19:18</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>22</td> <td>00:00:22</td> </tr> </tbody> </table>	Mensaje	MeshOne		Tiempo Nodo 1	1659910780	22:19:40	Tiempo Gateway	1659910758	22:19:18	Latencia(segundos)	22	00:00:22
Mensaje	MeshOne														
Tiempo Nodo 1	1659910780	22:19:40													
Tiempo Gateway	1659910758	22:19:18													
Latencia(segundos)	22	00:00:22													

<p>MeshTwo</p>	<pre>packet 7/8/2022 5:34:45 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshTwo" } id: 3749691800 rx_time: 1659911684 rx_snr: 11.5 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet { from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshTwo" } id: 1332347397 rx_time: 1659911700 hop_limit: 3 } channel_id: "HFChannel2" gateway_id: "!bdf0b48c"</pre>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659911714</td> <td>22:35:14</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659911700</td> <td>22:35:00</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>14</td> <td>00:00:14</td> </tr> </tbody> </table>	Tiempo Nodo 1	1659911714	22:35:14	Tiempo Gateway	1659911700	22:35:00	Latencia(segundos)	14	00:00:14
Tiempo Nodo 1	1659911714	22:35:14										
Tiempo Gateway	1659911700	22:35:00										
Latencia(segundos)	14	00:00:14										
<p>MeshThree</p>	<pre>packet 7/8/2022 5:42:30 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshThree" } id: 4076760161 rx_time: 1659912149 rx_snr: 9.75 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet { from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshThree" } id: 4076760161 rx_time: 1659912127 hop_limit: 3 } channel_id: "HFChannel2" gateway_id: "!bdf0b48c"</pre>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659912135</td> <td>22:42:15</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659912127</td> <td>22:42:07</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>8</td> <td>00:00:08</td> </tr> </tbody> </table>	Tiempo Nodo 1	1659912135	22:42:15	Tiempo Gateway	1659912127	22:42:07	Latencia(segundos)	8	00:00:08
Tiempo Nodo 1	1659912135	22:42:15										
Tiempo Gateway	1659912127	22:42:07										
Latencia(segundos)	8	00:00:08										
<p>MeshFour</p>	<pre>packet 7/8/2022 5:48:26 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshFour" } id: 3555425465 rx_time: 1659912504 rx_snr: 9.0 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet { from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshFour" } id: 3555425465 rx_time: 1659912490 hop_limit: 3 } channel_id: "HFChannel2" gateway_id: "!bdf0b48c"</pre>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659912504</td> <td>22:48:24</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659912490</td> <td>22:48:10</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>14</td> <td>00:00:14</td> </tr> </tbody> </table>	Tiempo Nodo 1	1659912504	22:48:24	Tiempo Gateway	1659912490	22:48:10	Latencia(segundos)	14	00:00:14
Tiempo Nodo 1	1659912504	22:48:24										
Tiempo Gateway	1659912490	22:48:10										
Latencia(segundos)	14	00:00:14										

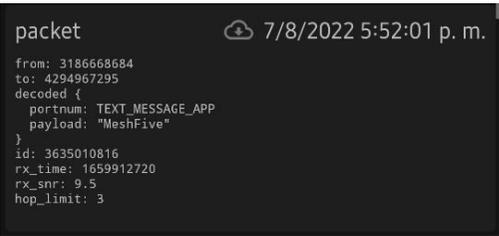
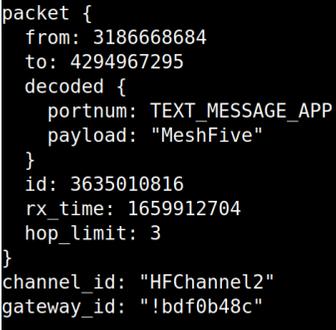
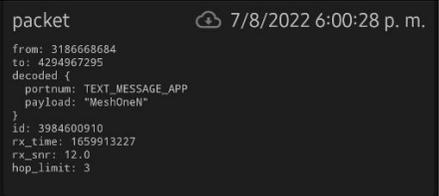
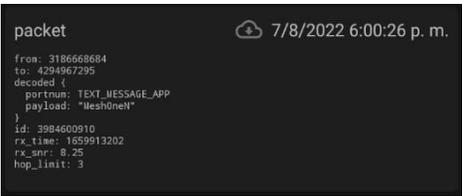
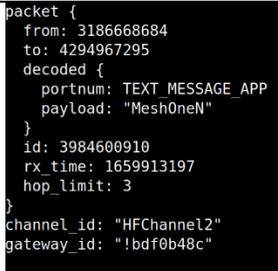
MeshFive			<table border="1"> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659912720</td> <td>22:52:00</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659912704</td> <td>22:51:44</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>16</td> <td>00:00:16</td> </tr> </table>		Tiempo Nodo 1	1659912720	22:52:00	Tiempo Gateway	1659912704	22:51:44	Latencia(segundos)	16	00:00:16
	Tiempo Nodo 1	1659912720	22:52:00										
Tiempo Gateway	1659912704	22:51:44											
Latencia(segundos)	16	00:00:16											
Promedio			14.8s										

Tabla 14: Prueba Latencia - Nodo I y Gateway

Prueba 5.2

En el caso de la segunda prueba, esta se le agrego un segundo nodo, esto con el fin de que si los tiempos en comparación a la primera prueba registren algún cambio notorio, este tuvo una distancia de 2.5km entre los nodos I, II y Gateway.

