

**Desarrollo de prototipo de un sistema de comunicación para datos de sensores en
cultivos**

Daniel Alfonso Estupiñán Murillo

Asesor

Andrés David Suárez Gómez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería

Ingeniería Electrónica

2024

Resumen

El presente trabajo consiste en crear un prototipo de un sistema de comunicación para el envío de datos de sensores en cultivos de maíz por medio de radiofrecuencia, esto con el fin de validar los parámetros de humedad del suelo, temperatura y humedad relativa. Este prototipo surge frente a la problemática de falta de cobertura o señal celular en las zonas rurales, en especial en la zona rural de San Gil, en la vereda Versalles y a la falta de soluciones de bajo costo que tengan en cuenta las variables de distancia y falta de cobertura de señal celular. El proyecto tendrá un diseño experimental ya que se realizarán experimentos de campo que serán: pruebas de alcance y cobertura, análisis de interferencia, consumo de energía y vida útil de la batería, análisis de latencia y velocidad de transmisión y lectura de sensores y a la par con esto se realizará la búsqueda de toda la documentación necesaria para complementar las pruebas realizadas y realizar el respectivo análisis de la información obtenida. El proyecto tendrá un enfoque metodológico cuantitativo pues las pruebas de campo se documentarán, los datos se obtienen por observación, medición y documentación de mediciones, se utilizan instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables en estudios previos.

Palabras clave: *Falta de cobertura, Radiofrecuencia, Sistemas de comunicación.*

Abstract

The present work consists of creating a prototype of a communication system to send data from sensors in corn crops by means of radio frequency, in order to validate the parameters of soil humidity, temperature and relative humidity. This prototype arises in response to the problem of lack of coverage or cellular signal in rural areas, especially in the rural area of San Gil, in the Versailles village, and the lack of low-cost solutions that take into account the variables of distance and lack of cell signal coverage. The project will have an experimental design since field experiments will be carried out that will be: range and coverage tests, interference analysis, energy consumption and battery life, analysis of latency and transmission speed and sensor reading and at the same time. With this, the search will be carried out for all the necessary documentation to complement the tests carried out and carry out the respective analysis of the information obtained. The project will have a quantitative methodological approach since field tests will be documented, data will be obtained by observation, measurement and documentation of measurements, instruments that have been shown to be valid and reliable in previous studies.

Keywords: *Lack of coverage, Radio frequency, Communication systems.*

Tabla de contenido

Introducción	13
Antecedentes y Motivación.....	14
Planteamiento del Problema	16
Objetivos	19
Objetivo General.....	19
Objetivos Específicos.....	19
Revisión de la Literatura.....	20
Marco Conceptual.....	20
Sistemas de Comunicación en la Agricultura	23
Metodología	27
Medición de Variables	27
Arquitectura del Sistema.....	28
Integración de Sensores	29
Caracterización de Sensores	36
Validación de Lectura de Sensores	37
Transmisión de Datos	42
Procesamiento y Análisis de Datos.....	46
Implementación.....	49
Configuración de Hardware y Software	49
Despliegue de Sensores.....	55
Pruebas	58
Resultados y discusión.....	80

	5
Recogida y Análisis de Datos	80
Programación	98
Evaluación del Rendimiento del Sistema	100
Retos y Limitaciones.....	103
Resumen de Resultados	105
Conclusiones	107
Referencias Bibliográficas	108
Apéndices.....	115
Apéndice A	115
Apéndice B.....	222
Apéndice C.....	225

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Comparación sensores humedad suelo</i>	32
Tabla 2 <i>Comparación sensores humedad y temperatura ambiente</i>	35
Tabla 3 <i>Promedio de lecturas y porcentajes de error para el PCE-HCT110 y DHT11</i>	39
Tabla 4 <i>Comparación módulo RF</i>	45
Tabla 5 <i>Comparación placas de desarrollo</i>	48
Tabla 6 <i>Promedio de intensidad de señal</i>	63
Tabla 7 <i>Promedio de intensidad de señal optimizado</i>	64
Tabla 8 <i>Promedio de calidad de enlace a 16.30 metros</i>	67
Tabla 9 <i>Promedio de calidad de enlace a 40.87 metros</i>	68
Tabla 10 <i>Promedio de calidad de enlace a 61.67 metros</i>	69
Tabla 11 <i>Promedio de calidad de enlace optimizado a 16.30 metros</i>	70
Tabla 12 <i>Promedio de calidad de enlace optimizado a 40.87 metros</i>	71
Tabla 13 <i>Promedio de calidad de enlace optimizado a 61.67 metros</i>	72
Tabla 14 <i>Promedio de tasa de error</i>	73
Tabla 15 <i>Promedio de tasa de error con obstáculos</i>	74
Tabla 16 <i>Consumo promedio por intervalo de tiempo</i>	75
Tabla 17 <i>Latencia y velocidad</i>	76
Tabla 18 <i>Latencia y velocidad optimizados</i>	77
Tabla 19 <i>Condiciones adversas</i>	79
Tabla 20 <i>Resultados intensidad de señal</i>	115
Tabla 21 <i>Resultados intensidad de señal optimizados</i>	118
Tabla 22 <i>Resultados calidad de enlace a 16.30 metros</i>	121

Tabla 23 Resultados calidad de enlace a 40.87 metros	125
Tabla 24 Resultados calidad de enlace a 61,67 metros	129
Tabla 25 Resultados calidad de enlace a 16.30 metros optimizado	133
Tabla 26 Resultados calidad de enlace a 40.87 metros optimizado	137
Tabla 27 Resultados calidad de enlace a 61.67 metros optimizado	141
Tabla 28 Resultados interferencia a 16.30 metros	145
Tabla 29 Resultados interferencia a 40.87 metros	149
Tabla 30 Resultados interferencia a 61.67 metros	153
Tabla 31 Resultados interferencia con obstáculos a 16.30 metros	157
Tabla 32 Resultados interferencia con obstáculos a 40.87 metros	161
Tabla 33 Resultados interferencia con obstáculos a 61.67 metros	165
Tabla 34 Resultados prueba de voltaje 1 minuto	169
Tabla 35 Resultados prueba de voltaje 15 minutos	170
Tabla 36 Resultados prueba de voltaje 30 minutos	171
Tabla 37 Resultados latencia y velocidad a 16.30 metros	127
Tabla 38 Resultados latencia y velocidad a 40.87 metros	176
Tabla 39 Resultados latencia y velocidad a 61.67 metros	180
Tabla 40 Resultados latencia y velocidad a 16.30 metros optimizado	184
Tabla 41 Resultados latencia y velocidad a 40.87 metros optimizado	188
Tabla 42 Resultados latencia y velocidad a 61.67 metros optimizado	192
Tabla 43 Resultados de lectura de sensores PCE-HCT110	196
Tabla 44 Resultados de lectura de sensores BRI DT 3218	197
Tabla 45 Condiciones adversas temperaturas altas a 16.30 metros	198

	8
Tabla 46 <i>Condiciones adversas temperaturas bajas a 16.30 metros</i>	202
Tabla 47 <i>Condiciones adversas temperaturas altas a 40.87 metros</i>	206
Tabla 48 <i>Condiciones adversas temperaturas bajas a 40.87 metros</i>	210
Tabla 49 <i>Condiciones adversas temperaturas altas a 61.77 metros</i>	214
Tabla 50 <i>Condiciones adversas temperaturas bajas a 61.67 metros</i>	218

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Ubicación geográfica del sitio de cultivo</i>	16
Figura 2 <i>Reserva forestal junto al sitio del proyecto</i>	17
Figura 3 <i>Representación del prototipo</i>	28
Figura 4 <i>Modulo Sensor de Humedad del suelo YL-100</i>	30
Figura 5 <i>Modulo Sensor Humedad del suelo Resistente a Corrosión</i>	31
Figura 6 <i>Modulo Sensor Humedad del suelo Capacitivo Higrómetro</i>	31
Figura 7 <i>Sensor DHT11</i>	33
Figura 8 <i>Sensor DHT22</i>	34
Figura 9 <i>Sensor HDC1080 GY-213V</i>	34
Figura 10 <i>Equipos especializados para la toma de humedad y temperatura ambiente</i>	38
Figura 11 <i>Porcentaje de error respecto al DHT11</i>	40
Figura 12 <i>Porcentaje de error PCE-HCT110 respecto al DHT1</i>	41
Figura 13 <i>Porcentaje de error BRI DT 3218 respecto al DHT11</i>	42
Figura 14 <i>Módulo NRF24L01</i>	44
Figura 15 <i>Módulo Rf 315 y 433MHz</i>	44
Figura 16 <i>Arduino Nano</i>	47
Figura 17 <i>Raspberry Pi Pico</i>	47
Figura 18 <i>Circuito transmisor</i>	50
Figura 19 <i>Circuito receptor</i>	51
Figura 20 <i>PCB transmisor</i>	51
Figura 21 <i>PCB receptor</i>	52
Figura 22 <i>Transmisor en PCB</i>	53

	10
Figura 23 <i>Receptor en PCB</i>	53
Figura 24 <i>Caja de recubrimiento</i>	54
Figura 25 <i>Prototipo transmisor y receptor final</i>	55
Figura 26 <i>Disposición del terreno</i>	56
Figura 27 <i>Disposición prototipo transmisor en el terreno</i>	57
Figura 28 <i>Conexión del receptor para recibir datos</i>	58
Figura 29 <i>Recepción de datos</i>	59
Figura 30 <i>Ubicación aérea del lote del proyecto</i>	61
Figura 31 <i>Distribución primera fase prueba de alcance y cobertura</i>	62
Figura 32 <i>Punto 1 a 16.30 metros de la casa</i>	65
Figura 33 <i>Punto 2 a 40.87 metros de la casa</i>	65
Figura 34 <i>Punto 3 a 61.67 metros de la casa</i>	66
Figura 35 <i>Obstáculos</i>	74
Figura 36 <i>Estructura final del prototipo</i>	80
Figura 37 <i>Promedio de intensidad de señal de la prueba 1.1</i>	81
Figura 38 <i>Promedio de intensidad de señal optimizado de la prueba 1.1</i>	82
Figura 39 <i>Comparación del promedio de intensidad de señal de la prueba 1.1</i>	83
Figura 40 <i>Dispersión del promedio de calidad de enlace de la prueba 1.2</i>	84
Figura 41 <i>Promedio de calidad de enlace de la prueba 1.2</i>	85
Figura 42 <i>Dispersión promedio de calidad de enlace optimizada de la prueba 1.2</i>	86
Figura 43 <i>Promedio de calidad de enlace optimizada de la prueba 1.2</i>	87
Figura 44 <i>Promedio de tasa de efectividad y error sin obstáculos de la prueba 2</i>	88
Figura 45 <i>Promedio de tasa de efectividad y error con obstáculos de la prueba 2</i>	89

	11
Figura 46 <i>Consumo promedio del prototipo de la prueba 3</i>	90
Figura 47 <i>Diferencia de voltaje contra tiempo del prototipo de la prueba 3</i>	92
Figura 48 <i>Voltaje contra tiempo del prototipo de la prueba 3</i>	93
Figura 49 <i>Promedio de latencia contra tiempo de la prueba 4.1</i>	94
Figura 50 <i>Promedio de velocidad de transmisión contra tiempo de la prueba 4.1</i>	95
Figura 51 <i>Promedio de latencia optimizado contra tiempo de la prueba 4.2</i>	96
Figura 52 <i>Promedio de velocidad contra tiempo de la prueba 4.2</i>	97
Figura 53 <i>Calidad de enlace respecto a la distancia para la prueba 5</i>	98
Figura 54 <i>Diagrama de flujo –Transmisor</i>	99
Figura 55 <i>Diagrama de flujo – Receptor</i>	100
Figura 56 <i>Día soleado</i>	222
Figura 57 <i>Día nublado</i>	223
Figura 58 <i>Día con lluvia</i>	255

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Datos y mediciones de los sensores</i>	115
Apéndice B <i>Evidencia fotográfica extra y videos</i>	222
Apéndice C <i>Código y software</i>	225

Introducción

Una de las partes de estudio e implementación de la ingeniería electrónica es la agricultura de precisión donde busca mejorar procesos en la agricultura para aumentar la productividad de los cultivos y a su vez cuidar el medio ambiente con la reducción de la cantidad de agua provista para el riego de los cultivos. Este proyecto pretende impactar en el mejoramiento de los procesos de producción agrícola e implementar técnicas que fortalezcan los tiempos y procesos de los cultivos, estos tiempos se pueden mejorar otorgando condiciones óptimas para la germinación rápida de los cultivos.

Un exceso de agua al momento de la siembra puede pudrir la semilla y con falta de agua puede aumentar el tiempo de germinación que es normalmente una semana desde la siembra hasta el primer brote (Yara, 2019). En ambos escenarios se está aumentando costos y tiempo en el proceso, por una parte, se aumentan gastos para la compra de más semillas para reemplazar las que se dañaron y por otra parte si el tiempo de germinación se alarga también se pospone el “paso a tierra”, pues este se hace por lotes y tiempos exacto, este paso a tierra no se hace sino está todo el lote listo, es decir, se pretende extraer el máximo de cosecha a cada planta.

Es por esto que el presente trabajo consiste en crear un prototipo de un sistema de comunicación para el envío de datos de sensores en cultivos de maíz por medio de radiofrecuencia, esto con el fin de validar los parámetros de humedad del suelo, temperatura y humedad relativa. Esto con el fin de ayudar a reducir los gastos en la siembra de cultivos de maíz, disminuir los tiempos de producción de los cultivos y contribuir con el cuidado del medio ambiente, reduciendo el gasto de agua ya que el riego se hará solo cuando sea necesario para el cultivo.

Antecedentes y Motivación

En la agricultura de precisión se busca mejorar los procesos en la agricultura por medio de la ingeniería para aumentar la productividad de los cultivos en este caso específico, el cultivo maíz, y a su vez cuidar el medio ambiente con la reducción de la cantidad de agua provista para el riego de los cultivos ya que según (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, 2021) la degradación que poseen los suelos puede contrarrestarse con alternativas resilientes y sostenibles, donde prima el cuidado del medio ambiente, y ahorro de los recursos naturales, en especial, el agua.

Este proyecto pretende impactar en el mejoramiento de los procesos de producción agrícola para ayudar a los campesinos a implementar técnicas que fortalezcan los tiempos y procesos de los cultivos, estos tiempos se pueden mejorar otorgando condiciones óptimas para la germinación rápida de los cultivos. Es aquí donde cobra importancia la supervisión de los cultivos y de validar las variables de humedad en el suelo y humedad y temperatura ambiente, ya que en el caso del maíz con un exceso de agua al momento de la siembra puede pudrir la semilla y con falta de agua puede aumentar el tiempo de germinación que es normalmente una semana desde la siembra hasta el primer brote (Yara, 2019). En ambos escenarios se está aumentando costos y tiempo en el proceso, por una parte, se aumentan gastos para la compra de más semillas para reemplazar las que se dañaron y por otra parte si el tiempo de germinación se alarga también se pospone el “paso a tierra”, pues este se hace por lotes y tiempos exactos. Aquí está la importancia de leer la variable de humedad en el suelo de los cultivos, pues permite la persona encargada de la siembra estar pendiente de la misma.

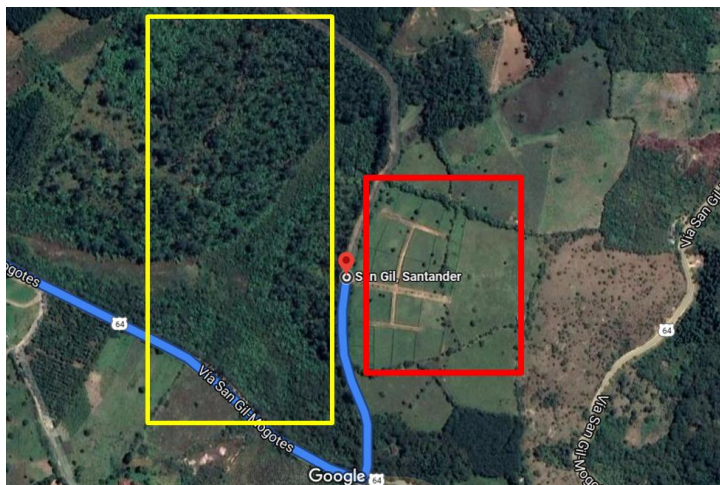
Lograr validar y tener presente las condiciones de cada cultivo respecto a la temperatura ambiente, la humedad ambiente y la humedad de la tierra, ayuda a poder determinar las acciones del riego, ayuda a reducir gastos en tiempo del desplazamiento de las personas hasta la zona del cultivo y ayudará optimizar la cantidad de agua que se añade a la plantación, pues “las plantas crecen bien sólo si la humedad es adecuada porque la humedad afecta el rendimiento de las plantas. Al regular la cantidad de vapor de agua en el aire se evita la aparición de moho y hongos” (Plagron, 2020), y aquí la importancia de leer la variable de humedad y temperatura ambiente, pues realizando acciones a tiempo respecto a estos valores puede marcar la diferencia entre una germinación y cosecha productiva con una que no lo sea y solo genere pérdidas.

Planteamiento del Problema

La agricultura es una parte fundamental de la economía, por ello, el mejorar procesos se ve como una necesidad fundamental (Mamani, Villalobos, & Herrera , 2017) pues la agricultura, además de ser un trabajo arduo, es un negocio necesario para el bien de todas las personas ya que se encarga de llevar a las plazas de mercado y a los hogares los productos necesarios para el consumo humano, de ahí que, en la zona rural de San Gil, en la vereda Versalles, hacienda Santa Elena se cuenta con algunos cultivos de maíz. En esta ubicación hay carencia de señal telefónica móvil y fija por lo que no se tiene una buena comunicación debido a la falta de antenas y a que la geografía es bastante apartada debido a la reserva natural encontrada allí, la cual impide la llegada de cualquier tipo de señal.

Figura 1

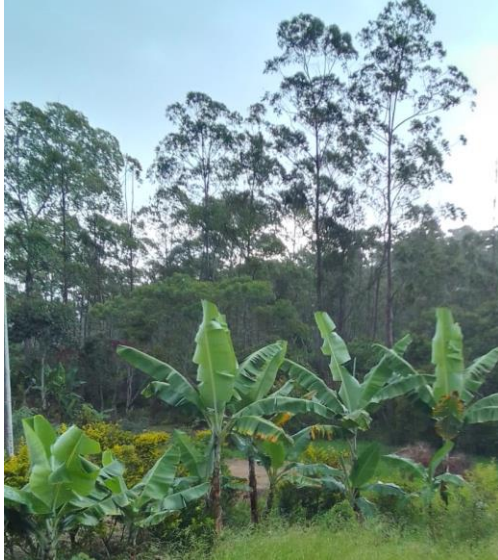
Ubicación Geográfica del Sitio de Cultivo



Nota. Tomado de (Google Maps, 2022)

Figura 2

Reserva Forestal Junto al Sitio del Proyecto



Nota. Autoría propia

En la Figura 1 se muestra el recuadro rojo que indica el sitio de cultivo (sitio de implementación del proyecto) y a su derecha hay una elevación montañosa y a la izquierda en el recuadro amarillo y en la Figura 2 muestra la reserva natural, estos dos fenómenos impiden que llegue la señal Wifi y señal celular.

La agricultura, al ser un negocio se requiere un cuidado especial de todos los cultivos para que estos sean los más productivos posibles y aumentar las ganancias al máximo. Es por esto que según el tamaño de la cosecha que se quiere recoger se requiere una cantidad de trabajadores determinada, por consiguiente, los agricultores tienen que contar con personal encargado de los cultivos, para analizar y controlar el estado de los niveles de agua, temperatura, humedad de los cultivos.