Mensaje	Nodo I	Nodo II	Gateway	Resultados												
MeshOneN				<table border="1"> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659913227</td> <td>23:00:27</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Nodo 2</td> <td>1659913202</td> <td>23:00:02</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659913197</td> <td>22:59:57</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>30</td> <td>0:00:30</td> </tr> </table>	Tiempo Nodo 1	1659913227	23:00:27	Tiempo Nodo 2	1659913202	23:00:02	Tiempo Gateway	1659913197	22:59:57	Latencia(segundos)	30	0:00:30
Tiempo Nodo 1	1659913227	23:00:27														
Tiempo Nodo 2	1659913202	23:00:02														
Tiempo Gateway	1659913197	22:59:57														
Latencia(segundos)	30	0:00:30														

<p>MeshTwoN</p>	<pre>packet 7/8/2022 6:03:23 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshTwoN" } id: 2738588006 rx_time: 1659913402 rx_snr: 13.0 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet 7/8/2022 6:03:18 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshTwoN" } id: 2738588006 rx_time: 1659913377 rx_snr: 10.5 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet { from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshTwoN" } id: 2738588006 rx_time: 1659913390 hop_limit: 3 } channel_id: "HFChannel2" gateway_id: "!bdf0b48c"</pre>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659913402</td> <td>23:03:22</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Nodo 2</td> <td>1659913377</td> <td>23:02:57</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659913390</td> <td>23:03:10</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>12</td> <td>0:00:12</td> </tr> </tbody> </table>	Tiempo Nodo 1	1659913402	23:03:22	Tiempo Nodo 2	1659913377	23:02:57	Tiempo Gateway	1659913390	23:03:10	Latencia(segundos)	12	0:00:12
Tiempo Nodo 1	1659913402	23:03:22														
Tiempo Nodo 2	1659913377	23:02:57														
Tiempo Gateway	1659913390	23:03:10														
Latencia(segundos)	12	0:00:12														
<p>MeshThreeN</p>	<pre>packet 7/8/2022 6:07:39 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshThreeN" } id: 1777415469 rx_time: 1659913657 rx_snr: 10.0 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet 7/8/2022 6:09:05 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshThreeN" } id: 1777415469 rx_time: 1659913724 rx_snr: 10.5 hop_limit: 2</pre>	<pre>packet { from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshThreeN" } id: 1777415469 rx_time: 1659913645 hop_limit: 3 } channel_id: "HFChannel2" gateway_id: "!bdf0b48c"</pre>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659913657</td> <td>23:07:37</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Nodo 2</td> <td>1659913724</td> <td>23:08:44</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659913645</td> <td>23:07:25</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>12</td> <td>0:00:12</td> </tr> </tbody> </table>	Tiempo Nodo 1	1659913657	23:07:37	Tiempo Nodo 2	1659913724	23:08:44	Tiempo Gateway	1659913645	23:07:25	Latencia(segundos)	12	0:00:12
Tiempo Nodo 1	1659913657	23:07:37														
Tiempo Nodo 2	1659913724	23:08:44														
Tiempo Gateway	1659913645	23:07:25														
Latencia(segundos)	12	0:00:12														
<p>MeshFourN</p>	<pre>packet 7/8/2022 6:11:53 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshFourN" } id: 336227933 rx_time: 1659913912 rx_snr: 12.75 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet 7/8/2022 6:11:48 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshFourN" } id: 336227933 rx_time: 1659913887 rx_snr: 9.25 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet { from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshFourN" } id: 336227933 rx_time: 1659913896 hop_limit: 3 } channel_id: "HFChannel2" gateway_id: "!bdf0b48c"</pre>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659913912</td> <td>23:11:52</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Nodo 2</td> <td>1659913887</td> <td>23:11:27</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659913896</td> <td>23:11:36</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>16</td> <td>0:00:16</td> </tr> </tbody> </table>	Tiempo Nodo 1	1659913912	23:11:52	Tiempo Nodo 2	1659913887	23:11:27	Tiempo Gateway	1659913896	23:11:36	Latencia(segundos)	16	0:00:16
Tiempo Nodo 1	1659913912	23:11:52														
Tiempo Nodo 2	1659913887	23:11:27														
Tiempo Gateway	1659913896	23:11:36														
Latencia(segundos)	16	0:00:16														
<p>MeshFiveN</p>	<pre>packet 7/8/2022 6:31:58 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshFiveN" } id: 3210396004 rx_time: 1659915116 rx_snr: 9.75 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet 7/8/2022 6:31:53 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshFiveN" } id: 3210396004 rx_time: 1659915091 rx_snr: 9.5 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet { from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshFiveN" } id: 3210396004 rx_time: 1659915083 hop_limit: 3 } channel_id: "HFChannel2" gateway_id: "!bdf0b48c"</pre>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659915100</td> <td>23:31:40</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Nodo 2</td> <td>1659915091</td> <td>23:31:31</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659915083</td> <td>23:31:23</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>17</td> <td>0:00:17</td> </tr> </tbody> </table>	Tiempo Nodo 1	1659915100	23:31:40	Tiempo Nodo 2	1659915091	23:31:31	Tiempo Gateway	1659915083	23:31:23	Latencia(segundos)	17	0:00:17
Tiempo Nodo 1	1659915100	23:31:40														
Tiempo Nodo 2	1659915091	23:31:31														
Tiempo Gateway	1659915083	23:31:23														
Latencia(segundos)	17	0:00:17														
Promedio				17.4s												

Tabla 15: Prueba Latencia - Nodo I, II y Gateway

Prueba 5.3

En la última prueba, se tuvo en cuenta la distancia que se encuentra ubicado el nodo I, ya que este se encontraba a una distancia lejana y distante del Gateway, esto con el fin de comprobar si su tiempo es menor o mayor a distancias mayores, esta prueba tuvo una distancia de 33.5km entre el Nodo I y el Gateway.

Mensaje	Nodo I	Gateway	Resultados									
MeshOneLar	<pre>packet 8/8/2022 5:47:09 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshOneLar" } id: 485094646 rx_time: 1659998817 rx_snr: 9.25 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet { from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshOneLar" } id: 485094646 rx_time: 1659998808 hop_limit: 3 } channel_id: "HFChannel2" gateway_id: "!bdf0b48c"</pre>	<table border="1"> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659998817</td> <td>22:46:57</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659998808</td> <td>22:46:48</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>9</td> <td>00:00:09</td> </tr> </table>	Tiempo Nodo 1	1659998817	22:46:57	Tiempo Gateway	1659998808	22:46:48	Latencia(segundos)	9	00:00:09
Tiempo Nodo 1	1659998817	22:46:57										
Tiempo Gateway	1659998808	22:46:48										
Latencia(segundos)	9	00:00:09										
MeshTwoLar	<pre>packet 8/8/2022 5:52:22 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshTwoLar" } id: 2995248174 rx_time: 1659999130 rx_snr: 10.5 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet { from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshTwoLar" } id: 2995248174 rx_time: 1659999122 hop_limit: 3 } channel_id: "HFChannel2" gateway_id: "!bdf0b48c"</pre>	<table border="1"> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659999130</td> <td>22:52:10</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659999122</td> <td>22:52:02</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>8</td> <td>00:00:08</td> </tr> </table>	Tiempo Nodo 1	1659999130	22:52:10	Tiempo Gateway	1659999122	22:52:02	Latencia(segundos)	8	00:00:08
Tiempo Nodo 1	1659999130	22:52:10										
Tiempo Gateway	1659999122	22:52:02										
Latencia(segundos)	8	00:00:08										