A pesar de las condiciones geográficas y climatológicas, permitir monitorear de forma eficiente las condiciones de cada cultivo reducirá gastos en tiempo del desplazamiento de las

personas hasta la zona a realizar el riego, optimizar la cantidad de agua que se añade a la plantación y aumentar la producción del cultivo, por este motivo se hace importante el desarrollo de un prototipo de comunicación para datos de sensores en cultivos de maíz que solucione esta problemática de forma eficiente y un costo bajo y que impacte en el mejoramiento de los procesos de producción agrícola, ayude a los campesinos a implementar técnicas que fortalezcan los tiempos y procesos de los cultivos y así generar condiciones óptimas para la germinación rápida de los cultivos.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un prototipo de un sistema de comunicación para el envío de datos de sensores en cultivos de maíz.

Objetivos Específicos

Diseñar el sistema de conexiones del sistema transmisor y del receptor.

Realizar la programación del microcontrolador para realizar el envío de las variables.

Verificar el funcionamiento del prototipo desarrollado por medio de experimentos establecidos.

Analizar los datos los experimentos y resultados obtenidos.

Revisión de la Literatura

Marco Conceptual

Agricultura de precisión es el conjunto de tecnologías que buscan optimizar la producción agrícola a través del manejo de la variabilidad (espacial y temporal) de los factores de producción del cultivo. Estas tecnologías se instalan en la maquinaria de campo para ejecutar de una forma más detallada las labores de levantamiento topográfico, nivelación, preparación, surcado, siembra mecanizada, fertilización y cosecha, dependiendo de las necesidades establecidas (Unversidad de Antioquia, 2020).

Ciclo del cultivo de maíz. El maíz tiene el siguiente ciclo

- Nascencia: comprende el período que transcurre desde la siembra hasta la aparición del coleóptilo, cuya duración aproximada es de 6 a 8 días (AbcAgro, 2021).
- Crecimiento: una vez nacido el maíz, aparece una nueva hoja cada tres días si las condiciones son normales. A los 15-20 días siguientes a la nascencia, la planta debe tener ya cinco o seis hojas, y en las primeras 4-5 semanas la planta deberá tener formadas todas sus hojas (AbcAgro, 2021).
- Floración: a los 25-30 días de efectuada la siembra se inicia la panoja en el interior del tallo y en la base de éste. Transcurridas 4 a 6 semanas desde este momento se inicia la liberación del polen y el alargamiento de los estilos. La emisión de polen dura de 5 a 8 días (AbcAgro, 2021).
- Fructificación: Una vez realizada la fecundación, los estilos de la mazorca, vulgarmente llamados sedas, cambian de color, tomando un color castaño. Transcurrida la tercera semana después de la polinización, la mazorca toma el tamaño definitivo, se forman los granos y aparece

en ellos el embrión. Los granos se llenan de una sustancia leñosa, rica en azúcares, los cuales se transforman al final de la quinta semana en almidón (AbcAgro, 2021).

- **Maduración y secado:** hacia el final de la octava semana después de la polinización, el grano alcanza su máximo de materia seca, pudiendo entonces considerarse que ha llegado a su madurez fisiológica. Entonces suele tener alrededor del 35% de humedad. A medida que va perdiendo la humedad se va aproximando el grano a su madurez comercial (AbcAgro, 2021).

El Riego consiste en aportar agua al sustrato, para que las plantas (hortalizas, pastos, hierbas, ornamentales, etc.) puedan crecer y/o desarrollarse. Ésta es una actividad necesaria tanto en la hidroponía, como en la agricultura tradicional y la jardinería. Las técnicas de riego más utilizadas son: arroyamiento o surcos, inundación, riego localizado, riego por aspersión, riego por drenaje (Hydro Environment, 2021).

La Radiofrecuencia se emplea para nombrar a las frecuencias del espectro electromagnético que se utilizan en las radiocomunicaciones. El espectro electromagnético se refiere a cómo se distribuye la energía de las ondas. Este espectro queda determinado por las radiaciones que se emiten. Las ondas, por su parte, suponen la propagación de esta radiación, acarreando energía. La radiofrecuencia, en definitiva, es la parte del espectro electromagnético que abarca desde los 3 kilohercios hasta los 300 gigahercios (Merino & Pérez, 2018).

LoRa es una tecnología inalámbrica que emplea un tipo de modulación en radiofrecuencia. La tecnología de modulación se denomina Chirp Spread Spectrum (o CSS) y se emplea en comunicaciones militares y espaciales, LoRa es una tecnología ideal para conexiones a grandes distancias y para redes de IoT en las que se necesiten sensores que no dispongan de corriente eléctrica de red, teniendo grandes aplicaciones: para Smart Cities (ciudades

inteligentes), en lugares con poca cobertura (cómo explotaciones agrícolas o ganaderas en el campo), para construir redes privadas de sensores y/o actuadores (CatSensors, 2021).

Módulo de Radiofrecuencia es un pequeño dispositivo electrónico que se utiliza para transmitir y recibir señales de radio entre dos dispositivos. El módulo de RF se suele utilizar con un par de codificadores/decodificadores. El codificador se utiliza para codificar datos paralelos para la transmisión, mientras que la recepción se decodifica mediante un decodificador. Los módulos de radiofrecuencia son el mayor facilitador de la comunicación inalámbrica, ya que no requiere una línea de visión. Se extiende entre un rango de 3 KHz y 300 GHz, con el extremo inferior aplicado en aplicaciones como submarinos y estaciones de radio, mientras que el espectro más alto se utiliza en aplicaciones como GPS, Wi-Fi, Bluetooth y retransmisión de TV (Amidata, 2020).

Los teléfonos móviles funcionan enviando y recibiendo señales de radio de baja potencia. Las señales se intercambian con antenas que están conectadas a transmisores y receptores de radio, comúnmente conocidos como estaciones base de telefonía móvil. Las estaciones base están conectadas al resto de las redes de telefonía fija y móvil y pasan la señal a esas redes. Las redes móviles tienen una capacidad finita para atender llamadas telefónicas simultáneas. Cuantas más personas utilizan los teléfonos móviles, más capacidad se necesita y es necesario instalar más estaciones base más cercanas entre sí (EMF Explained 2.0, 2019).

GSM o Sistema Global para Comunicaciones Móviles es una tecnología móvil digital empleada para transmitir servicios móviles de voz y datos. Se encarga de digitalizar y comprimir datos, luego los envía por un canal con otros dos flujos de datos de usuario, cada uno en su propio intervalo de tiempo. Opera en la banda de frecuencia de 900 MHz o 1.800 MHz. GSM incluye datos conmutados por circuitos de alta velocidad (HSCSD), servicio general de radio por

paquetes (GPRS), entorno GSM de datos mejorados (EDGE) y servicio universal de telecomunicaciones móviles. La red GSM cuenta con cuatro partes separadas que trabajan juntas para funcionar como un todo: el dispositivo móvil, el subsistema de estación base (BSS), el subsistema de conmutación de red (NSS) y el subsistema de operación y soporte (OSS) (Alai Secure, 2021).

En la Conexión inalámbrica el dispositivo móvil se conecta a la red a través del hardware. Mientras tanto, la tarjeta de módulo de identidad abonado (SIM) proporciona a la red información de identificación sobre el usuario móvil. El BSS maneja el tráfico entre el móvil y el NSS. Consta de dos componentes principales: la estación transceptora base (BTS) y el controlador de la estación base (BSC). EL BTS contiene el equipo que se comunica con los teléfonos móviles, primordialmente los receptores de radios y las antenas. Mientras, el BSC es la inteligencia detrás de él, que se comunica y controla un grupo de estaciones transceptoras base (Alai Secure, 2021).

Sistemas de Comunicación en la Agricultura

En España, Rubén Sáenz en 2018 da a conocer cómo afecta al rendimiento de una red de sensores los parámetros más significativos dentro las posibles configuraciones existentes para futuros despliegues de una red LoRa. El autor dice que si se realiza una mala planificación y diseño del circuito produce la disminución de la potencia de transmisión del sensor lo que no hace posible la recepción de la información. El uso de una modulación que permita una gran inmunidad conlleva una bajada de la tasa binaria y un aumento de la energía necesaria disminuyendo así la vida útil (Sáenz Esteban, 2018).

Michael Moya en 2018 realiza una integración de pasarela y nodo terminal LoRa/LoRaWAN, para su posterior análisis de cobertura en un sector urbano obteniendo datos

como tiempo en aire, RSSI, SNR, dispersión, que permitieron establecer el alcance de cobertura de la pasarela (Moya Quimbita, 2018). Para alcanzar una mejor cobertura se debe tener en cuenta: Tipo y tamaño de antena. Instalación del equipo y la antena. Potencia del equipo. Orientación. Altura del nodo. Obstáculos intermedios.

En Nicaragua crearon un proyecto que consiste en un Prototipo de Sistema de Monitoreo y Localización de Hidrantes. La ubicación se gestionará a través de una página web y una base de datos que almacenará los datos de los Coordenadas de hidrantes. En caso de que algún hidrante esté en mal estado o no esté en funcionamiento; una alerta será emitida (Saavedra García & Mendoza Vallecillo, 2021).

(Gagliardi, 2018) analiza la infraestructura de comunicaciones de radio frecuencia con el fin de evaluar características tales como el alcance y el rendimiento. Afirma que se ha demostrado la factibilidad de utilizar comunicaciones de radiofrecuencia utilizando una combinación mínima de placas de desarrollo de muy bajo costo, Arduino UNO y módulos de comunicaciones que también son de muy bajo costo: nRF24L01.

En Chile (Conejeros Molina, Hueichaqueo Pichunman, Martinez-Jimenez, & Placeres Remior, 2021) se propone un sistema que permite analizar en tiempo real las variables más importantes que determinan el grado de calidad del agua, mediante el uso de sensores y la transmisión de los datos para su interpretación.

También en Chile un grupo de ingenieros creó un sistema de comunicación por señales de radio de baja frecuencia para enviar información de ayuda cuando los sistemas móviles y de Internet colapsan durante una emergencia o un desastre natural (EFE, 2018). Por lo que el sistema de radiofrecuencia es confiable y es una opción de bajo costo y bajo consumo (Muñoz, Sáez, García, Chang, & Montes, 2017).

En Colombia, Sánchez Escobar en 2016 dice que una de las variables necesarias para evaluar el comportamiento del Punto de acceso en zona rural es la distancia máxima a la cual puede trabajar el Wi- Fi. Como ventajas se encuentran el uso de frecuencias en banda libre, la tecnología es ampliamente conocida y la configuración es básica, lo cual favorece el costo de los equipos. La movilidad, la escalabilidad y la flexibilidad son las características más importantes de la tecnología inalámbrica (Sánchez Escobar, 2016).

En 2017, se describe el diseño de una plataforma de monitoreo remoto y control de variables ambientales para agricultura de precisión, flexible y de bajo costo. Para la construcción de dicha plataforma se emplearon tecnologías con redes inalámbricas de sensores, basadas en protocolo de comunicación Zigbee, utilizando sistema embebido Arduino, mediante software y hardware libre. La red está compuesta por un nodo central y dos nodos donde se encuentran conectados los sensores para las lecturas de las variables medioambientales y estas se exhiben en un entorno gráfico (Ossa Duquea, 2017).

En CORHUILA (Hernán Alarcón, Arias, & Díaz, 2018), se desarrolló un sistema de control y automatización de temperatura, humedad del suelo y humedad relativa para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta.

En 2018, en San José de Santiago de Cuba crean una red de sensores inalámbricos para medir en tiempo real temperatura, humedad relativa y radiación solar en las casas de cultivos protegidos. En estas instalaciones no se realizan estas mediciones por la falta de instrumentos. Para medir de forma automática estos parámetros se diseñó una red de 24 nodos sensores, ubicados en cada una de las casas de cultivo, y en la casa de posturas y una estación base ubicada en las oficinas de la administración del complejo (Romero Amondaray, Piña Figueredo, & Goire Castilla, 2018).

En 2020, (Chaparro Mesa, Barrera Lombana, & León Socha, 2020) diseñaron un dispositivo para automatización y monitoreo de procesos agroindustriales, con posibilidad de intervención en sitio o a través de IoT. El sistema cuenta con puertos digitales y analógicos programables, USB, diferentes sensores (temperatura, pH, humedad relativa y nivel de oxígeno); los actuadores se configuran en dependencia de calendario electrónico por reloj de tiempo real (RTC). El registro de datos se realiza de forma local o mediante servicios de computación en la nube (Chaparro Mesa, Barrera Lombana, & León Socha, 2020).

Se presenta el diseño y construcción de un sistema integrado de monitoreo inalámbrico para la generación de mapas de intensidad enfocado en la agricultura de precisión. El sistema cuenta con la instrumentación para medir dióxido de carbono, temperatura, radiación ultravioleta y humedad del aire y suelo. Los datos se envían a través del protocolo LoRaWAN (Gutierrez-Lopera, Toloza-Rangel, Soto-Vergel, López-Bustamante, & Guevara-Ibarra, 2021).

También en 2020, Se plantea un sistema de riego automático para cultivos de ahuyama en el departamento de Sucre, Colombia. El sistema diseñado se compone de un controlador proporcional, integral y derivativo (PID) sintonizado y un sistema de adquisición de datos conectado a la nube mediante herramientas del Internet de las Cosas. El usuario controla el cultivo de manera remota y gestiona la información histórica y en tiempo real para evaluar el requerimiento hídrico del cultivo de variables atmosféricas y suelo (Cohen-Manrique, Burbano-Bustos, Salgado-Ordosgoitia, & Merlano-Porto, 2020).

Metodología

Medición de Variables

Este proyecto pretende impactar en el mejoramiento de los procesos de producción agrícola. Es aquí donde cobra importancia la supervisión de los cultivos y validar ciertas variables que estén directamente relacionadas con la germinación y productividad del cultivo.

Es por esto que para este proyecto se han seleccionado la medición de las variables de humedad en el suelo, humedad ambiente y temperatura ambiente, esto pues como menciona (Hernán Alarcón, Arias, & Díaz, 2018), algunas de las variables más importantes en cultivos son variables de temperatura, humedad del suelo y humedad relativa pues optimiza el rendimiento de cultivos.

Respecto a la humedad en el suelo “un exceso de agua al momento de la siembra puede pudrir la semilla y con falta de agua puede aumentar el tiempo de germinación que es normalmente una semana desde la siembra hasta el primer brote” (Yara, 2019). Cada cultivo tiene los valores ideales de humedad en el suelo, en el caso del cultivo de maíz según (Bollatti, 2020) la humedad ideal del suelo para el cultivo del maíz no puede ser menor al 20% pero tampoco superior al 24%. Fuera de este rango de valores se puede incurrir en pérdidas en el cultivo o aumento en los costos.

Respecto a la humedad y temperatura ambiente “las plantas crecen bien sólo si la humedad es adecuada porque la humedad afecta el rendimiento de las plantas. Al regular la cantidad de vapor de agua en el aire se evita la aparición de moho y hongos” (Plagron, 2020). De igual forma que en la humedad el suelo cada cultivo tiene unas temperaturas ideales para su correcta producción de cosecha, en el caso del maíz se recomienda estar en temperaturas promedio de más de 20 grados y humedad ambiente promedio de 50%. En temperaturas menores y con alta

humedad, como se mencionó anteriormente, puede generar moho en la parte inferior del tallo de la planta y el daño de la misma y atado a ello la reducción de la cosecha.

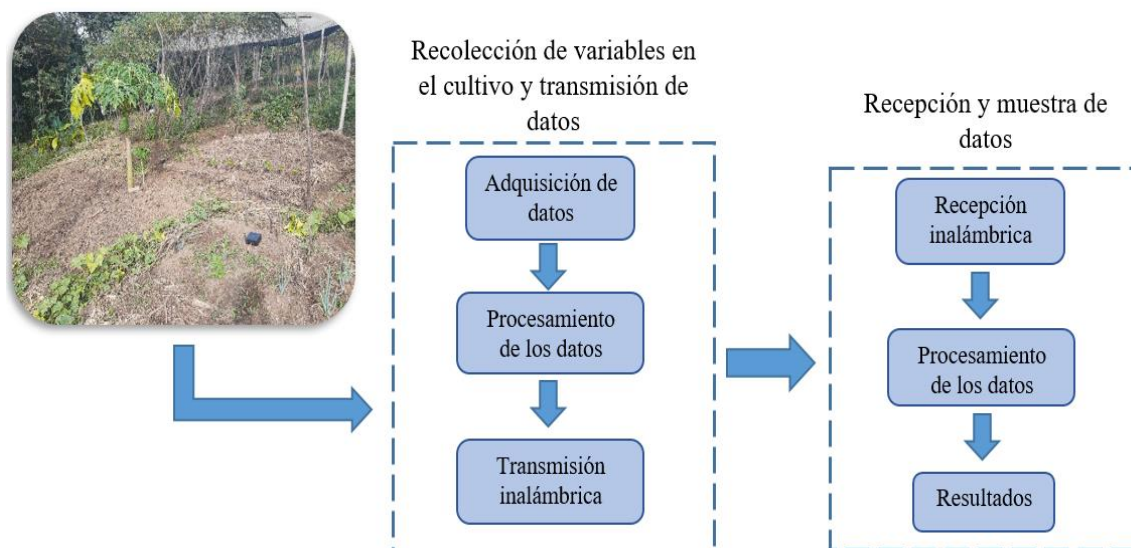
Lograr validar y tener presente las condiciones del cultivo respecto a estas variables ayuda a determinar las acciones del riego y actividades necesarias para salvaguardar el cultivo, ayuda a reducir gastos en tiempo del desplazamiento de las personas hasta la zona del cultivo y ayudará optimizar la cantidad de agua que se añade a la plantación.

Arquitectura del Sistema

La arquitectura del prototipo a desarrollar está plasmada en la Figura 3, esta figura es el diagrama de bloques del prototipo pensado para este proyecto. En el cultivo se extrae la humedad y temperatura ambiente y la humedad del suelo, estos se procesan en la placa de desarrollo y por medio del dispositivo de comunicación se envía al prototipo receptor que recibe la información y muestra la información obtenida del cultivo.

Figura 3

Representación del Prototipo



Nota. Autoría propia

Es importante hacer notar que el prototipo final está compuesto por dos prototipos independientes pero vinculados, uno es el prototipo transmisor que estará en el cultivo y posee los sensores conectados a la placa de desarrollo donde se procesan los valores obtenidos, estos se alimentan con una batería de 9 voltios, este transmisor realiza el envío de los datos al prototipo receptor que recibe los datos y los muestra en el monitor serie del computador al cual está conectado, el receptor está compuesto por la placa de desarrollo y el módulo de radio frecuencia este, al estar conectado al computador no necesita fuentes externas de alimentación.

Esta representación es importante conocerla ya que a partir de ella y del planteamiento del problema se seleccionan los dispositivos seleccionados en esa solución a desarrollar. Por lo cual en las siguientes tres secciones se hace un recorrido por distintos sensores de humedad en el suelo, sensores de humedad y temperatura ambiente, módulos de radio frecuencia y placas de desarrollo disponibles en el mercado para a partir de esto seleccionar la opción que mejor se adecúe al proyecto.

Integración de Sensores

En esa sección se hace un recorrido por algunos sensores ofrecidos en el mercado para el tema tratado, validar sus diferentes características y así poder realizar la selección del más adecuado.