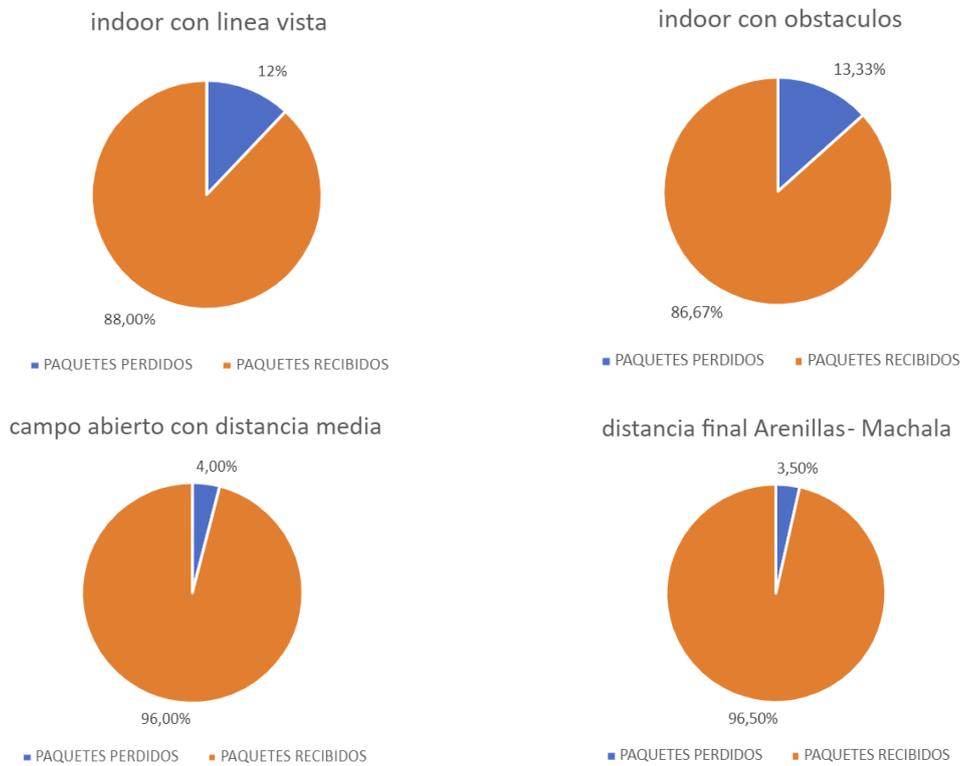
<p>MeshThreeLar</p>	<pre>packet 8/8/2022 5:55:33 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshThreeLar" } id: 208514064 rx_time: 1659999321 rx_snr: 10.0 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet { from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshThreeLar" } id: 208514064 rx_time: 1659999303 hop_limit: 3 } channel_id: "HFChannel2" gateway_id: "!bdf0b48c"</pre>	<table border="1"> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659999321</td> <td>22:55:21</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659999303</td> <td>22:55:03</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>18</td> <td>00:00:18</td> </tr> </table>	Tiempo Nodo 1	1659999321	22:55:21	Tiempo Gateway	1659999303	22:55:03	Latencia(segundos)	18	00:00:18
Tiempo Nodo 1	1659999321	22:55:21										
Tiempo Gateway	1659999303	22:55:03										
Latencia(segundos)	18	00:00:18										
<p>MeshFourLar</p>	<pre>packet 8/8/2022 5:58:24 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshFourLar" } id: 3082413652 rx_time: 1659999492 rx_snr: 12.5 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet { from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshFourLar" } id: 3082413652 rx_time: 1659999490 hop_limit: 3 } channel_id: "HFChannel2" gateway_id: "!bdf0b48c"</pre>	<table border="1"> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659999492</td> <td>22:58:12</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659999490</td> <td>22:58:10</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>2</td> <td>00:00:02</td> </tr> </table>	Tiempo Nodo 1	1659999492	22:58:12	Tiempo Gateway	1659999490	22:58:10	Latencia(segundos)	2	00:00:02
Tiempo Nodo 1	1659999492	22:58:12										
Tiempo Gateway	1659999490	22:58:10										
Latencia(segundos)	2	00:00:02										
<p>MeshFiveLar</p>	<pre>packet 8/8/2022 6:01:37 p. m. from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshFiveLar" } id: 454763610 rx_time: 1659999685 rx_snr: 13.25 hop_limit: 3</pre>	<pre>packet { from: 3186668684 to: 4294967295 decoded { portnum: TEXT_MESSAGE_APP payload: "MeshFiveLar" } id: 454763610 rx_time: 1659999679 hop_limit: 3 } channel_id: "HFChannel2" gateway_id: "!bdf0b48c"</pre>	<table border="1"> <tr> <td>Tiempo Nodo 1</td> <td>1659999685</td> <td>23:01:25</td> </tr> <tr> <td>Tiempo Gateway</td> <td>1659999679</td> <td>23:01:19</td> </tr> <tr> <td>Latencia(segundos)</td> <td>6</td> <td>00:00:06</td> </tr> </table>	Tiempo Nodo 1	1659999685	23:01:25	Tiempo Gateway	1659999679	23:01:19	Latencia(segundos)	6	00:00:06
Tiempo Nodo 1	1659999685	23:01:25										
Tiempo Gateway	1659999679	23:01:19										
Latencia(segundos)	6	00:00:06										
<p align="center">Promedio</p>			<p align="center">8,6s</p>									

Tabla 16: Prueba Latencia larga distancia - Nodo I y Gateway

Análisis de los Resultados del plan de evaluación

Perdida de Paquetes

Resultados



Escenario 5 - Perdida de Paquetes

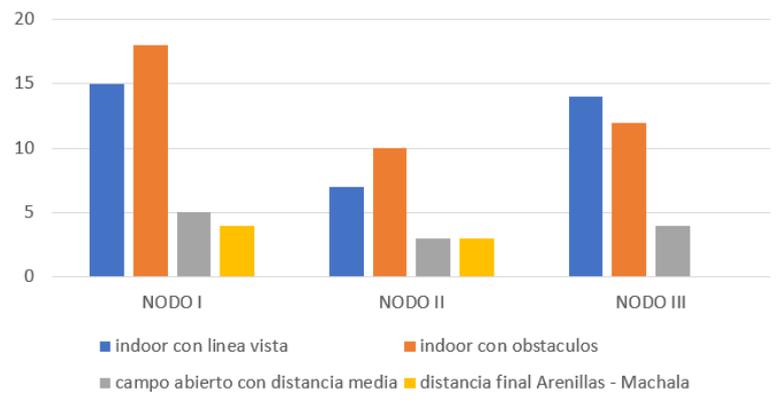


Ilustración 71: Análisis de los Resultados de la Perdida de Paquetes

Análisis

Este escenario permitió ver que dependiendo de varios factores como lo es la distancia y los obstáculos varia la recepción de los datos hacia el Gateway, además se puede observar que la pruebas donde se perdió una cantidad considerable de paquetes fueron en la indoor con línea vista y con obstáculos, esto es debido a que como se utilizó LoRaWAN, la red tiende a tener mejores resultados a una distancia más amplia y sin obstáculos.

Comparación con otros trabajos

En el artículo realizado por Diego et al[32], se analiza como a partir de una prueba de perdida de paquetes se puede evaluar la calidad de transmisión de redes LoRaWAN para ser utilizadas en un sembrío, para ejecutar esto se requirió el uso de dos dispositivos TTGO-TBEAM y se determinó los paquetes perdidos en este artículos fueron más en comparación con las pruebas realizadas a partir del uso del firmware Meshtastic.

Sensor	Land	Mean SNR	Mean RSSI	Sent packets	Lost packets	Packet Loss %.
RAK7200	1	6.1	-106.6	118	29	24%
TTGO-T-Beam	1	9.1	-97.8	224	45	20%
TTGO-T-Beam	2	5.7	-110.3	1429	15	1%

Ilustración 72: Análisis Perdida de Paquetes - Comparación con otros trabajos

Latencia

Resultados

Escenario 5 - Latencia

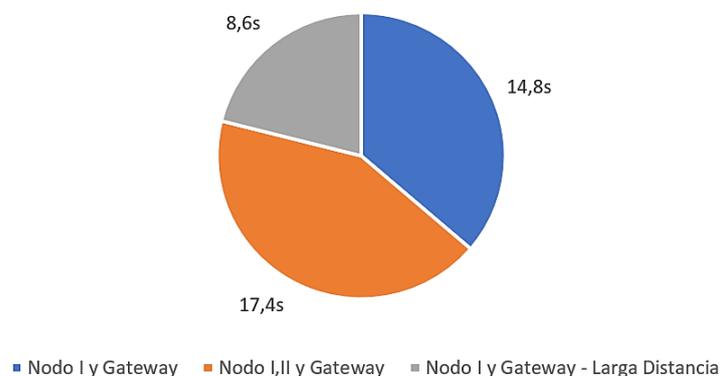


Ilustración 73: Análisis de los resultados de la Latencia

Análisis

En este escenario se determinó que la información tarda más en ser recibida hacia el Gateway cuando este tiene más nodos, esto es debido a los datos son retransmitidos de un nodo a otro y a distancias más largas la recepción de los datos se hace rápido, esto es apoyado gracias a la tecnología LoRaWAN que permite el envío de datos a distancias largas.

Comparación con otros trabajos

A partir de la investigación realizada por Queté et al[33], explica a partir de una simulación la evaluación del rendimiento de una red LoRaWAN, tomando en cuenta el retraso o la latencia que existía cuando se tomaban medidas de 10,100,1000,5000 y 10000 sensores, dando como análisis que a mayor cantidad de sensores y la distancia repartida entre estos, el tiempo en ser transmitidos hacia todos estos va a ser mayor.

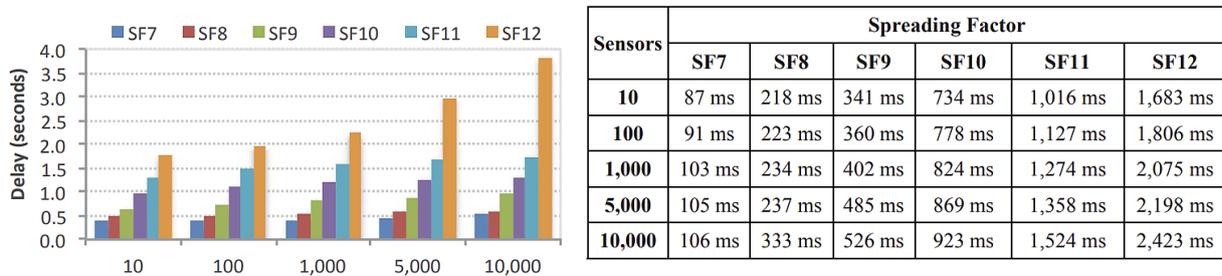


Ilustración 74: Análisis Latencia - Comparación con otros trabajos

4. CONCLUSIONES

- En conclusión, se logró Implementar una red de comunicación IoT gracias al uso de LoRaWAN y el proyecto Meshtastic, esta red permitió el envío de información entre una distancia máxima de 33.5 km con poco consumo de energía y de forma segura.
- Se realizó una búsqueda bibliográfica para la evaluación del estado del arte y el marco teórico de este proyecto, lo cual nos permitió informarnos acerca del uso de estas tecnologías en proyectos actuales.
- La instalación y configuración del firmware para los dispositivos IoT se realizó satisfactoriamente gracias al firmware proporcionado de la plataforma Meshtastic, esto nos permitió conseguir la estructura de la red deseada anteriormente diseñada y se acopló perfectamente a la metodología IoTM usada en el presente proyecto.
- Fue necesario el uso de las antenas externas a las proporcionadas por defecto en los dispositivos IoT utilizados, esto para lograr la mayor distancia posible para la transmisión de los datos desde la finca Happy Fruit en la ciudad Arenillas hasta la ciudad de Machala.