Humedad en el Suelo

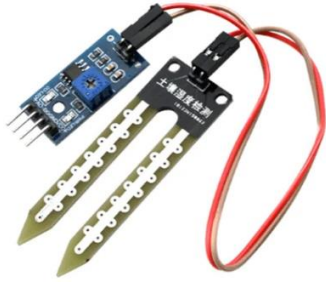
Se han seleccionado tres diferentes sensores de humedad en el suelo disponibles en el mercado.

Modulo Sensor de Humedad del suelo Resistivo Higrómetro, mostrado en la Figura 3, está pensado para el control de humedad del suelo o tierra de plantas. Las puntas del sensor están tratadas para resistir mejor la oxidación y alargar su vida útil. Consiste en una sonda con dos

terminales separados adecuadamente y un módulo que contiene un integrado comparador LM393, un led de encendido y otro de activación de salida digital (Ferretrónica, 2022).

Figura 4

Modulo Sensor de Humedad del suelo Yl-100



Nota. Tomado de (Ferretrónica, 2022).

Modulo Sensor Humedad del suelo Resistente a Corrosión Higrómetro, mostrado en la Figura 4, está pensado para el control de humedad del suelo o tierra de plantas. Las puntas del sensor están tratadas para resistir mejor la oxidación y alargar su vida útil. Consiste en una sonda con dos terminales metálicas separadas adecuadamente y un módulo que realiza el tratamiento de datos entregando una salida analógica y una salida Digital (Ferretrónica, 2021).

Figura 5

Modulo Sensor Humedad del suelo Resistente a Corrosión



Nota. Tomado de (Ferretrónica, 2021).

Modulo Sensor Humedad del suelo Capacitivo Higrómetro con Salida Análoga, mostrado en la Figura 5, está especialmente diseñado para tener más resistencia a la corrosión y realizar medidas confiables en el largo plazo. Totalmente compatible con Arduino, Microcontroladores PIC, entre otros, que puedan trabajar con un conversor Análogo a Digital (ADC) (Ferretrónica, 2022).

Figura 6

Modulo Sensor Humedad del suelo Capacitivo Higrómetro



Nota. Tomado de (Ferretrónica, 2022).

Después de haber revisado algunos de los sensores de humedad en el suelo disponibles en el mercado, se crea la Tabla 1 donde se exponen las características más importantes de cada sensor.

Tabla 1*Comparación Sensores de Humedad Suelo*

	Modulo Sensor Humedad del suelo YI-100	Modulo Sensor Humedad del suelo Capacitivo	Sensor De Humedad De Suelo Capacitivo Higrómetro
Voltaje de operación recomendado	3.3 A 5v	3.3 a 5v	3.3 a 5v
Composición	Sonda, cables y controlador	Sonda, cables y controlador	Sonda, cables y controlador
Compatible con Arduino	Si	No	Si
Error	±2%	±3%	±2.5%
Funcionamiento	Resistivo	Capacitivo	Capacitivo
Costo	5.000 pesos	35.000 pesos	19.000 pesos

Nota. Autoría propia

Después de haber validado la Tabla 1 se selecciona el sensor de humedad en el suelo YI-100. Ya que el modulo Sensor Humedad del suelo Capacitivo se descarta por no ser compatible con Arduino y de los dos restantes se selecciona el sensor humedad del suelo YI-100 ya que tiene un porcentaje de error menor al sensor de humedad de suelo capacitivo Higrómetro de más o menos 3 grados centígrados además de ser más económico.

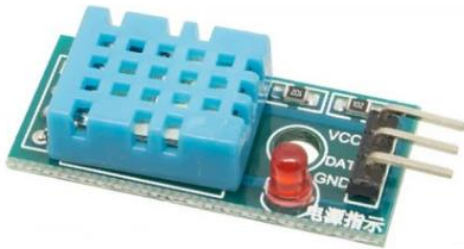
Temperatura y Humedad Ambiente

Se han seleccionado tres diferentes sensores de humedad y temperatura ambiente disponibles en el mercado.

El sensor de Temperatura y Humedad relativa DHT11, mostrado en la Figura 6, entrega una señal digital calibrada por lo que asegura una alta calidad y una fiabilidad a lo largo del tiempo, ya que contiene un conversor integrado de 16 bits (Ferretrónica, 2022).

Figura 7

Sensor DHT11



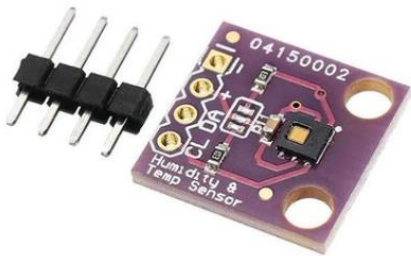
Nota. Tomado de (Ferretrónica, 2022).

El sensor de Temperatura y Humedad relativa DHT22, mostrado en la Figura 7, entrega una señal digital calibrada por lo que asegura una alta calidad y una fiabilidad a lo largo del tiempo, ya que contiene un conversor integrado de 16 bits (Ferretrónica, 2022).

Figura 8*Sensor DHT22*

Nota. Tomado de (Ferretrónica, 2022).

Sensor de Humedad y Temperatura HDC1080 GY-213V, mostrado en la Figura 8, es una alternativa bastante precisa e inteligente al ser mucho más simple que el sensor de Humedad y Temperatura SHT15. El Sensor HDC1080 tiene 2 pines de selección de dirección, por lo que puede tener hasta 4 sensores compartidos en un solo bus I2C (Ferretrónica, 2021).

Figura 9*Sensor HDC1080 GY-213V*

Nota. Tomado de (Ferretrónica, 2021).

Después de haber validado algunos de los sensores de humedad y temperatura ambiente disponibles en el mercado, se crea la Tabla 2 donde se muestran las características más importantes de cada sensor.

Tabla 2*Comparación Sensores de Humedad y Temperatura Ambiente*

	DHT22	DHT11	HDC1080 GY-213V
Voltaje de operación recomendado	3.3 A 12v	3.3 a 5v	3.3 v
Rango de medida de la temperatura	0°C a 50°C	-40°C a 80°C	- 40 °C a 125 °C
Precisión de temperatura:	± 0.5 °C	± 0.5 °C	± 0.2 °C
Rango humedad relativa	20% a 95%	0% a 99.9%	0% ~ 100%
Precisión de medición de humedad	4% RH.	2% RH.	± 2%
Compatible con Arduino	Si	No	Si
Costo	22.000	8.000	25.000

Nota. Autoría propia

Después de validar la Tabla 2 se selecciona el DHT11 pues otorga un rango de operación óptimo para las características del proyecto, además de poseer una precisión de medida tanto de humedad y temperatura alta y tener el costo más bajo entre los sensores seleccionados.

Los sensores seleccionados fueron (a) el modulo Sensor de Humedad del suelo YL-100 y (b) sensor de Temperatura y Humedad DHT11.

Caracterización de Sensores

El sensor YL100 es usado para la lectura de humedad en el suelo, al ser un sensor análogo, su uso se realiza la siguiente forma,

1. Definir número puerto de Arduino al cual va conectado el sensor
2. Definir el tipo de puerto para el sensor, en este caso de entrada, porque Arduino solo lee los valores dados por el sensor.
3. Realizar la lectura análoga de los valores que va registrando el sensor.

Los valores que recibe el Arduino son valores que van de 0 a 1023, donde el valor cero indica 100% de humedad y el valor de 1023 indica que la tierra está seca (LLamas, 2019). Cabe aclarar que a estos valores otorgados por el sensor no se le hizo ninguna conversión de datos, por lo cual si se requiere encender una alarma o hacer cualquier acción de control futura será necesario hacer una serie de validación y conversión de estos valores.

En el caso del cultivo de maíz según (Bollatti, 2020) la temperatura ideal del suelo para el cultivo del maíz no puede ser menor al 20% pero tampoco superior al 24%, con lo cual podemos tomar ese intervalo para hacer la conversión de los valores del sensor. Dicha conversión se puede hacer de forma sencilla con una regla de tres, de la siguiente forma para el valor de 20%

$$LimiteInferior = \frac{20\% * 1023}{100\%} = 204,6$$

Y para le valor de 24%

$$LimiteSuperior = \frac{24\% * 1023}{100\%} = 245,5$$

Estos dos valores aún no representan los valores adecuados en Arduino ya que 1023 equivale a un suelo anhidro, por lo tanto, debemos restar el valor obtenido a 1023, así,

$$\text{LimiteInferior} = 1023 - 204,6 = 777,5$$

$$\text{LimiteSuperior} = 1023 - 245,5 = 818,4$$

La conversión de los porcentajes a los valores adecuados respecto a humedad en el suelo son 777,5 y 818,4 que equivalen al 20 y 24% respectivamente.

El sensor DHT11 es usado para leer la humedad y temperatura ambiente, al ser un sensor digital, su uso se realiza la siguiente forma

1. Inicializar la librería denominada “DHT” (Del Valle Hernández, 2020).
2. Crear el objeto dht para el uso de la librería.
3. Realizar la lectura de la temperatura ambiente.
4. Realizar la lectura de la humedad ambiente.

Al hacer uso de dicha librería permite no tener que realizar las conversiones de los datos obtenidos pues los valores recibos en el Arduino serán valores entendibles, es decir, se obtienen valores propios de temperatura ambiente en grado centígrados y los valores de humedad en porcentaje de humedad.

Para validar el correcto funcionamiento del sensor de humedad y temperatura se realiza la siguiente prueba.

Validación de Lectura de Sensores

Tener una medida fiable es crucial a la hora de tener un cultivo pues esta determina una serie de acciones a ejecutar en el cultivo como encender o no el sistema de riego para optimizar el tiempo de los trabajadores y mejorar la producción del cultivo.

El objetivo de estas pruebas es validar el correcto funcionamiento del sensor de humedad y temperatura ambiente comparado con elementos especializados para la toma de estos valores. En el apéndice C. Código y software está la programación de esta prueba. Es importante que las mediciones sean correctas, para esto se realiza la prueba de lectura de los sensores para lo cual se tomaron las mediciones del sensor de temperatura y humedad ambiente a lo largo del día para ver su variación y correcto funcionamiento, se registraron las lecturas cada media hora durante 10 horas continuas de funcionamiento, se tomó el valor arrojado por el sensor DHT11 y de cada uno de los instrumentos especializados para la medición de temperatura y humedad en el suelo. Estos instrumentos son el PCE-HT110 y BRI DT 3218 que se ilustran en la Figura 10.

Figura 10

Equipos Especializados para la Toma de Humedad y Temperatura Ambiente



Nota. Autoría propia

Esto se hace con el fin de verificar que el sensor DHT11 muestre la variación de la temperatura y humedad a lo largo del día de una forma adecuada comparado con las lecturas del equipo especializado para esta labor. En las tablas 43 y 44 del apéndice A. Datos y mediciones de los sensores, se registró fecha y hora de la toma, temperatura y humedad de cada sensor, por lo cual la Tabla 3 es el promedio del porcentaje de error entre los sensores contra el sensor DHT11.

Tabla 3

Promedio de Lecturas y Porcentajes de Error para el PCE-HCT110 y DHT11

Dispositivo	Humedad promedio	Temperatura promedio (°C)	Porcentaje de error temperatura	Porcentaje de error humedad
BRI DT 3218	47.2	28.31	0.52	0,79
PCE-HCT110	49.43	27.18	0.2	1,42

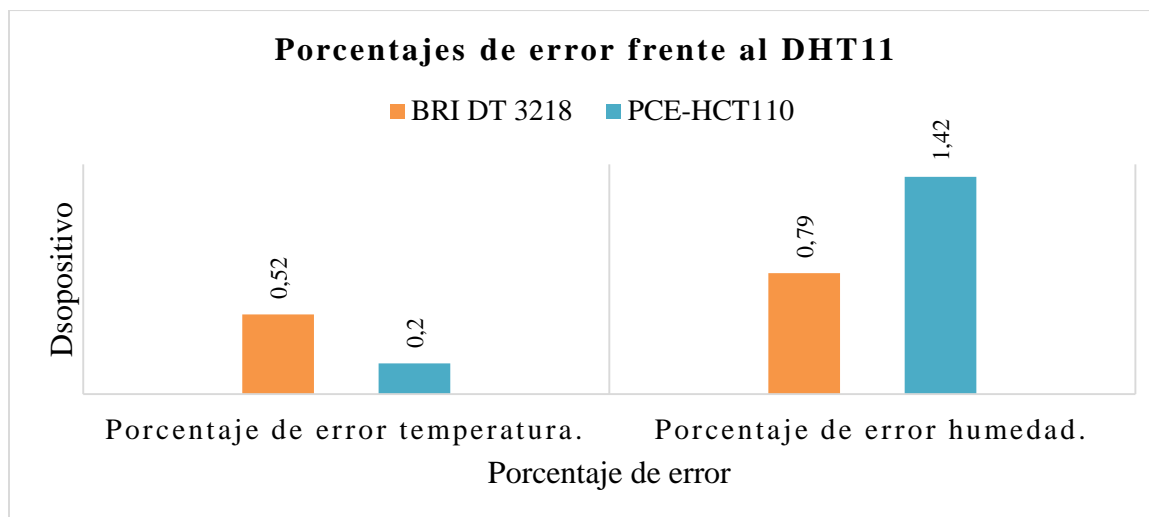
Nota. Autoría propia

Resultado Validación Lectura de Sensores

Esta validación pretendía determinar la confiabilidad de lectura de los valores de los dispositivos seleccionados respecto a sensores especializados para la toma de estos datos, esto se hace tomando las mediciones dadas por los sensores seleccionados y comparándolas con los dispositivos especializados (véase la sección prueba de lectura de sensores), esperando no sobrepasar el 5% de diferencia de medidas.

Figura 11

Porcentaje de Error de los Instrumentos Especializados Respecto al DHT11



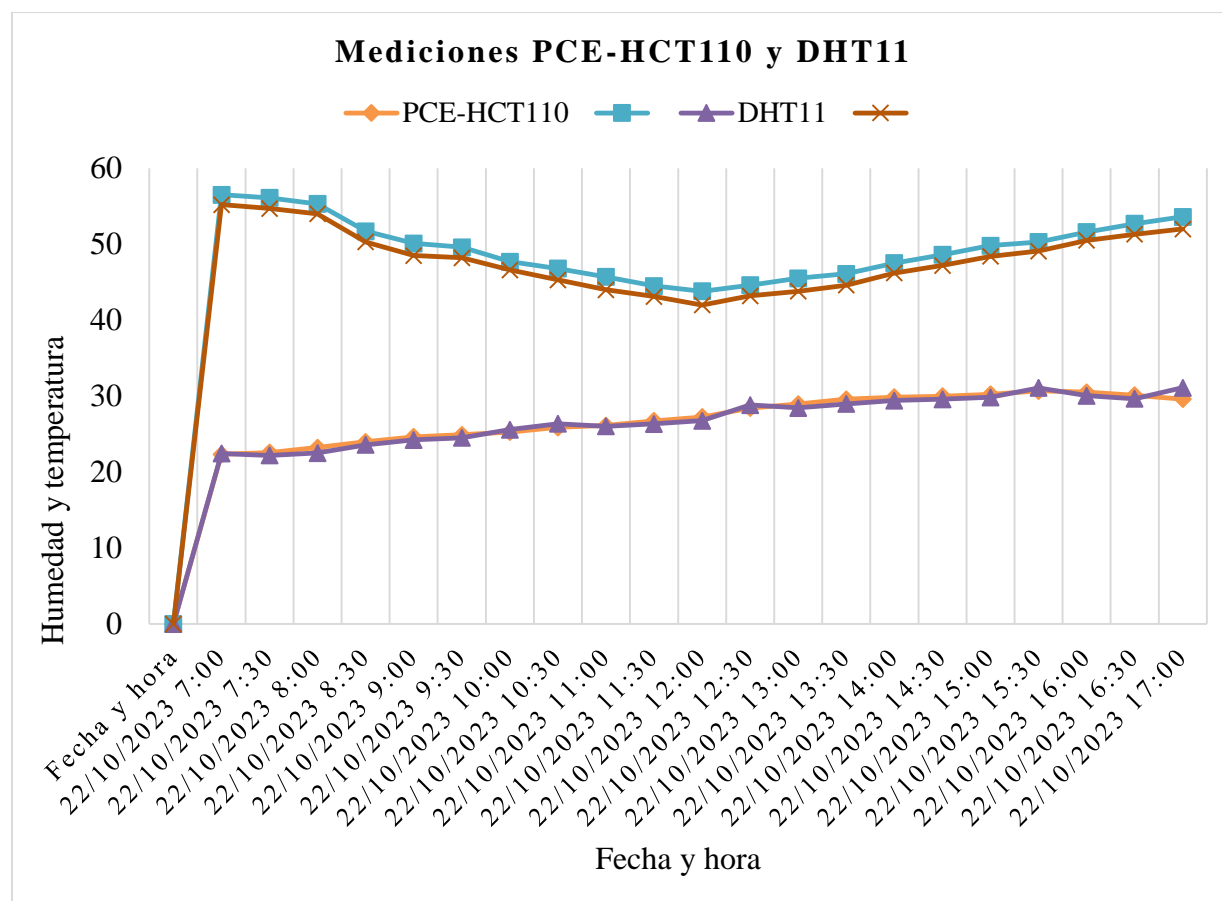
Nota Autoría propia

En la Figura 11 el color naranja representa el sensor especializado BRI DT 3218 y el color morado el sensor PCE-HCT110 estos dos comparados con el DHT11, usado en el prototipo, de esta Figura 48 se puede inferir que la diferencia de medidas entre el sensor usado en el prototipo respecto a los sensores especializados no supera el 2%.

Específicamente para temperatura y humedad, por medio de la comparación de los datos de los sensores PCE-HCT110 y el DHT11, se obtiene la Figura 12.

Figura 12

Porcentaje de Error PCE-HCT110 Respecto al DHT11

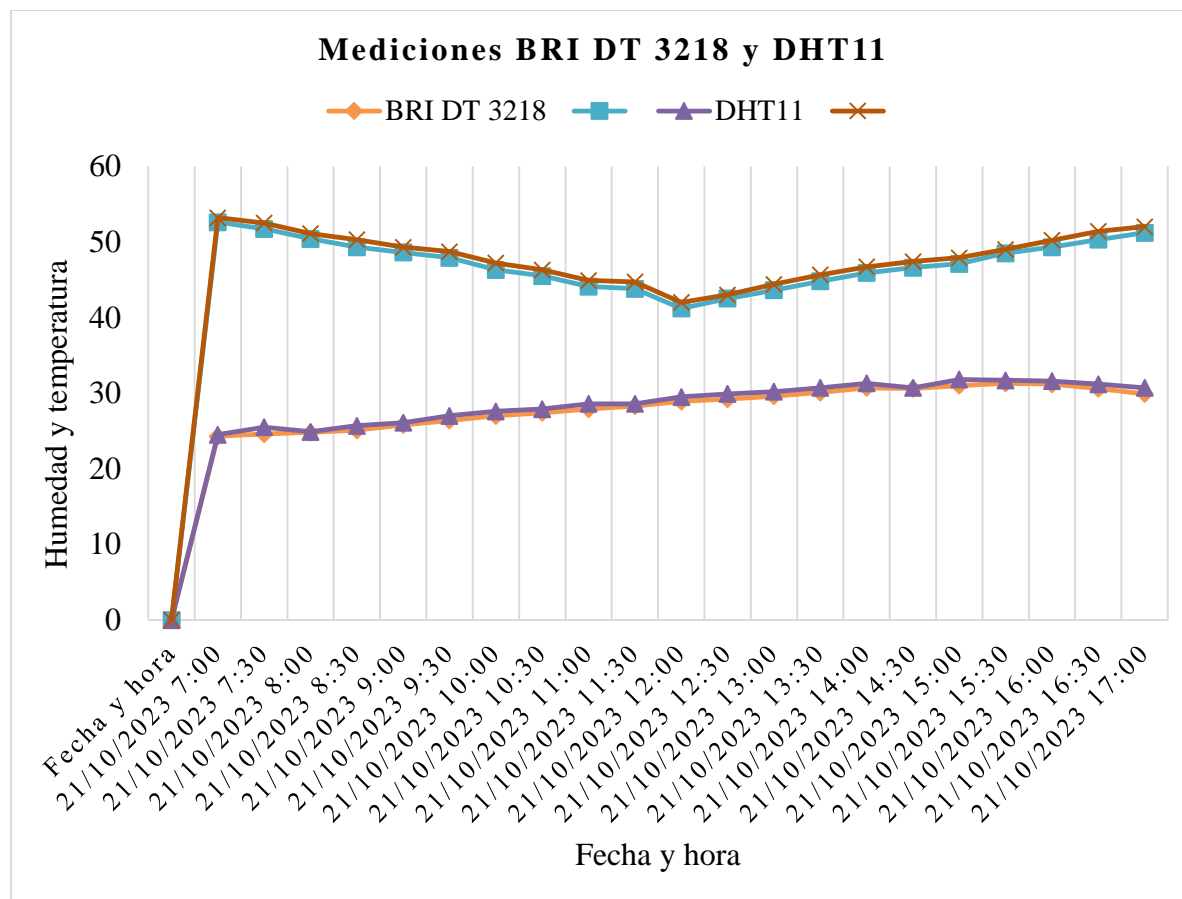


Nota. Autoría propia

Y para el caso de humedad del suelo por medio de la comparación entre el BRI DT 3218 y el DHT11, se obtiene la Figura 13.