- El dashboard para el monitoreo y control de datos ambientales recolectados en la Finca fue implementado correctamente para su uso. Desde este es posible visualizar el estado del ambiente en el que se encuentran los cultivos, esto permite realizar un seguimiento de la temperatura y humedad del ambiente, además de facilitar el análisis correspondiente para tomar decisiones que mejoren el estado de los cultivos.
- Finalmente, se realizaron las pruebas correspondientes a la red para evaluar su correcto funcionamiento y posibles mejoras en su configuración. Se pudo observar que en la prueba de pérdida de paquetes indoor con línea vista, existía una pérdida de paquetes mayor en comparación a las otras pruebas, a pesar de que los dispositivos estaban lo más cerca posible. Esto es debido a que la red LoRaWAN está diseñada para ser usada en grandes distancias y no en distancias muy cortas como en esta prueba. Se obtuvieron resultados satisfactorios en todas las pruebas y cumpliendo con los objetivos planteados al inicio del presente Trabajo de Integración Curricular.

5. RECOMENDACIONES

- ✓ Para implementar este tipo de red LoRaWAN se recomienda analizar cada uno de los dispositivos, sensores y demás herramientas que se vayan a usar para que esta no tenga ningún inconveniente al momento de implementarlo en proyecto de este tipo.
- ✓ Para la búsqueda bibliográfica es recomendable enfocarse en las publicaciones más recientes, debido a que estas tecnologías están en pleno desarrollo y pueden existir cambios significativos en pocos años.
- ✓ Al hacer uso de proyectos en desarrollo como Meshtastic, es recomendable informarse de cuál es la versión del firmware más estable para evitar posibles fallos en el transcurso de la configuración de los dispositivos IoT.
- ✓ Se recomienda realizar un análisis y diseño con respecto a las antenas que amplificaran el rango de comunicación entre los dispositivos de la red LoRaWAN para obtener los mejores resultados posibles.
- ✓ Es recomendable que al momento de crear el dashboard de monitoreo para el usuario, este sea conciso y eficaz en la forma de mostrar los datos para que facilite el análisis de los mismos.
- ✓ Actualmente hay varias tecnologías de comunicación, en nuestro proyecto se utilizó LoRaWAN debido a que es la tecnología que más se ajustaba a los requerimientos. Se

recomienda realizar una investigación amplia acerca de otras tecnologías y sus aplicaciones en otros trabajos para descubrir beneficios que otras tecnologías no proporcionan.

- ✓ Ante cualquier duda o desconocimiento del firmware o dispositivos IoT se recomienda contactar a los desarrolladores o la comunidad de la plataforma, en este caso Meshtastic. Ya que cuentan con foros y redes sociales dispuestas a ayudar a nuevos participantes.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Haxhibeqiri, E. De Poorter, I. Moerman, and J. Hoebeke, "A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application," *Sensors*, vol. 18, no. 11, p. 3995, Nov. 2018, doi: 10.3390/s18113995.
- [2] X. Jiang et al., "Hybrid Low-Power Wide-Area Mesh Network for IoT Applications," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 901-915, 15 Jan. 2021, doi: 10.1109/JIOT.2020.3009228.
- [3] A. Yousuf, E. Rochester, B. Ousat, M. Ghaderi "Throughput, Coverage and Scalability of LoRa LPWAN for Internet of Things," *IEEE*, Jan. 2019, doi: 10.1109/IWQoS.2018.8624157
- [4] N. Ahmed, D. De, "Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas" *Journal & Magazines. IEEE*, vol. 5, pp 4890-4899, Nov. 2018, doi: 10.1109/JIOT.2018.2879579
- [5] M. Donno, K. Tange, N. Dragoni, "Foundations and Evolution of Modern Computing Paradigms: Cloud, IoT, Edge and Fog" *Journal & Magazines. IEEE*, vol. 7, Oct. 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2947652
- [6] Z. Zou, Y. Jin, P. Nevalainen, Y. Huan, J. Heikkonen and T. Westerlund, "Edge and Fog Computing Enabled AI for IoT-An Overview," 2019 *IEEE International Conference on Artificial Intelligence Circuits and Systems (AICAS)*, 2019, pp. 51-56, doi: 10.1109/AICAS.2019.8771621.
- [7] A. V. Dastjerdi and R. Buyya, "Fog Computing: Helping the Internet of Things Realize Its Potential," in *Computer*, vol. 49, no. 8, pp. 112-116, Aug. 2016, doi: 10.1109/MC.2016.245.
- [8] C. Stergiou, K. Psannis, B. Kim, B. Gupta, "Secure integration of IoT and Cloud Computing" *Future Generation Computer Systems. Science Direct*, vol. 78, pp 964-975, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.future.2016.11.031
- [9] P. Sethi, S. Sarangi, "Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications" *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2017, Article ID 9324035, 25 pages, 2017, doi: 10.1155/2017/9324035

- [10] H. Lee and K. Ke, "Monitoring of Large-Area IoT Sensors Using a LoRa Wireless Mesh Network System: Design and Evaluation," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 67, no. 9, pp. 2177-2187, Sept. 2018, doi: 10.1109/TIM.2018.2814082.
- [11] H. Huh and J. Y. Kim, "LoRa-based Mesh Network for IoT Applications," 2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 2019, pp. 524-527, doi: 10.1109/WF-IoT.2019.8767242.
- [12] C. Ebi, F. Schaltegger, A. Rüst and F. Blumensaat, "Synchronous LoRa Mesh Network to Monitor Processes in Underground Infrastructure," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 57663-57677, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2913985.
- [13] Meshtastic, [En línea]. Available: <https://meshtastic.org/>. [Último acceso: 19 12 2021].
- [14] R. Fresco, G. Ferrari, "Enhancing precision farming agriculture by internet of things and Cyber physical systems," *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Supplemento*, 2018, pág. 53-60, doi: 10.2424/ASTSN.M.2018.8
- [15] Murtaza Cicioğlu, Ali Çalhan, "Smart agriculture with internet of things in cornfields", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 90, 2021, 106982, ISSN 0045-7906, doi: 10.1016/j.compeleceng.2021.106982.
- [16] Michele Luvisotto, Federico Tramarin, Lorenzo Vangelista, Stefano Vitturi, "On the Use of LoRaWAN for Indoor Industrial IoT Applications", *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, Article ID 3982646, 11 pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3982646>
- [17] C. Garrido-Hidalgo et al., "LoRaWAN Scheduling: From Concept to Implementation," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 16, pp. 12919-12933, 15 Aug.15, 2021, doi: 10.1109/JIOT.2021.3064430.
- [18] G. Roque and V. S. Padilla, "LPWAN Based IoT Surveillance System for Outdoor Fire Detection," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 114900-114909, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3003848.
- [19] Bouguera, T.; Diouris, J.-F.; Chaillout, J.-J.; Jaouadi, R.; Andrieux, G. Energy Consumption Model for Sensor Nodes Based on LoRa and LoRaWAN. *Sensors* 2018, 18, 2104. <https://doi.org/10.3390/s18072104>
- [20] Casals, L.; Mir, B.; Vidal, R.; Gomez, C. Modeling the Energy Performance of LoRaWAN. *Sensors* 2017, 17, 2364. <https://doi.org/10.3390/s17102364>
- [21] J. Toussaint, N. El Rachkidy and A. Guitton, "Performance analysis of the on-the-air activation in LoRaWAN," 2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), 2016, pp. 1-7, doi: 10.1109/IEMCON.2016.7746082.

- [22] J. Petäjajarvi, K. Mikhaylov, M. Hämäläinen and J. Iinatti, "Evaluation of LoRa LPWAN technology for remote health and wellbeing monitoring," 2016 10th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT), 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISMICT.2016.7498898.
- [23] P. Neumann, J. Montavont and T. Noël, "Indoor deployment of low-power wide area networks (LPWAN): A LoRaWAN case study," 2016 IEEE 12th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2016, pp. 1-8, doi: 10.1109/WiMOB.2016.7763213.
- [24] Valente, A.; Silva, S.; Duarte, D.; Cabral Pinto, F.; Soares, S. Low-Cost LoRaWAN Node for Agro-Intelligence IoT. *Electronics* 2020, 9, 987. <https://doi.org/10.3390/electronics9060987>
- [25] I.Methodology. [En línea]. Disponible en: <http://www.iotmethodology.com/>. [Último acceso: 21 12 2021].
- [26] H. Fruit. [En Línea]. Disponible en: <https://fincahappyfruit.com/> [Último acceso: 22 12 2021]
- [27] M. Lekić and G. Gardašević, "IoT sensor integration to Node-RED platform," 2018 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/INFOTEH.2018.8345544.
- [28] Grafana [En línea]. Disponible en: <https://grafana.com/grafana/>. [Último acceso: 15 01 2022].
- [29] A. Grunwald, M. Schaarschmidt and C. Westerkamp, "LoRaWAN in a rural context: Use cases and opportunities for agricultural businesses," *Mobile Communication - Technologies and Applications*; 24. ITG-Symposium, 2019, pp. 1-6.
- [30] InfluxDB [En línea]. Disponible en: <https://www.influxdata.com/products/influxdb-overview/>. [Último acceso: 15 01 2022]
- [31] Giacobbe M., Chaouch C., Scarpa M., Puliafito A. (2020) An Implementation of InfluxDB for Monitoring and Analytics in Distributed IoT Environments. In: Bouhleb M., Rovetta S. (eds) *Proceedings of the 8th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT'18)*, Vol.1. SETIT 2018. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 146. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21005-2_15
- [32] D. M. Matilla, Á. L. Murciego, D. M. Jiménez Bravo, A. Sales Mendes and V. R. Quietinho Leithardt, "Low cost center pivot irrigation monitoring systems based on IoT and LoRaWAN technologies," 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), 2020, pp. 262-267, doi: 10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277548.