Figura 13

Porcentaje de Error BRI DT 3218 Respecto al DHT11



Nota. Autoría propia

La Figuras 12 y la Figura 13 muestran de una forma más específica lo explicado en anteriormente, a saber, que los valores de temperatura y humedad ambiente del DHT11 respecto a los sensores especializados son muy similares, no superando el 2% de error entre la medida de uno y otro.

Transmisión de Datos

Las condiciones geográficas expuestas impiden el uso de tecnologías como el wifi ni envío de mensajes de texto o llamadas telefónicas ya que la zona de trabajo no cuenta con

cobertura celular o GSM por lo cual la tecnología de dispositivos de radio frecuencia se alza como una opción valiosa ya que además de su bajo costo permite la comunicación inalámbrica en industrias como la agricultura, donde permiten la supervisión y el control remotos de equipos agrícolas y sistemas de riego. Están diseñados para recibir y transmitir señales de radiofrecuencia, lo que permite la transferencia de datos y la comunicación entre dispositivos sin necesidad de conexiones físicas lo que permite una mayor flexibilidad en la ubicación y el diseño de los dispositivos. (Frackiewicz, 2023).

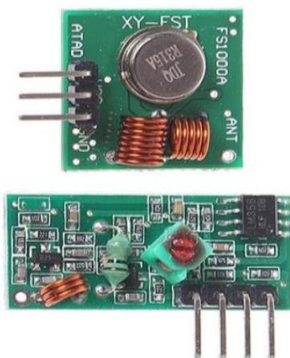
Ahora, para seleccionar el mejor dispositivo radio frecuencia se realiza una validación con las opciones del mercado que sean integrables con Arduino que es la placa seleccionada para la integración de todo el prototipo. Se tienen las siguientes opciones:

El módulo de Comunicación Inalámbrica nRF24L01+ PA + LNA, mostrado en la Figura 14, utiliza un nuevo transceptor de la compañía Nordic Semiconductor, el nRF24L01+. Incluye circuitería tanto de PA (pre-amplificador) como de LNA (Low Noise Amplifier). Viene con la antena para 2.4 GHz (2 dB) con una tasa de transmisión de hasta 250 Kbps al aire libre y puede alcanzar una distancia de hasta 1 kilómetro, ideal para proyectos de telemetría, control de periféricos, aplicaciones de mandos de vídeo juegos, juguetes, electrónica de consumo, industria y afines. Trabaja con velocidades máximas de funcionamiento de hasta 2 Mbps, GFSK eficiencia de modulación, la capacidad anti-interferencia, especialmente adecuado para aplicaciones de control industrial (Ferretrónica, 2022).

Figura 14*Módulo NRF24L01*

Nota. Tomado de (Ferretrónica, 2022).

Módulos RF Transmisor + Receptor 315 MHz y/o 433MHz, mostrado en la Figura 15, funcionan como un enlace de datos simplex, es decir, solamente transmiten información en un solo sentido. Aun así, resultan extremadamente útiles en aplicaciones sencillas que no requieren una comunicación bidireccional. Se conectan fácilmente a cualquier microcontrolador o circuitos codificadores /decodificadores, permitiéndonos tener un enlace de Radio Frecuencia funcional en muy poco tiempo (Ferretrónica, 2022).

Figura 15*Módulo Rf 315 y 433MHz*

Nota. Tomado de (Ferretrónica, 2022).

Después de haber validado algunos de los dispositivos de transmisión de datos disponibles en el mercado, se crea la Tabla 4 donde se muestran las características más importantes de cada dispositivo expuesto anteriormente.

Tabla 4

Comparación Módulo RF

	NRF24L01	Módulo Rf 315 y 433MHz
Voltaje de operación recomendado	3.3v	5v
Frecuencia de operación	2.4 GHz	315 y/o 433MHz
Velocidad de transmisión de datos	< 2 Mbps	<10 Kbps
Distancia de alcance	< 1000 metros en línea de vista a tasa de 250 Kbps	Alcance en interiores aprox: 40 m Alcance en exteriores aprox: 100 m
Dimensiones	46 mm x 16 mm x 20 mm	30 mm x 14 mm x 7 mm
Composición	Módulo transmisor y módulo receptor	Módulo transmisor y módulo receptor
Compatible con Arduino	Si	Si
Costo	15.000	7.000

Nota. Autoría propia.

Al validar la Tabla 4 se selecciona el NRF24L01 ya que posee una mayor velocidad de transmisión y mayor distancia de funcionamiento entre el transmisor y el receptor además de ser compatible con Arduino

Los componentes seleccionados para desarrollar el prototipo fueron los siguientes:

Arduino Nano (x2) una para el emisor y otro para el receptor.

DHT11 (sensor de humedad y temperatura ambiente)

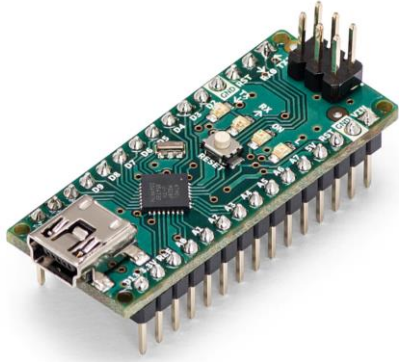
Sensor humedad suelo Y1-100 (sensor para medir humedad en el suelo)

Módulo RF NRF24L01 (x2)

Procesamiento y Análisis de Datos

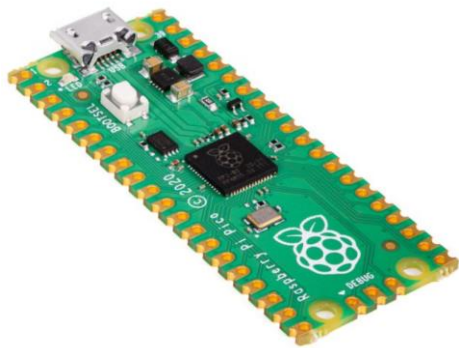
La solución planteada necesita no solo medir las condiciones del cultivo sino poder procesar los datos adquiridos, este procesamiento se configura con la placa de desarrollo usada en el prototipo. Seleccionar los sensores y los dispositivos de transmisión de datos es importante, pero también es necesario seleccionar una placa de desarrollo que permita la interconexión entre los sensores y el dispositivo de transmisión de datos, por lo cual, en esa sección se hace un recorrido por algunas placas de desarrollo que permitan dicha interconexión, disponibles en el mercado además de permitir procesar los datos obtenidos.

El Arduino Nano, mostrado en la Figura 16, es una placa pequeña, completa y compatible con placas de pruebas basada en ATmega328 (Arduino Nano 3.x). funciona con un cable USB Mini-B en lugar de uno estándar (Arduino, 2023).

Figura 16*Arduino Nano*

Nota. Tomado de (Arduino, 2023).

El Raspberry Pi Pico board, mostrado en la Figura 17, es un microcontrolador basado en el chip Raspberry Pi RP2040, diseñado para ser una plataforma de desarrollo flexible pero de bajo costo (Sigma, 2023).

Figura 17*Raspberry Pi Pico*

Nota. Tomado de (Sigma, 2023).

Después de haber revisado algunas de las placas de desarrollo en el mercado, se crea la Tabla 5 donde se muestran las características más importantes de cada placa expuesta anteriormente.

Tabla 5*Comparación Placas de Desarrollo*

	Arduino Nano	Raspberry Pi Pico
Microcontrolador	ATmega328	RP2040
Pines análogos	8	3
Pines digitales	22	23
Consumo promedio	19 mA	25 mA
Voltaje de funcionamiento	3,3 V	3,3 V
Voltaje de salida	Max. 5 V	Max. 5,5 V
Dimensiones	18x45mm	21x51mm

Nota. Autoría propia.

Al validar la Tabla 5 se selecciona Arduino Nano por poseer más puertos analógicos comparado con el Raspberry Pi, esto es importante porque el sensor de humedad de suelo seleccionado usa conexiones analógicas, por otra parte, Arduino permite el uso de librerías compatibles con el módulo nRF24L01 lo que permite desarrollar las pruebas de una forma más efectiva ya que facilita la configuración del dispositivo. Por parte del sensor de humedad en el suelo es necesario realizar una configuración en el Arduino para que la persona que lee entienda los datos no obtenga números sin sentido, es decir se necesita una conversión de datos realizada en la programación de la placa de desarrollo. Para el sensor de humedad y temperatura ambiente es posible el uso de librerías especiales compatibles con Arduino lo que facilita la conversión de los datos recibidos a Arduino.

Implementación

Configuración de Hardware y Software

Para la configuración del prototipo se ha seleccionado la herramienta Proteus ya que además de permitir realizar la parte gráfica de las conexiones, permite la creación y realización del diseño de la PCB de los prototipos. Se adicionaron los dispositivos seleccionados en la sección anterior, que fueron:

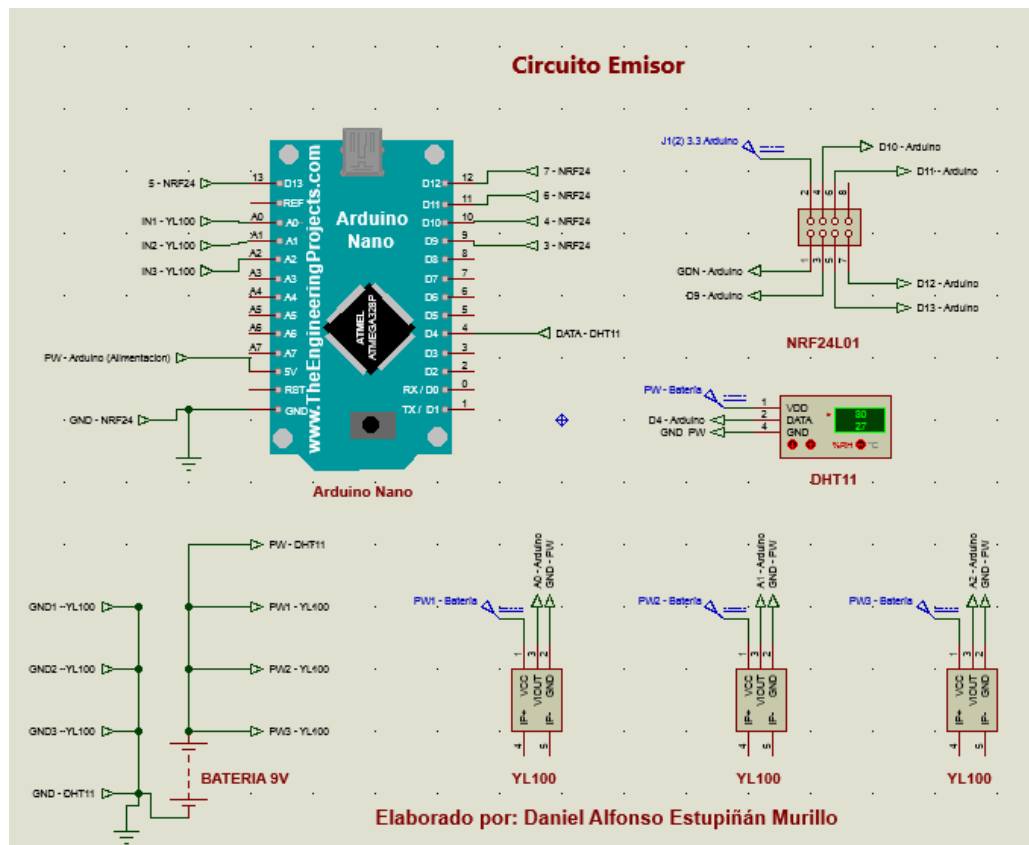
- Arduino Nano (x2) una para el emisor y otro para el receptor.
- DHT11 (sensor de humedad y temperatura ambiente)
- Sensor humedad suelo YI-100 (x3) (sensor para medir humedad en el suelo)
- Módulo RF NRF24L01 (x2)
- Batería de 9 voltios.

Estos componentes se ubican en los diseños del circuito, donde al Arduino se añaden los componentes seleccionados. En el caso del prototipo transmisor, mostrado en la Figura 18, se conectan al Arduino los tres sensores de humedad en el suelo YI-100 del puerto data de cada sensores al puerto A0, A1 y A2 del Arduino, se utilizan tres de estos sensores para adaptarse mejor a las dimensiones del terreno del sitio de trabajo (véase sección 4.2 despliegue de sensores), el DHT11 se conecta del puerto de data al puerto D4 del Arduino y el módulo NRF24L01 de los puertos CE, SCK, CNS y MOSI a los puertos D9, D10, D11 Y D12 del Arduino. Tanto el Arduino como el módulo NRF24L01 y los sensores se conectan a la batería como fuente de alimentación.

Es importante mencionar que al Arduino se carga la programación de las pruebas y la programación final.

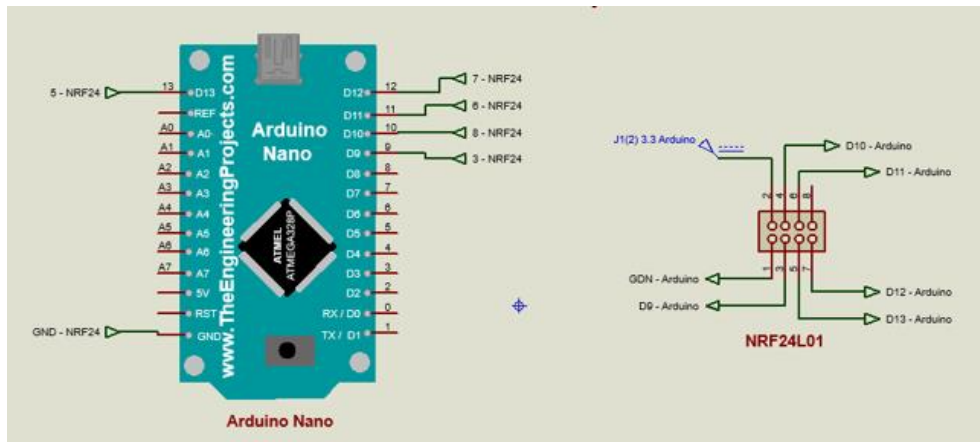
Figura 18

Circuito Transmisor



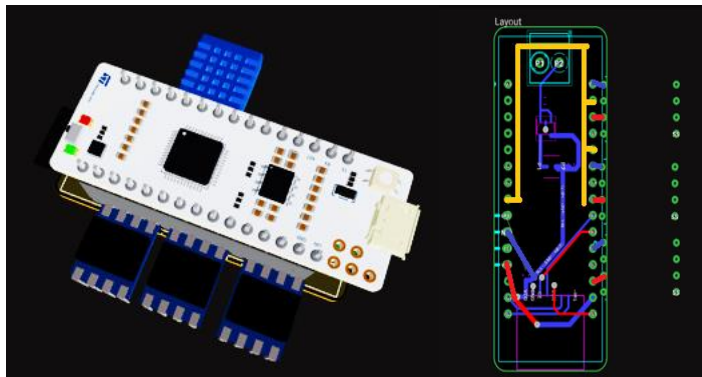
Nota. Autoría propia.

En el caso del prototipo receptor mostrado en la Figura 19 se conectan al Arduino el módulo NRF24L01 de los puertos CE, SCK, CNS y MOSI, VCC y GND a los puertos D9, D10, D11, D12 alimentación y tierra del Arduino y el Arduino al computador para, no solo tener la alimentación por este medio, sino también para usar el monitor serie proporcionado por Arduino para la validación de las pruebas y ver la información recibida de una mejor forma. De igual forma que en el transmisor, al Arduino se carga la programación de las pruebas y la programación del prototipo final.

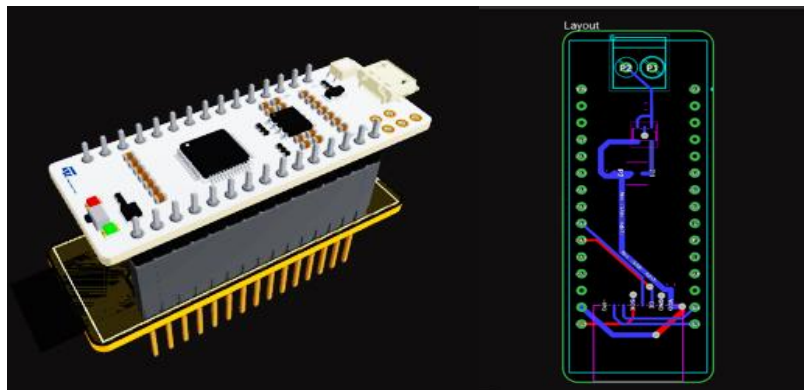
Figura 19*Circuito Receptor*

Nota. Autoría propia.

Una vez diseñadas las conexiones de los prototipos se procede a realizar la creación de las PCBs basadas en el diseño de las Figuras 18 y 19. Estas PCBs fueran pensadas en ser compactas para que los prototipos no ocupen demasiado espacio y como resultado la Figura 20 que muestra la PCB del dispositivo transmisor y la Figura 21 que muestra la PCB del dispositivo receptor.

Figura 20*PCB Transmisor*

Nota. Autoría propia.

Figura 21*PCB Receptor*

Nota. Autoría propia.

Una vez creadas las PCBs se procede a cortar las baquelas universales de las medidas de los circuitos, el transmisor de 5cm x 7cm y el receptor de 2.5cm x 6cm, se limpian con una esponjilla seca para quitar cualquier suciedad y con un paño y alcohol de todo rastro de grasa, se imprimen diseños en papel fotográficos en impresora láser.

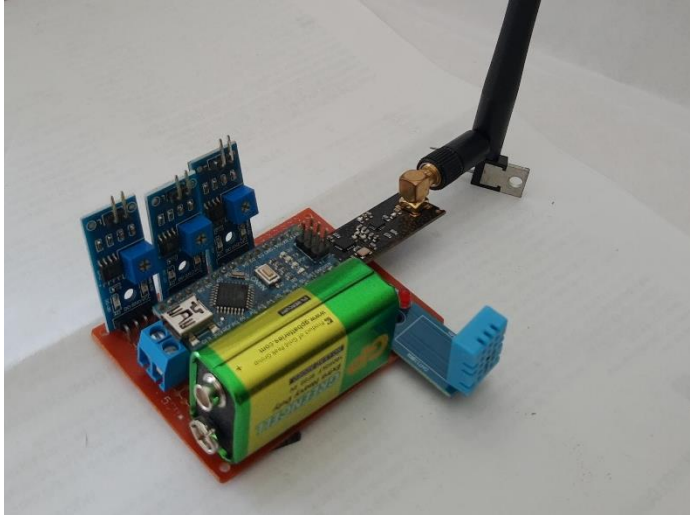
Sobre una hoja se pone la impresión del circuito y sobre esta y con la cara de cobre, se pone la baquela y encima otra hoja, este conjunto se fija a la mesa, para luego, con la plancha al máximo de temperatura planchar por diez minutos esto permite transferir el circuito del papel fotográfico a la baquela Posterior a esto es el grabado, este se hizo poniendo en una tasa la baquela ya planchada con un cantidad suficiente de ácido férrico (que tape la baquela) se deja por media hora, se saca y seca con un paño, con la ayuda de una esponjilla se quita toda la capa superficial del papel fotográfico que se adhirió a la baquela.

En seguida se hicieron los huecos por donde entran los componentes en el circuito, estos se hacen con un taladro y una broca de 1/32. Después de todo este proceso en la Figura 22 se

puede observar el prototipo transmisor montado en la PCB y en la Figura 23 se puede ver el prototipo receptor montado en la PCB.

Figura 22

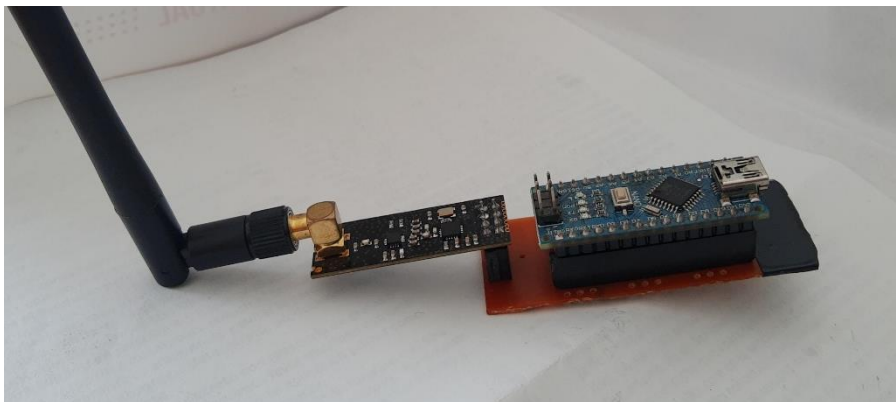
Transmisor en PCB



Nota. Autoría propia.

Figura 23

Receptor en PCB

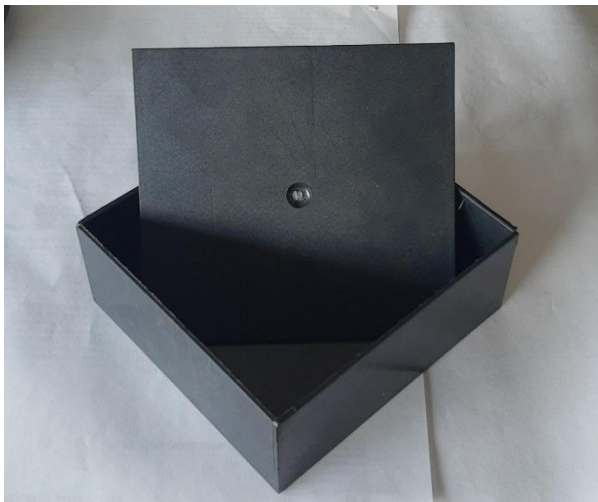


Nota. Autoría propia.

Estos prototipos creados serán usados en condiciones no controladas, es decir serán usados a la intemperie y en condiciones climáticas cambiantes por lo cual es necesario adicionarles un recubrimiento que proteja los circuitos de todas estas condiciones difíciles, pero a su vez que no interfiera en la calidad de la señal ni de los datos obtenidos ni en el fácil transporte que tiene estos prototipos. Para ello se selecciona la caja representada en la figura 24. Esta es una caja acrílica que además de proteger los circuitos es práctica de transportar y fácil de acoplar las PCBs en su interior. Tiene un tamaño de 10 x 10 centímetros que le da un tamaño ideal en su interior para organizar las partes de cada prototipo, además de poseer cinco orificios ya elaborados al costado, ideal para sacar la antena del modulo RF NRF24L01 y los cables que conectan a los sensores de humedad en la tierra.

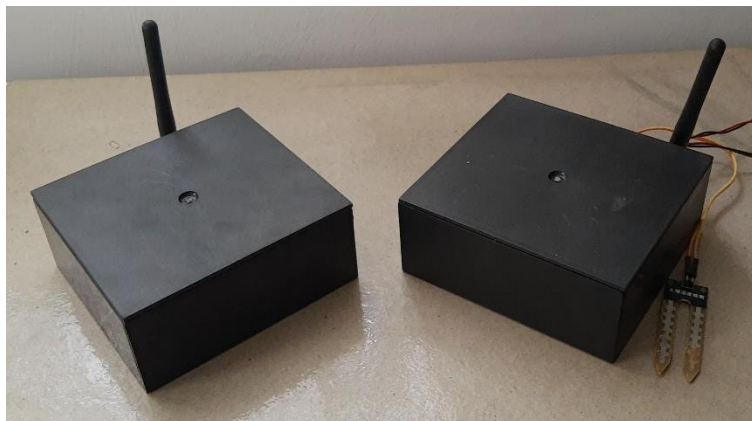
Figura 24

Caja de Recubrimiento



Nota. Autoría propia.

Se adiciona los circuitos en sus respectivas cajas, lo que genera los prototipos finales representados en la figura 25.

Figura 25*Prototipo Transmisor y Receptor Final*

Nota. Autoría propia.

Como se mencionó, la antena del módulo RF NRF24L01 sobresale del recubrimiento lo que la deja a la intemperie, pero esta antena está diseñada para funcionar en cualquier condición, asimismo, en el transmisor, los cables que conectan los tres sensores de humedad en el suelo salen de la caja, por consiguiente, los tres sensores de humedad en el suelo quedan a la intemperie, pero tanto los cables como estos sensores están seleccionados para ser usados en distintas condiciones de calor, humedad y lluvia..

Despliegue de Sensores

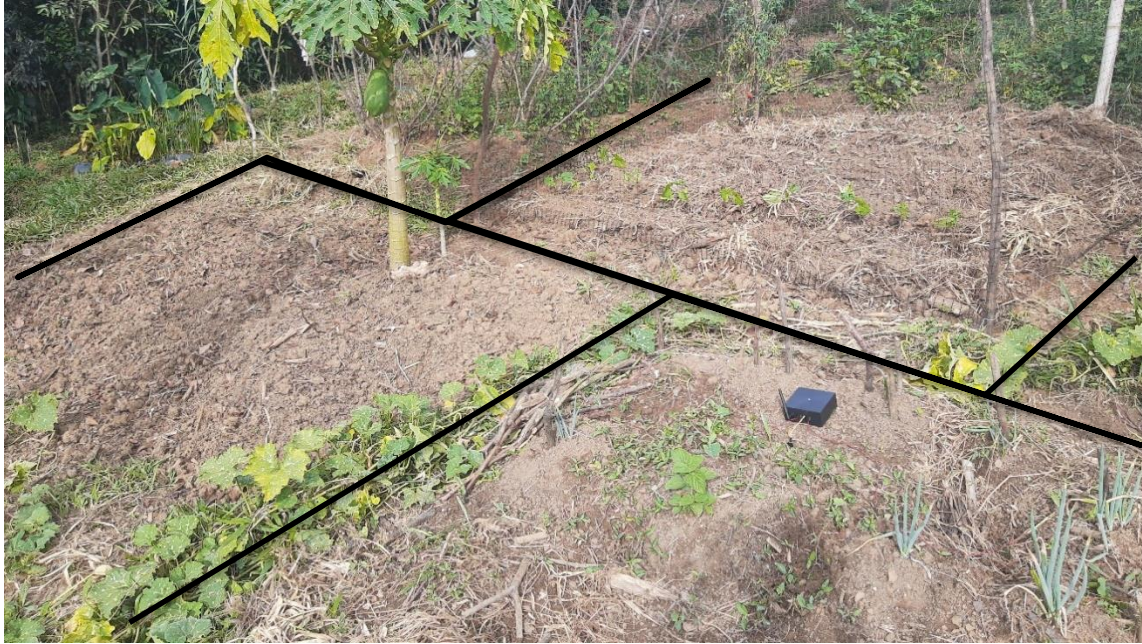
Una vez creado el prototipo transmisor y receptor final (véase la Figura 25) se quiere determinar la ubicación de los sensores en el cultivo.

Los cultivos, en el caso de la finca Santa Helena se dividen en pequeñas parcelas de cultivo, lo habitual es que estas parcelas de cultivo sean aproximadamente de 2 metros cuadrados, es decir de 2 metros de largo por 1 metro de ancho lo que hace más fácil la siembra, mantención del cultivo y verificación de plagas. En la Figura 26 se explica la forma de cultivo en

la finca Santa Helena, por parcelación, lo que permite tener fechas distintas de siembra y diferentes cultivos.

Figura 26

Disposición del Terreno



Nota. Autoría propia.

Lo ideal es poder tener los datos lo más exactos posible en cualquier parte del lote de cultivo es por esto que se usan tres sensores de humedad de suelo y un sensor de humedad y temperatura ambiente (véase la Figura 27).

Figura 27*Disposición Prototipo Transmisor en el Terreno*

Nota. Autoría propia.

Esta distribución en el cultivo, mostrada en la Figura 26, está pensada para abarcar de una mejor forma la medida de humedad en el suelo, ya que según (Sáenz Esteban, 2018) el no distribuir los sensores de una forma óptima puede ocasionar diferencia entre las lecturas requeridas, pues si se deja solo un punto en la parcela no se tendrá una información confiable respecto a todo el cultivo pues cada sensor de humedad en el suelo reduce su confiabilidad de medias después de 50 centímetros a la redonda del punto de instalación del sensor con un máximo de 70 centímetros que puede abarcar de forma adecuada, lo que puede generar acciones erradas en los datos obtenidos lo que conllevaría a no optimizar al máximo la cosecha que pueda producir esta parcela. Por lo cual dejando tres sensores de humedad en el suelo distribuidos en cada parcela de cultivo aumenta la calidad de medidas tomadas. Para el sensor de humedad y temperatura ambiente no se considera necesario usar más de uno pues al estar cerca al cultivo puede monitorear toda la parcela (se considera óptimo que el sitio a medir tenga menos de 6 metros cuadrados).

Pruebas

En esta sección se pretende hacer una serie de pruebas alcance y cobertura, interferencia, latencia y velocidad, consumo de batería y resistencia a condiciones adversas, esto para verificar el adecuado funcionamiento de la solución planteada.

Es importante mencionar como se hará la visualización de los datos por parte del receptor. Una vez conectado el receptor al computador, como se muestra en la Figura 28.

Figura 28

Conexión del Receptor para Recibir Datos



Nota. Autoría propia

Cabe resaltar que esta Figura 28 es durante las pruebas, es decir no se ha hecho el paso a la PCB ni la adición del acrílico protector.

Posteriormente se abre la aplicación de Arduino y por la opción de puerto serie mostrará los datos recibidos como lo muestra la figura 29.

Figura 29

Recepción de Datos

```

Bienvenido
Temperatura: Humedad: Humedad Suelo: 0
Temperatura: 27 Humedad: 38 Humedad Suelo: 1004
Temperatura: 27 Humedad: 39 Humedad Suelo: 1004
Temperatura: 26 Humedad: 39 Humedad Suelo: 1005
Temperatura: 26 Humedad: 38 Humedad Suelo: 1004

```

Nota. Autoría propia

Como se observa en la imagen 29 al inicio dice “Bienvenido” este mensaje aparece cada vez que se conecta el transmisor con el receptor. Al estar apagado el transmisor y estar el receptor conectado al computador no se enviarán ni recibirán datos hasta que este se encienda el transmisor y se realice la conexión entre los dos dispositivos, cuando se establece dicha conexión entre las dos partes del prototipo saldrá el mensaje, se hace de la siguiente forma.

1. Validar si se inicia correctamente el dispositivo radiofrecuencia, si la validación es correcta pasa al segundo paso, si no es correcta genera error “fallo de inicialización”
2. Validar si se realiza la conexión entre los dispositivos, si la validación es correcta pasa al tercer paso, si no es correcta genera error “fallo en establecer canal de conexión”
3. Si las anteriores validaciones son correctas, enviar mensaje de bienvenido.

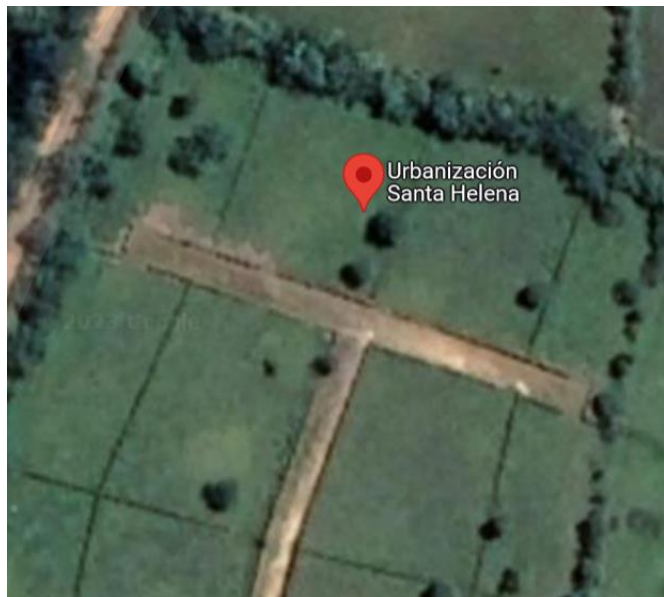
En la segunda columna, es decir, después de cada bienvenido saldrá el mensaje “Temperatura: Humedad: Humedad Suelo: 0” este mensaje es el indicativo de la estructura que tendrán los mensajes y los datos. Posterior a ello ya reciben los datos siguiendo la estructura del mensaje anterior pero ya con los valores de cada variable.

Prueba de Alcance y Cobertura

Esta prueba consiste en validar el alcance, que es la distancia máxima a la que los sensores pueden comunicarse de manera confiable y la cobertura, que es la variación de la intensidad/potencia de la señal en los diferentes puntos del cultivo seleccionados, del prototipo desarrollado. Para ello se pretende medir la potencia de señal que es similar al RSSI (Received Signal Strength Indicator) que es una medida de la intensidad de la señal recibida en un sistema de comunicación inalámbrica.

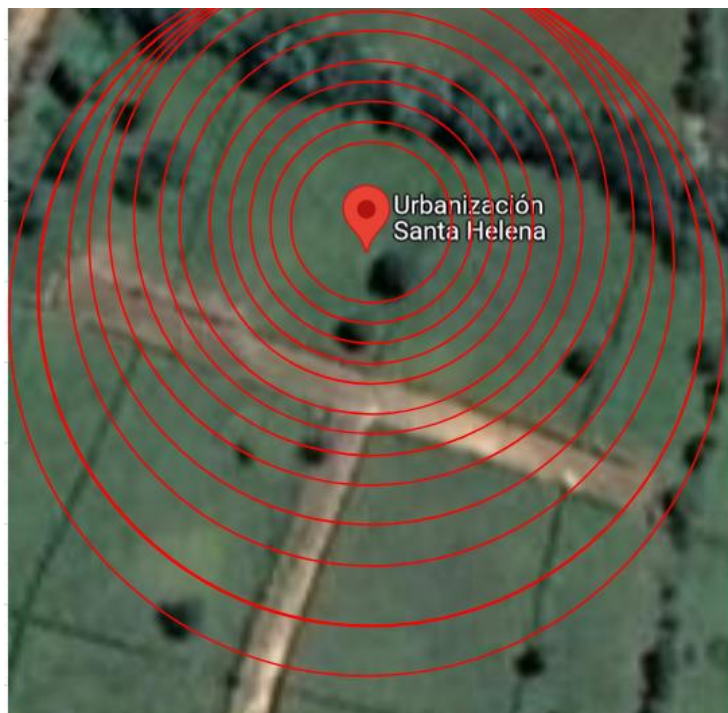
Para esto se usa la variable `signalStrength` que nos otorga el módulo RF NRF24L01 usado. Esta es medida en decibelios (dB) se representa en formato -dBm (0 a -100) mientras más cercano sea el valor a 0, más fuerte será la señal y se utiliza para evaluar la calidad de la señal (Fireware Help, 2021). Para esto se configura el dispositivo transmisor para realizar el envío de datos cada 10 segundos. En el apéndice C. Código y software está la programación de esta prueba.

La Figura 30 muestra la vista aérea del sitio del experimento (Finca Santa Helena) donde el punto rojo indica el lugar de ubicación de la casa donde será el sitio de referencia de ubicación del receptor que estará conectado al computador para permitirnos analizar los datos obtenidos.

Figura 30*Ubicación Aérea del Sitio del Proyecto*

Nota. Tomado de (Google Maps, 2022)

Para esta primera parte se deja el dispositivo receptor en la ubicación de la Figura 30 y se varia la distancia donde ubicamos el transmisor. La Figura 31 muestra una serie de círculos rojos alrededor del punto rojo (ubicación del receptor) que representan distancias ascendentes de 5 a 70 metros en intervalos de 5 metros, sobre la periferia de cada círculo se escogieron distintos puntos para validar la intensidad de señal como se muestra en la Tabla 6. Cabe mencionar que en esta prueba la distancia máxima es de 70 metros pues es la distancia máxima donde hay cultivos, además entre el receptor y cualquier punto donde se ubique el transmisor no hay obstáculos permanentes, ni otra clase de interferencia como redes wifi o antenas de telecomunicación por las mismas condiciones del terreno.

Figura 31*Distribución Primera Fase Prueba de Alcance y Cobertura*

Nota. Tomado de (Google Maps, 2022)

La información obtenida fue registrada en la Tabla 20 del apéndice A. Datos y mediciones de los sensores, allí se registró la distancia, intensidad de señal, fecha y hora de la toma y temperatura ambiente. La Tabla 6 muestra el promedio de la intensidad de señal en cada uno de los puntos seleccionados.

Tabla 6*Promedio de Intensidad de Señal.*

Distancia (metros)	Intensidad de Señal (dBm)
5	-31
10	-33
15	-36
20	-39
25	-43
30	-48
35	-52
40	-57
45	-60
50	-66
55	-71
60	-75
65	-79
70	-84

Nota. Autoría propia***Primera Optimización Prueba de Alcance y Cobertura***

La prueba anterior se realizó con la configuración por defecto que posee el dispositivo de radio frecuencia para la potencia de salida que es -12dBm. Para esta optimización se configura el dispositivo para tener la mayor potencia de envío posible que es 0dBm, esto se hace con la configuración del parámetro RF24_PA, que es el parámetro de potencia, para este existen 4 opciones de configuración que son RF24_PA_MIN = -18dBm, RF24_PA_LOW = -12dBm (configuración por defecto), RF24_PA_HIGH = -6dBm, RF24_PA_MAX = 0dBm (Firtec,

2021), por lo cual se usará RF24_PA_MAX. El código del transmisor y del receptor de esta optimización se encuentra en el apéndice C. Código y software.