- [33] B. Queté et al., "Understanding the tradeoffs of LoRaWAN for IoT-based Smart Irrigation," 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), 2020, pp. 73-77, doi: 10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277566.
- [34] Vicuña, J.P.N. & Hernandez, Dixys & Mazon-Olivo, Bertha & Ríos, Jimmy & Villavicencio, Oscar. (2018). Arduino y el Internet de las cosas. 10.17993/IngyTec.2018.45.
- [35] I. Ramírez-Morales, B. Mazon-Olivo, A. Pan, S. B. Unda, D. V. Ortiz, D. H. Rojas, B. Mazon-Olivo, C. Escudero, B. Serrano, C. Loor y E. Tusa, Análisis de Datos Agropecuarios, Machala, El Oro: UTMACH, 2018.
- [36] Mazon-Olivo, B., Hernández-Rojas, D., Maza-Salinas, J., Pan, A., 2018. Rules engine and complex event processor in the context of internet of things for Precision Agriculture. Computers and Electronics in Agriculture 154, pp. 347–360, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.013>.
- [37] J. Berrú-Ayala, D. Hernandez-Rojas, P. Morocho-Díaz, J. Novillo-Vicuña, B. Mazon-Olivo y A. Pan, SCADA System Based on IoT for Intelligent Control of Banana Crop Irrigation, International Conference on Applied Technologies, pp. 243-256, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-42517-3_19

7. ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Problema, objeto y campo	Objetivo	Marco Teórico	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema: Necesidad de una red de comunicación de bajo consumo y de larga distancia para el transporte de información ambiental de los cultivos de manera segura en la Finca Happy Fruit desde Arenillas hasta Machala durante el periodo 2022.</p> <p>Problemas específicos Opcional): o ¿Cómo enviar y recibir datos ambientales de los cultivos de la finca Happy Fruit? o ¿Qué tecnología de conexión inalámbrica es la más indicada para la agricultura de precisión? o ¿Cómo diseñar una red LPWAN?</p> <p>Objeto de estudio: Comunicaciones inalámbricas LPWAN(Low Power Wide Area Network) en la agricultura de precisión aplicada a una finca.</p>	<p>Objetivo General: - Implementar una red de comunicación IoT mediante LoRaWAN y Meshtastic para el envío de información en el contexto de la agricultura de precisión de manera segura con poco consumo de energía.</p> <p>Objetivos Específicos: - Realizar la búsqueda bibliográfica para la elaboración del estado del arte y marco teórico. - Desarrollar firmware para los dispositivos IoT para su control dentro de la red LoRaWAN. - Diseño de antenas de largo alcance para LoRaWAN. - Implementar un dashboard para el monitoreo y control de datos en tiempo real en el</p>	<p>Antecedentes históricos a nivel internacional y nacional del objeto, campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Internet de las Cosas <ul style="list-style-type: none"> ○ Generalidades IoT ○ Paradigmas Computacionales ○ Componentes del Ecosistema <p>Fundamentos Teóricos de objeto, campo y variables:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● LPWAN <ul style="list-style-type: none"> ○ Definiciones, evolución, retos y características ○ LoRaWAN <ul style="list-style-type: none"> ■ Definición, campos de aplicación ■ LoRa Mesh ■ Meshtastic ● Agricultura de Precisión <ul style="list-style-type: none"> ○ Definición, Características, beneficios, casos de uso 	<p>Hipótesis General: - La implementación de una red de bajo consumo y gran alcance en la finca Happy Fruit proporcionará una manera segura y eficiente de recolección de información ambiental de los cultivos</p>	<p>Variable 1 / Independiente: - Redes de comunicación segura mediante LoRaWAN y Meshtastic</p> <p>Dimensiones o categorías: - Redes de baja potencia y área amplia - Open source, off-grid, hiking, climbing, skiing, GPS mesh communicator</p> <p>Variable 2/ Dependiente: - Recolección de información en la finca Happy Fruit</p> <p>Dimensiones o categorías: - Eficiencia - Seguridad</p>	<p>Enfoque: El enfoque de este proyecto fue el cuantitativo, puesto que la investigación se basó en la medición de datos ambientales y cuyos valores fueron numéricos, por ende, los resultados fueron datos tanto numéricos como estadísticos.</p> <p>Alcance: El alcance de la investigación fue descriptivo, debido a que se estudiaron características del fenómeno, es decir la temperatura y la humedad de los cultivos, pasando a medir variables a través de sensores que posteriormente fueron puestos bajo análisis.</p> <p>Diseño: El diseño de la investigación fue cuasi-experimental, ya que el objeto de estudio no se elige de forma aleatoria, sino que este es seleccionado previo al inicio de la investigación, que, en este caso, fue la comunicación inalámbrica LPWAN dentro</p>

<p>Campo de Acción: Comunicación segura en el contexto de la agricultura de precisión aplicada en una finca.</p>	<p>contexto de la agricultura de precisión.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Realizar depuración y pruebas de los dispositivos IoT para su correcto uso dentro del proyecto a desarrollar 			<p>- Rapidez.</p>	<p>del contexto de la agricultura de precisión.</p> <p>Unidades de análisis: Población: La población utilizada en la siguiente investigación fueron los datos que van a arrojar los sensores (temperatura y humedad) de los cultivos dentro de la finca Happy Fruit</p> <p>Muestra: Dentro del trabajo no fue necesaria la obtención de la muestra</p> <p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos: Análisis de documentos o datos Observación</p> <p>Técnicas de procesamiento de datos: Guía de análisis de documentos o de datos Guía de observación y análisis de control</p>
---	--	--	--	-------------------	---