Los datos fueron registrados en la Tabla 21 del apéndice A. Datos y mediciones de los sensores y en la Tabla 7 se encuentra el promedio de dichos registros en cada uno de los puntos seleccionados.

Tabla 7

Promedio de Intensidad de Señal Optimizado

Distancia (metros)	Intensidad de Señal (dBm)
5	-22
10	-25
15	-29
20	-33
25	-36
30	-40
35	-44
40	-47
45	-50
50	-55
55	-59
60	-63
65	-67
70	-71

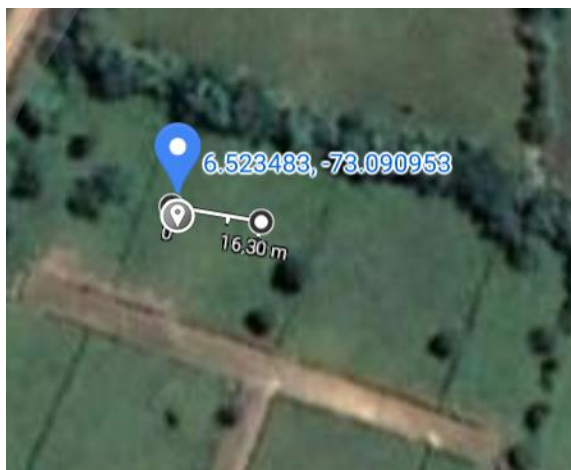
Nota. Autoría propia.

Para la segunda parte se establecieron tres puntos estratégicos (véase Figura 32, 33, 34) estos representan las ubicaciones y distancias de los cultivos más importantes en el sitio de

trabajo, además de ser el punto más cercano, el punto medio y el punto más lejano donde se ubican los cultivos respecto al punto central que es la casa y la ubicación del receptor.

Figura 32

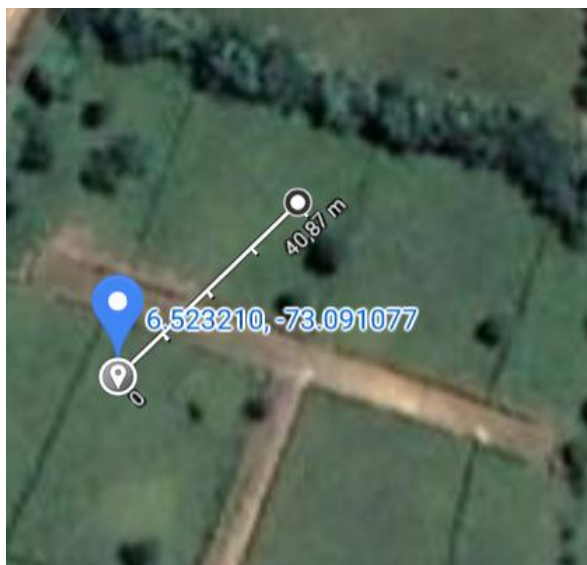
Punto 1 a 16.30 Metros de la Casa



Nota. Tomado de (Google Maps, 2022).

Figura 33

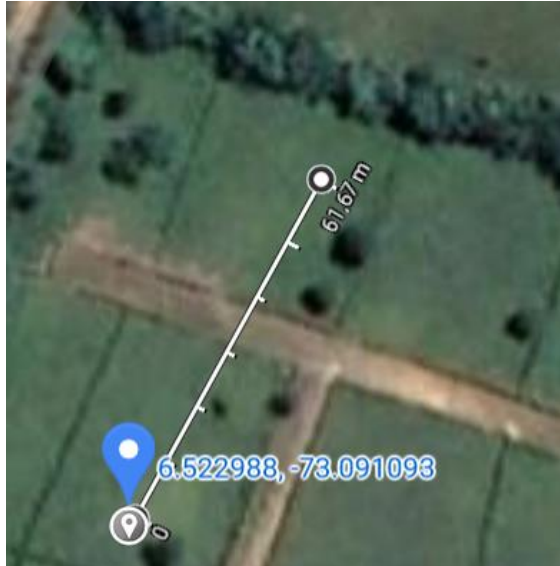
Punto 2 a 40.87 Metros de la Casa



Nota. Tomado de (Google Maps, 2022).

Figura 34

Punto 3 a 61.67 Metros de la Casa



Nota. Tomado de (Google Maps, 2022).

Esto se hace porque se pretende validar la calidad del enlace entre el receptor y el transmisor, también conocida como Link Quality, donde la variable suministrada por el módulo NRF24L01 es LQI, que es un número adimensional donde entre más alto se mejor será la calidad del enlace. Esto se quiere hacer algunas condiciones climáticas, como lo son día soleado, día con neblina y día lluviosos, para validar si alguna condición climática afecta esta calidad de enlace.

Los valores obtenidos fueron los registrados en las tablas 22, 23 y 24 del apéndice A. Datos y mediciones de los sensores. En las tablas 8, 9 y 10 se encuentra el promedio de calidad de enlace por cada condición climática y distancia, además estas tablas tienen el valor temperatura promedio y hora de toma.

Tabla 8*Promedio de Calidad de Enlace a 16.30 Metros.*

Hora	Temperatura promedio (°C)	Condición climática	Calidad del enlace
6 am	24.98	Soleado	77
	23.52	Neblina	75
	22.8	Lluvia	72
8 am	26.02	Soleado	77
	24.46	Neblina	76
	23.5	Lluvia	73
10 am	26.98	Soleado	79
	25.1	Neblina	77
	24	Lluvia	74
12 pm	28.48	Soleado	80
	27.08	Neblina	75
	26.34	Lluvia	73
2 pm	31.1	Soleado	78
	28.54	Neblina	76
	27.28	Lluvia	71
4 pm	30	Soleado	75
	27.96	Neblina	74
	26.46	Lluvia	70
6 pm	26.86	Soleado	76
	25.64	Neblina	74
	24.82	Lluvia	73

Nota. Autoría propia.

Tabla 9*Promedio de Calidad de Enlace a 40.87 Metros*

Hora	Temperatura promedio (°C)	Condición climática	Calidad del enlace
6 am	24.58	Soleado	65
	23.12	Neblina	63
	22.4	Lluvia	60
8 am	25.9	Soleado	66
	24.66	Neblina	64
	23.7	Lluvia	61
10 am	26.84	Soleado	68
	25.26	Neblina	65
	24.14	Lluvia	63
12 pm	29.08	Soleado	70
	27.4	Neblina	64
	26.02	Lluvia	62
2 pm	31.5	Soleado	69
	28.76	Neblina	66
	27.28	Lluvia	63
4 pm	30.32	Soleado	68
	28.26	Neblina	65
	26.7	Lluvia	62
6 pm	26.62	Soleado	66
	25.24	Neblina	64
	24.74	Lluvia	63

Nota. Autoría propia.

Tabla 10*Promedio de Calidad de Enlace a 61.67 Metros*

Hora	Temperatura promedio (°C)	Condición climática	Calidad del enlace
6 am	24.64	Soleado	51
	23.58	Neblina	49
	22.63	Lluvia	47
8 am	26.1	Soleado	51
	24.74	Neblina	50
	23.9	Lluvia	48
10 am	27.04	Soleado	52
	25.52	Neblina	50
	24.48	Lluvia	49
12 pm	30.04	Soleado	53
	27.92	Neblina	51
	26.62	Lluvia	50
2 pm	32	Soleado	54
	29.36	Neblina	52
	27.74	Lluvia	50
4 pm	30.64	Soleado	52
	28.72	Neblina	50
	27.14	Lluvia	46
6 pm	27.02	Soleado	51
	25.64	Neblina	48
	25.02	Lluvia	45

Nota. Autoría propia.***Segunda Optimización Prueba de Alcance y Cobertura***

De igual forma que en la prueba anterior se quiere revisar la calidad de enlace con una configuración distinta a la que trae el dispositivo por defecto, para esto se configura la potencia máxima de envío permitida por el dispositivo radio frecuencia por lo cual se usará el parámetro

de RF24_PA_MAX que permite esta opción. El código del transmisor y del receptor de esta optimización se encuentra en el apéndice C. Código y software.

Los valores obtenidos fueron los registrados en las tablas 25, 26 y 27 del apéndice A. Datos y mediciones de los sensores. En las tablas 11, 12 y 13 se encuentra el promedio de calidad de enlace por cada condición climática, temperatura promedio y hora de toma.

Tabla 11

Promedio de Calidad de Enlace Optimizado a 16.30 Metros

Hora	Temperatura promedio (°C)	Condición climática	Calidad del enlace
6 am	25.12	Soleado	80
	23.46	Neblina	79
	22.8	Lluvia	75
8 am	26.18	Soleado	81
	24.62	Neblina	78
	23.72	Lluvia	75
10 am	27.22	Soleado	82
	25.16	Neblina	77
	24.18	Lluvia	74
12 pm	29.14	Soleado	82
	27.42	Neblina	78
	26.64	Lluvia	75
2 pm	31.48	Soleado	83
	28.64	Neblina	79
	27.58	Lluvia	77
4 pm	30.02	Soleado	81
	27.92	Neblina	80
	26.62	Lluvia	74
6 pm	27.56	Soleado	79
	25.82	Neblina	76
	24.77	Lluvia	75

Nota. Autoría propia.

Tabla 12*Promedio de Calidad de Enlace Optimizado a 40.87 Metros*

Hora	Temperatura promedio (°C)	Condición climática	Calidad del enlace
6 am	24.6	Soleado	70
	23.08	Neblina	66
	22.2	Lluvia	62
8 am	25.62	Soleado	70
	24.4	Neblina	67
	23.62	Lluvia	65
10 am	26.66	Soleado	71
	25.02	Neblina	66
	24.03	Lluvia	64
12 pm	28.94	Soleado	73
	27.22	Neblina	70
	25.9	Lluvia	67
2 pm	31.26	Soleado	74
	28.6	Neblina	71
	27.14	Lluvia	67
4 pm	30.04	Soleado	70
	28.08	Neblina	68
	26.62	Lluvia	65
6 pm	26.4	Soleado	68
	25.1	Neblina	66
	24.62	Lluvia	64

Nota. Autoría propia.

Tabla 13*Promedio de Calidad de Enlace Optimizado a 61.67 Metros*

Hora	Temperatura promedio (°C)	Condición climática	Calidad del enlace
6 am	24.52	Soleado	53
	23.6	Neblina	50
	22.54	Lluvia	49
8 am	26.22	Soleado	53
	24.84	Neblina	51
	23.86	Lluvia	49
10 am	27.14	Soleado	54
	25.62	Neblina	52
	24.64	Lluvia	49
12 pm	30.14	Soleado	55
	28.14	Neblina	53
	26.88	Lluvia	50
2 pm	31.98	Soleado	54
	29.52	Neblina	52
	27.78	Lluvia	50
4 pm	30.72	Soleado	53
	28.82	Neblina	52
	27.42	Lluvia	49
6 pm	27.14	Soleado	52
	25.7	Neblina	49
	25.12	Lluvia	47

Nota. Autoría propia.***Prueba de Interferencia***

En esta prueba se quiere validar la tasa de error del prototipo. Esta es también conocida como PER, packet error rate, que básicamente es la diferencia entre el total de datos enviados y el total de datos recibidos. En el apéndice C. Código y software está la programación mínima de

esta prueba. Para esta prueba, de igual forma que en la prueba anterior, se usaron los puntos estratégicos escogidos (véase las figuras 30, 31, 32) para en ellos realizar el envío de 100 datos y se registraron en las tablas 28, 29 y 30 del apéndice A. Datos y mediciones de los sensores, los datos de hora y día, temperatura ambiente, si fue enviado, si fue recibido para con ello generar los respectivos promedios de tasa de efectividad de envío y la tasa de error promedio por cada punto estratégico como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14

Promedio de Tasa de Error

Distancia (metros)	Tasa de efectividad (%)	Tasa de error (%)
16,30	97	3
40,87	89	11
61,67	83	17

Nota. Autoría propia.

Para esta segunda parte de la prueba de interferencia se quiere, igual que la primera validar la tasa de error de prototipo, pero esta vez con “obstáculos”, se pondrá el carro frente a la casa, es decir tendremos el prototipo receptor dentro de la casa y el carro entre el receptor y el transmisor como lo muestra la Figura 35, esta ubicación del carro no es normal pero no se tiene otra clase de obstáculos naturales pues los árboles están en otra dirección, ni tampoco obstáculos artificiales pues no hay señal celular para generar algún tipo de interferencia.

Figura 35*Obstáculos*

Nota. Autoría propia.

Se usarán los puntos estratégicos escogidos de la prueba anterior, se hará el envío de 100 datos en tres condiciones climáticas distintas soleado, nublado y lluvioso, los resultados se registraron en las tablas 31, 32 y 33, donde se registró hora y el día, temperatura ambiente, si fue enviado, si fue recibido. Estas tablas están en el apéndice A. Datos y mediciones de los sensores, para con ello generar los respectivos promedios de error y efectividad y así crear la Tabla 15.

Tabla 15*Promedio de Tasa de Error con Obstáculos*

Distancia (metros)	Tasa de efectividad (%)	Tasa de error (%)
16,30	94	6
40,87	87	13
61,67	79	21

Nota. Autoría propia.

Prueba de Consumo de Energía y Nivel de Batería

En esta prueba se determinará el consumo promedio del prototipo transmisor. Esta prueba se hará con una similar programación de Arduino en las pruebas de alcance y cobertura, con un envío de datos cada minuto, cada 15 minutos y cada media hora. Para esto se conectará una batería nueva al prototipo transmisor cada vez que se cambie el intervalo entre envío de datos y cada hora media hora se registrará el valor de la batería en las tablas 34, 35 y 36 del apéndice A. Datos y mediciones de los sensores, se registra la fecha y hora de la toma, el intervalo de tiempo y voltaje de la batería. La Tabla 16 es el consumo promedio por intervalo de tiempo. La programación del Arduino de esta prueba se encuentra en el apéndice C. Código y software.

Tabla 16

Consumo Promedio por Intervalo de Tiempo

Intervalo de envío	Voltaje Inicial	Consumo promedio (V/h)
Cada minuto	9.62	0.606
Cada 15 minutos	9.51	0.451
Cada 30 minutos	9.34	0.27

Nota. Autoría propia.

Prueba de Latencia y Velocidad de Transmisión

La latencia es “el retraso en la comunicación de la red. Muestra el tiempo que tardan los datos en transferirse a través de la red. Las redes con un mayor retraso o retardo tienen una latencia alta, mientras que las que tienen tiempos de respuesta rápidos tienen una baja” (Amazon, 2023) y la velocidad es “el número de bits transmitidos a través de un canal o por un componente por unidad de tiempo” (Zachariah, 2021).

En estas pruebas se requiere medir estas variables de latencia y velocidad para determinar si el prototipo cumple las necesidades del envío de datos en tiempo real con la mayor efectividad posible. Para determinarlo como efectivo debe tener una latencia baja y una velocidad de transmisión alta. En la primera prueba de latencia se ubicará el receptor en la casa, se enviarán 100 datos y se variará la distancia del transmisor respecto al receptor, con lo cual se utilizarán los puntos estratégicos seleccionados en las pruebas de prueba de alcance y cobertura (véanse las figuras 32, 33 y 34). En el transmisor se envía la fecha y hora de salida de cada dato y para en el receptor mostrar la hora de recepción de cada dato además de mostrar el dato recibido que es la hora de envío.

Para capturar la velocidad de transmisión de los datos se hace con el parámetro GetDataRate. Los datos totales de la prueba están en las tablas 37, 38 y 39 del apéndice A. Datos y mediciones de los sensores, donde se registró la fecha, la temperatura ambiente, hora de envío, hora de recepción, latencia y velocidad y el promedio de estos datos se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Latencia y Velocidad

Distancia (metros)	Temperatura ambiente (°C)	Latencia (milisegundos)	Velocidad (Kbps)
16.30	29.59	360	246.24
40.87	29.63	520	237.09
61.67	29.72	1170	230.16

Nota. Autoría propia.

Optimización Prueba de Latencia y Velocidad de Transmisión

La prueba anterior se realizó con la configuración por defecto que posee el dispositivo de radio frecuencia para la velocidad de salida que es 250 Kbps. Para esta optimización se configura el dispositivo para tener la mayor velocidad de envío posible que es 2 Mbps, esto se hace con la configuración del parámetro DATARATE, que es el parámetro de velocidad de salida, para este existen 3 opciones de configuración que son RF24250KBPS = 250Kbps (configuración por defecto que se puede validar con el comando GetDataRate además con esta también capturamos el valor de la velocidad de transmisión), RF24-1MBPS = 1Mbps, RF24-MBPS = 2Mbps (Maniac, 2021), por lo cual se usará RF24-MBPS. El código del transmisor y del receptor de esta optimización se encuentra en el apéndice C. Código y software.

Los datos fueron registrados en las tablas 40, 41 y 42 del apéndice A. Datos y mediciones de los sensores, y en la Tabla 18 se encuentra el promedio de dichos registros en cada uno de los puntos seleccionados.

Tabla 18

Latencia y Velocidad Optimizados

Distancia (metros)	Temperatura ambiente (°C)	Latencia (milisegundos)	Velocidad (Mbps)
16.30	29.59	290	1.976
40.87	29.63	470	1.918
61.67	29.72	1150	1,807

Nota. Autoría propia.

Prueba de Resistencia a Condiciones Adversas

Resistir a condiciones adversas es de vital importancia para este prototipo ya que más del 90% del funcionamiento de este se hará a la intemperie y bajo distintas condiciones climáticas lo que hace necesario garantizar su adecuado funcionamiento en casi cualquier situación.

Para esta prueba se ubicará el transmisor en el punto estratégico número 1, 2 y 3 (véase la Figura 31, 32 y 33) y el receptor en la casa y se dejará funcionar bajo condiciones climáticas de calor y frío, para con ello validar su correcto funcionamiento bajo estas condiciones (entiéndase bajas temperaturas como aquellas mínimas obtenidas en el sitio de estudio, donde su punto mínimo es la madrugada – amanecer del día, y altas temperaturas como aquellas máximas obtenidas en el sitio de estudio, donde su punto máximo es cerca de medio día) . En las Tablas 45, 47, 49 apéndice A. Datos y mediciones de los sensores, se registrará la distancia, fecha y hora, temperatura promedio y calidad de enlace para condiciones de alta temperatura y en las tablas 46, 48, 50 apéndice A. Datos y mediciones de los sensores, se registrará la distancia, fecha y hora, temperatura promedio y calidad de enlace para condiciones de baja temperatura, para con esto generar la Tabla 19 donde se obtiene el promedio de calidad en las distintas condiciones climáticas. La programación de esta prueba es la misma de la prueba de alcance y cobertura.

Tabla 19*Condiciones Adversas*

Distancia (metros)	Temperatura promedio (°C)	Calidad de enlace
16.30m	31,82	77,02
	20,37	74,03
40.87m	31,82	66,69
	20,37	64,85
61.67m	31,82	53,66
	20,37	50,89

Nota. Autoría propia

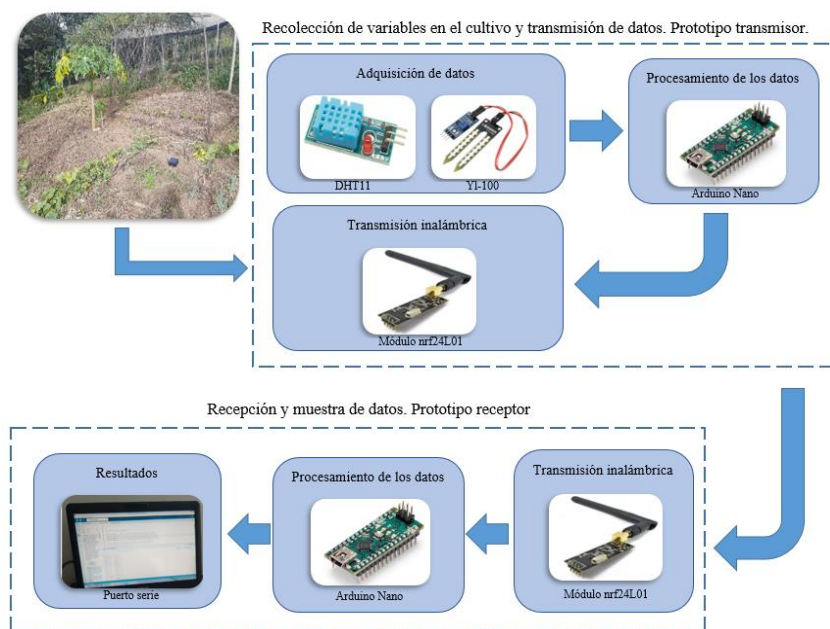
Resultados y discusión

Recogida y Análisis de Datos

El prototipo resultante consta de dos partes, un dispositivo transmisor y un dispositivo receptor. El dispositivo transmisor que realiza el envío de los datos captados por los sensores de las variables propuestas en este proyecto: humedad en el suelo, la cual se mide con el sensor YI-100; humedad y temperatura del aire las cuales se miden con el sensor DHT11, estos dos sensores están conectados a un Arduino y al módulo de radio frecuencia Nrf24. Y un dispositivo receptor compuesto por un módulo de radio frecuencia Nrf24 conectado a Arduino y al computador para mostrar los datos recibidos desde el dispositivo transmisor. Este prototipo, como dice (Ossa Duquea, 2017) permite visualizar los datos en tiempo real, todo esto representado en la Figura 36.

Figura 36

Estructura Final del Prototipo



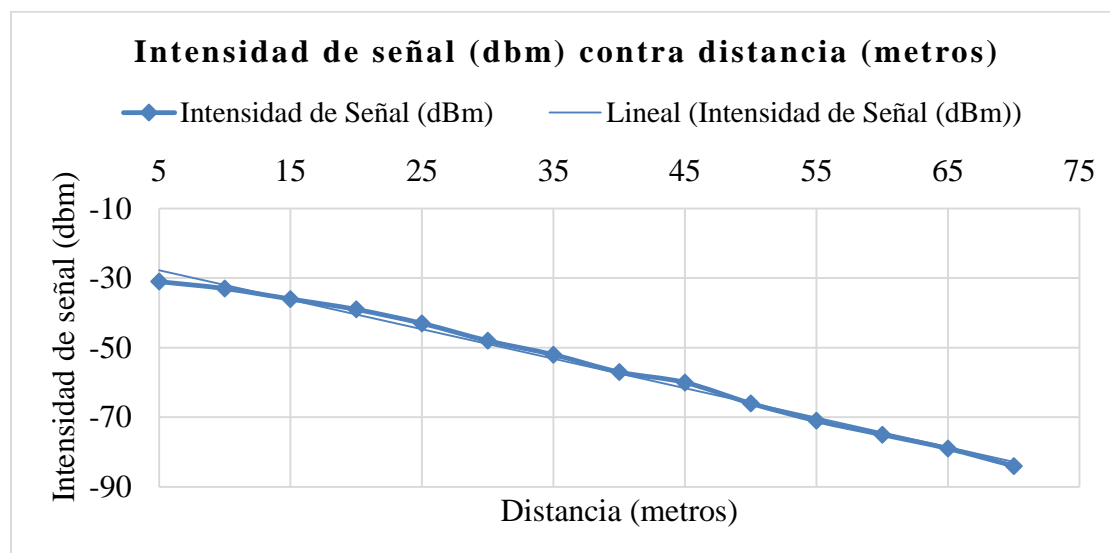
Nota. Autoría propia

Para entender de una mejor forma los resultados obtenidos de las pruebas, en la Figura 36 se muestra el esquema final del prototipo el cual se basa en la Figura 3, y las conexiones y los elementos usados están descritos en el capítulo 4. Implementación, Configuración de hardware y software.

En la primera prueba, denominada prueba de alcance y cobertura se pretendía determinar la distancia ideal donde el prototipo funciona de forma adecuada, esto se hace validando la intensidad de señal en distintas distancias (véase prueba de alcance y cobertura). La Figura 37 muestra la intensidad de señal contra la distancia con los datos de la Tabla 6, allí se representa el promedio de intensidad de señal en ciertos puntos ya mencionados al momento de realizar la prueba, acá se muestra que a mayor distancia hay una menor intensidad de señal, es una relación directamente proporcional.

Figura 37

Promedio de Intensidad de Señal de la Prueba 1.1



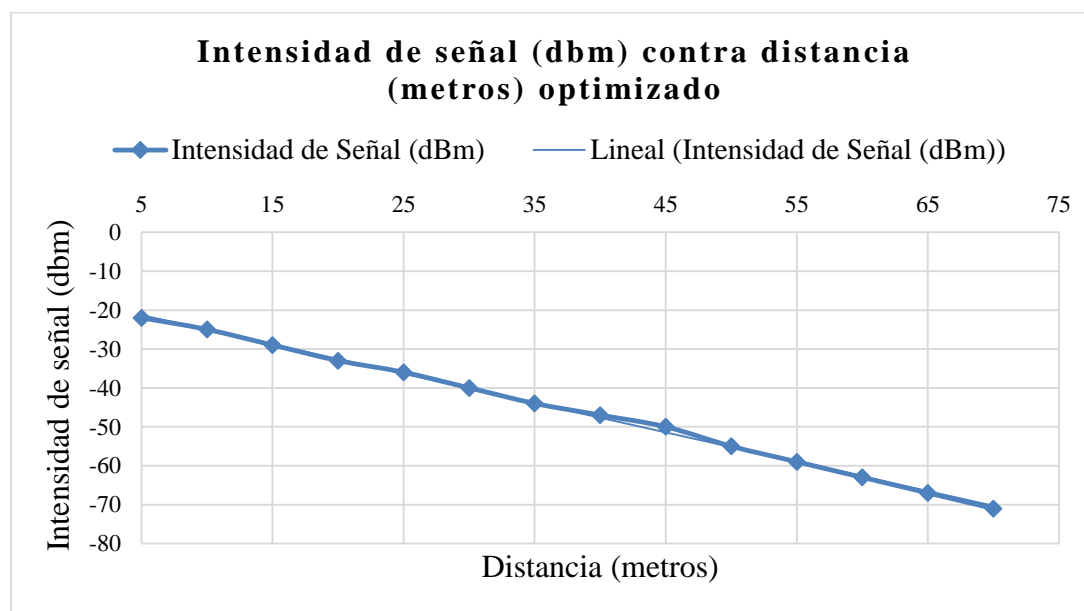
Nota. Autoría propia

Esto permite determinar la distancia óptima donde haya una intensidad de señal adecuada, donde lo ideal de esta es: 0 a -50 dBm (García , 2018), por lo tanto, para tener la intensidad de señal adecuada se debe estar a máximo 35 metros de distancia entre el receptor y el transmisor

En esta parte de la prueba se hizo una optimización para ver con que configuración el prototipo puede mejorar la intensidad de señal (optimización explicada en la sección prueba de alcance y cobertura), los valores de esta prueba se muestran en la Tabla 7 y la Figura 38.

Figura 38

Promedio de Intensidad de Señal Optimizado de la Prueba 1.1



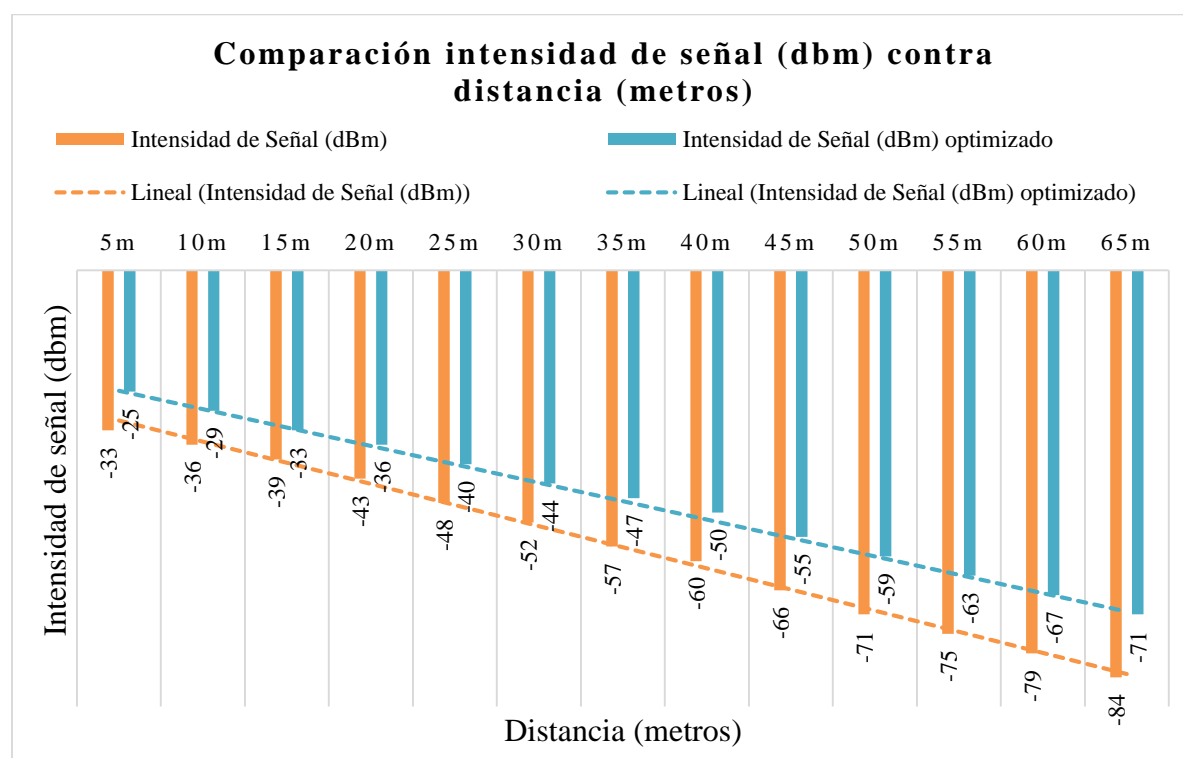
Nota. Autoría propia

Se puede ver que, el comportamiento de la Figura 38 es similar al de la Figura 37, pero al realizar esta optimización de la configuración, la distancia óptima para una intensidad de señal adecuada ahora es de 45 metros de distancia entre el transmisor y el receptor, es decir se mejora 10 metros de distancia. Para entender esto de una mejor forma se genera la Figura 39, que es la

comparativa de la Figura 37 y 38 para así mostrar de una forma visual la diferencia de la intensidad de señal con y sin optimización.

Figura 39

Comparación del Promedio de Intensidad de Señal de la Prueba 1.1



Nota. Autoría propia

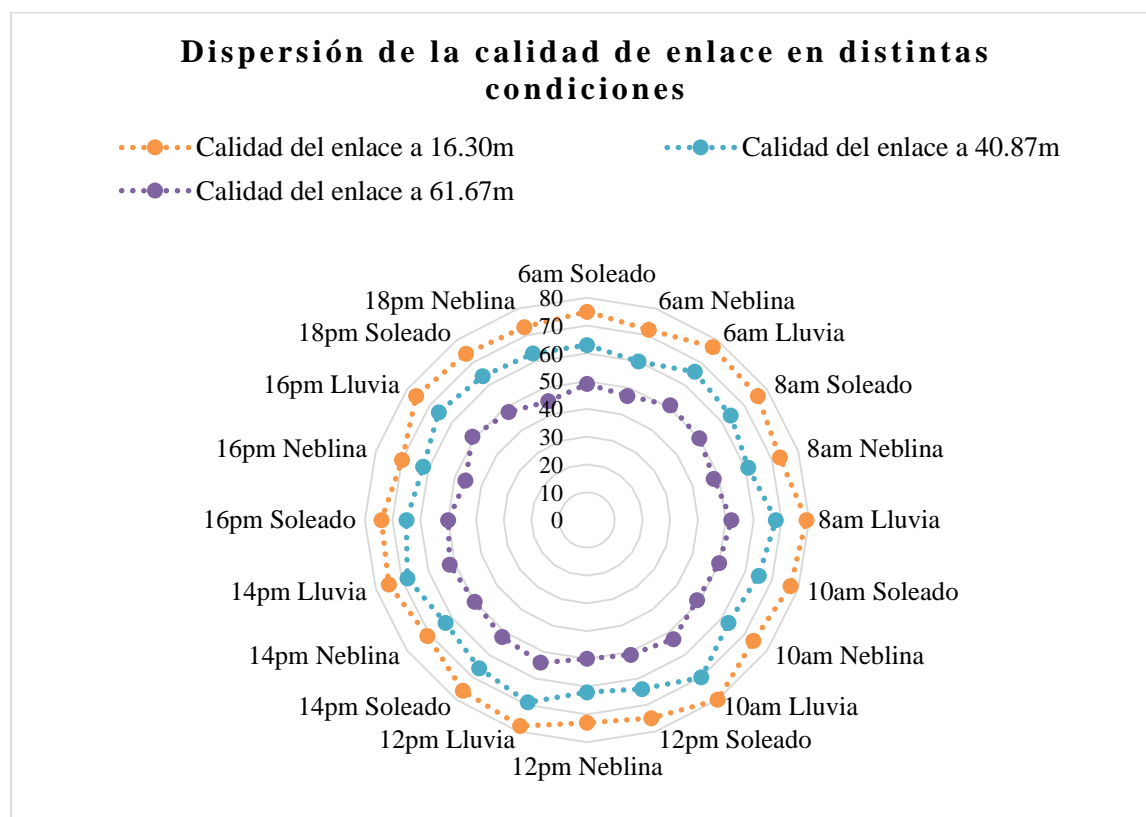
Como se muestra en la Figura 39 el color azul representa la intensidad de señal con configuración por defecto y el color azul representa la intensidad de señal optimizada y se puede. Es de notar que la optimización ayuda a mejorar la distancia ideal un 10% aproximadamente respecto a la programación sin la optimización.

En la segunda parte de la prueba de alcance y cobertura se pretendía determinar la distancia ideal donde el prototipo funciona de forma adecuada, esto se hace validando la calidad de enlace (esta es una medida adimensional) del prototipo en puntos estratégicos del cultivo véase la sección prueba de alcance y cobertura). En la Figura 40 se muestra la dispersión de la

calidad de enlace en los puntos estratégicos seleccionados (véase Figura 32, 33, 34). Esta figura fue creada a partir de las Tablas 8, 9 y 10.

Figura 40

Dispersión del Promedio de Calidad de Enlace de la Prueba 1.2



Nota. Autoría propia

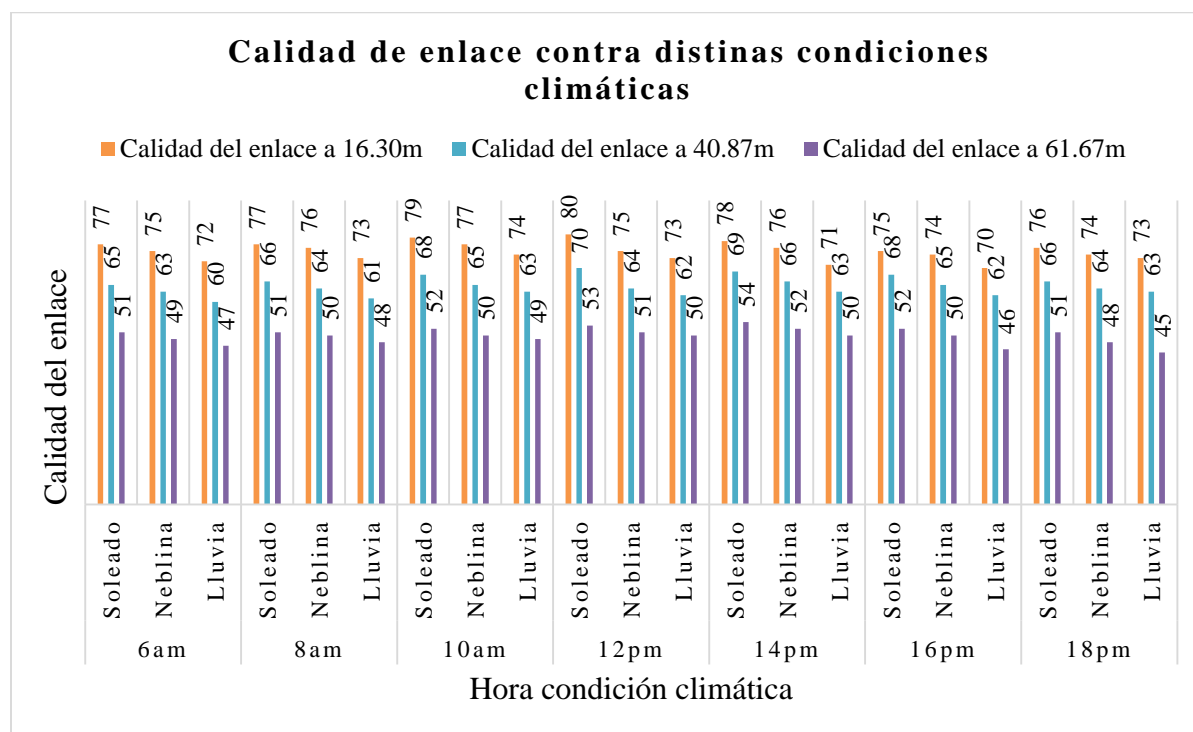
En la Figura 40 el color naranja muestra la distancia de 16,30 metros, el color azul la distancia de 40.87 metros, y el color morado la distancia de 61.67 metros; esto es importante hacerlo notar pues como muestra la figura, el color morado o a la distancia de 16.30 metros la calidad de enlace entre el prototipo emisor y receptor es mayor, con un promedio sobre 70 y se puede observar como esta calidad disminuye progresivamente a medida que la distancia aumenta. Respecto a la calidad de enlace lo ideal es tener valores sobre 50 y lo más cercano a

100. De esta figura se infiere que en distancias menores a 40 metros el prototipo diseñado cumple con una calidad de señal ideal.

Esta calidad de enlace se validó en distintas condiciones climáticas descartando cualquier tipo de variación debido a la variación de las mismas, esto para asegurar la calidad y funcionamiento del prototipo diseñado. Para entender mejor los valores obtenidos en esta prueba se crea la Figura 41 que muestra el promedio de calidad de enlace obtenido, a diferentes horas del día y en diferentes condiciones climáticas

Figura 41

Promedio de Calidad de Enlace de la Prueba 1.2



Nota. Autoría propia

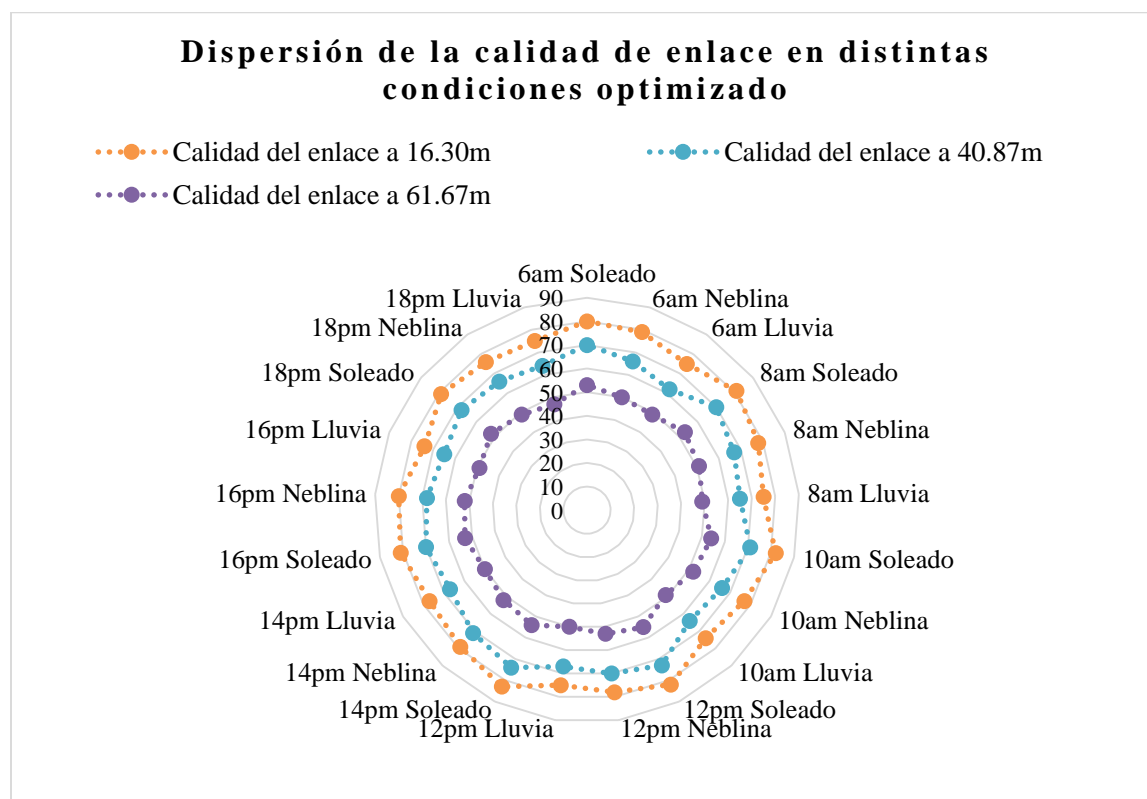
Si siguiendo la disposición de la figura 40, la Figura 41 indica el color naranja para la distancia de 16.30 metros, el color azul para la distancia de 40.87 metros y el color morado para la distancia de 61.67 metros, se menciona esto con el fin de ver, además que a mayor distancia la

calidad de enlace del prototipo diseñado disminuye, que la condición climática influye también en estos valores de calidad de enlace, pues un día soleado respecto a un día nublado puede disminuir la calidad de enlace hasta en 5 puntos.

De igual forma que la prueba anterior se realizó una optimización de la programación del módulo de radiofrecuencia para mejorar la calidad de señal en distancias mayores a 50 metros dando como resultado la Figura 42 (optimización explicada en la sección 4.3 prueba de alcance y cobertura), que fue creada de las tablas 11 12 y 13.

Figura 42

Dispersión del Promedio de Calidad de Enlace Optimizada de la Prueba 1.2



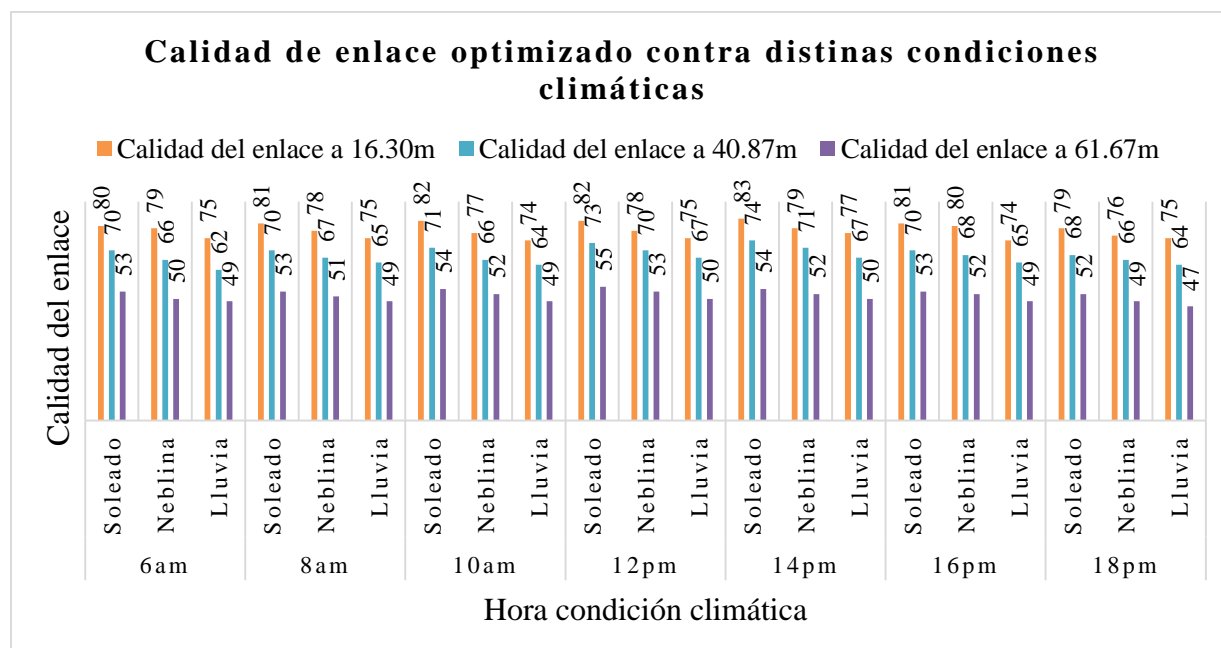
Nota. Autoría propia

La figura 42 indica el color naranja para la distancia de 16.30 metros, el color azul para la distancia de 40.87 metros y el color morado para la distancia de 61.67 metros, a diferencia de la

Figura 38, con la optimización aumenta la calidad de distancia un 10% más respecto a la distancia, esto se entiende con una mayor distancia para tener la calidad ideal (valores sobre 50). El color morado o a la distancia de 16.30 metros tiene una calidad de enlace entre el prototipo emisor y receptor mayor, con un promedio sobre 80 y se puede observar como esta calidad disminuye progresivamente a medida que la distancia aumenta, pero se obtienen valores superiores a no estar optimizado. Cabe mencionar que para validar esta optimización las pruebas se hicieron en condiciones similares a la prueba sin optimización, esto quiere decir, tomar este valor de calidad de enlace a diferentes horas del día y en distintas condiciones climáticas.

Figura 43

Promedio de Calidad de Enlace Optimizada de la Prueba 1.2



Nota. Autoría propia

En esta Figura 43 se muestra los promedios de calidad de enlace obtenido, a diferentes horas del día y en diferentes condiciones climáticas esto con el fin de observar de mejor forma que a mayor distancia la calidad de enlace disminuye y que con una condición de lluvia el valor

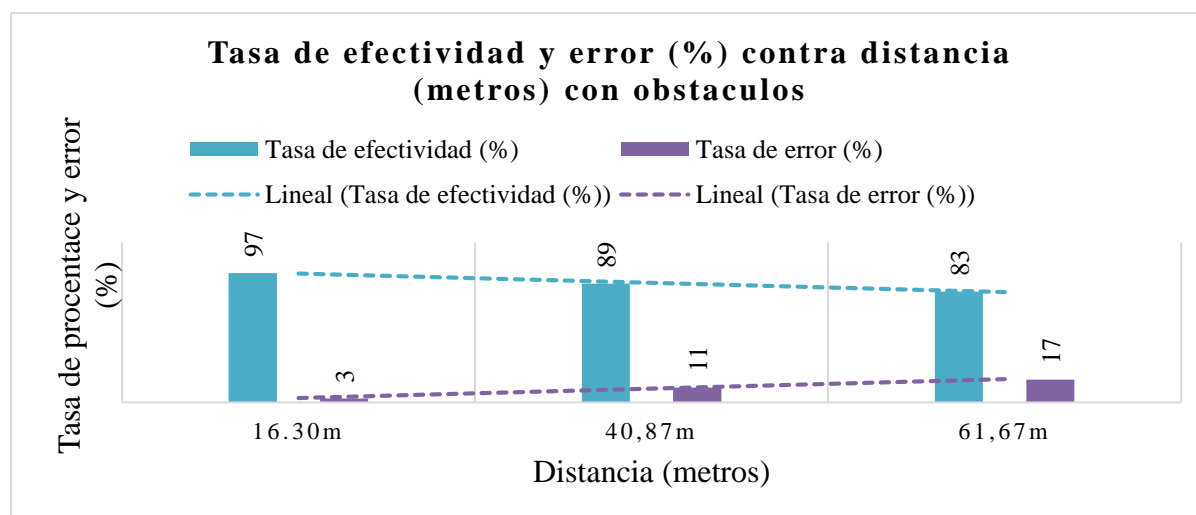
disminuye aún más, pero comparado con la prueba previa que no tiene optimización mejora ya que a la distancia de 61 metros el promedio de calidad de enlace está en 55 y anteriormente estaba por debajo de 50, de igual forma hay un aumento para las distancias menores a 60 metros.

De esta primera prueba de alcance y cobertura se puede concluir que el prototipo cumple con las condiciones adecuadas de calidad de enlace e intensidad de señal a distancias máximas de 50 metros y con las respectivas optimizaciones sube a distancias de 65 metros máximos.

En la segunda prueba, denominada prueba de interferencia se pretendía determinar si los obstáculos presentes entre el dispositivo receptor y transmisor interfieren en el envío y la recepción de datos, esto se hace validando la cantidad de paquetes enviados y recibidos (véase la sección prueba de interferencia). La Figura 44 muestra la tasa de efectividad y error en los puntos estratégicos, esta es la representación de la Tabla 14 esta muestra que a mayor distancia entre el transmisor y el receptor menor será la tasa de efectividad y una mayor tasa de error. La primera es una relación inversamente proporcional y la segunda directamente proporcional.

Figura 44

Promedio de Tasa de Efectividad y Error sin Obstáculos de la Prueba 2



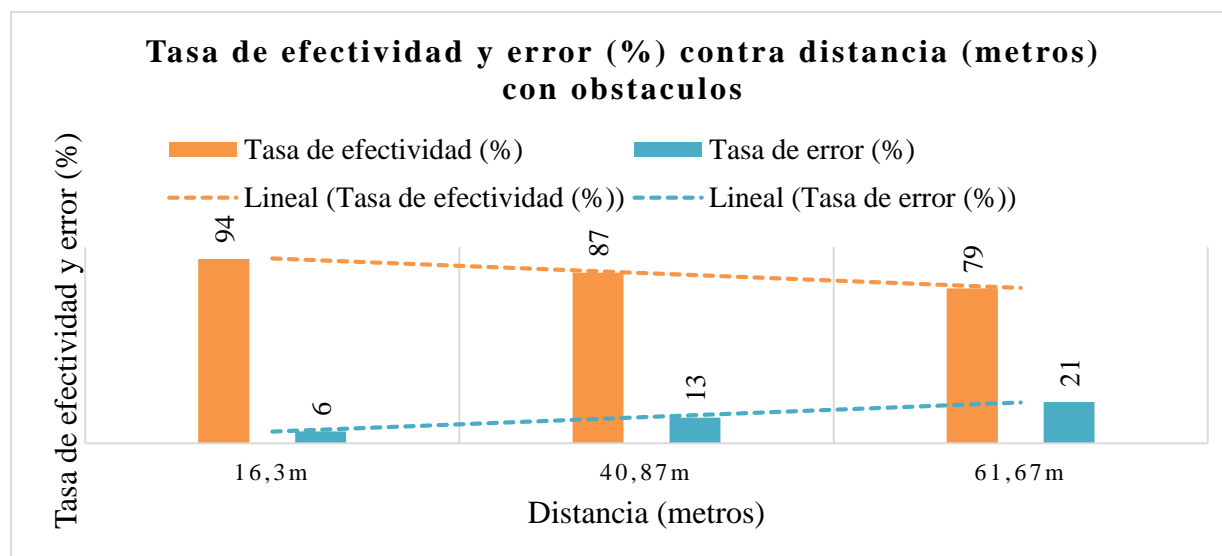
Nota. Autoría propia

En la Figura 44 se observa como la efectividad pasa de 97% a 16,30 metros a 83% en 61,67 metros, de forma inversa la tasa de error, a 16 metros está en 3% y a 61 metros pasa al 17%. Se considera óptimo no superar el 15% de error, ya que, al pensar en las condiciones finales del prototipo al ser la humedad y temperatura ambiente no cambiantes radicalmente se puede permitir este valor elevado

La Figura 45 muestra la tasa de efectividad y error en los puntos estratégicos con obstáculos puestos voluntariamente (véase la sección prueba de interferencia), datos tomados de la Tabla 15.

Figura 45

Promedio de Tasa de Efectividad y Error con Obstáculos de la Prueba 2



Nota. Autoría propia

la Figura 45 muestra la tasa de efectividad con obstáculos y se puede apreciar como esta disminuye, pasa de 94% a 16,30 metros a 79% en 61,67 metros; de forma inversa la tasa de error, a 16,30 metros está en 6% y a 61,67 metros pasa al 21%. Se considera óptimo no superar el 15%. Esto quiere decir que en el punto más cercano entre el transmisor y el receptor se pasa de 97%

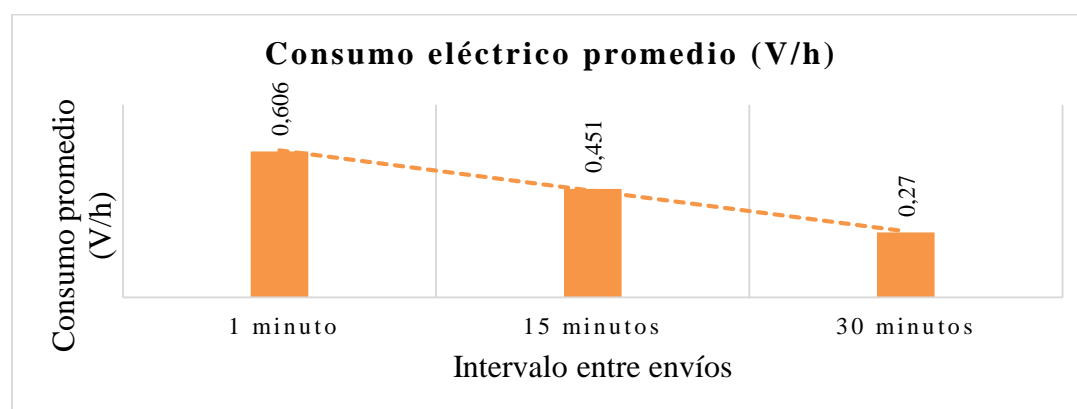
sin obstáculos a 94% sin obstáculos, similar comportamiento para la tasa de error de un 3% a 16 metros se pasa a 6% esto quiere decir un aumento del 3% promedio. De esto se puede inferir que el a mayor distancia la tasa de error aumenta y la tasa de efectividad disminuye y este fenómeno sigue la misma lógica cuando hay obstáculos entre el transmisor y el receptor, es decir a mayor distancia, pero con obstáculos la tasa de error será mucho mayor comparada con la distancia sin obstáculos.

La conclusión de esta prueba para el caso del sitio de trabajo no habrá obstáculos constantes salvo trabajadores ya que el terreno impide la llegada de carros (véase la Figura 35), esto da un aproximado de distancia optima de 60 metros entre el transmisor y el receptor.

En la tercera prueba, denominada prueba de consumo de energía y nivel de batería, se pretendía determinar el consumo promedio del prototipo; esto con el fin de evaluar y determinar la batería adecuada o el sistema de alimentación adecuado para darle la autonomía necesaria, esto se hace tomando los valores de la batería con el prototipo funcionando (véase la sección prueba de consumo de energía y nivel de batería).

Figura 46

Consumo del Prototipo de la Prueba 3



Nota. Autoría propia

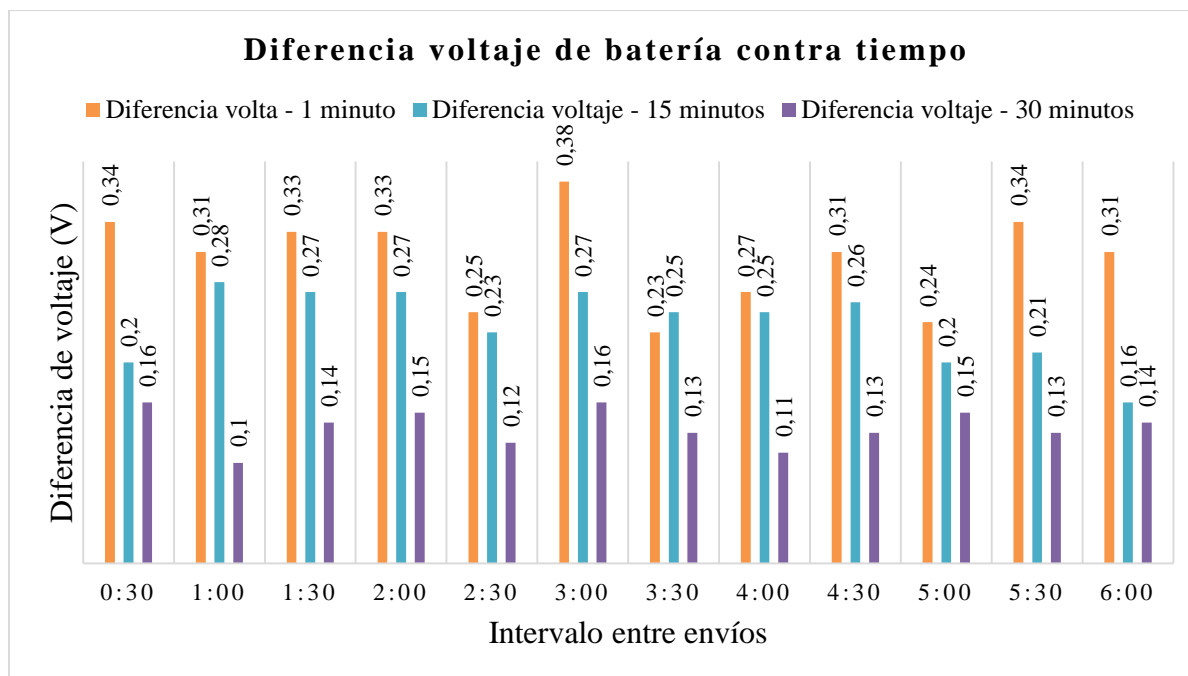
Los datos de la Tabla 16, se grafican en la Figura 46 donde se muestra el promedio del consumo eléctrico según la configuración establecida, es decir en diferentes tiempos de envíos entre los datos del transmisor, esta configuración dictamina o aumenta el uso del prototipo porque realiza más envíos en menor tiempo, esta prueba se hace en intervalos de envío de uno, quince y treinta minutos.

El aumento del uso del prototipo (mayor envío de datos en menor tiempo) aumenta el consumo eléctrico. Los valores de humedad y temperatura ambiente y humedad de suelo no cambian rápidamente, por esto se puede dejar un envío de la variable cada 30 minutos lo que da un promedio de consumo eléctrico de 0.27 v/h, por lo que una batería de 9 voltios tendría una duración aproximada de 33 horas continuas de vida útil.

la Figura 47 muestra la reducción del voltaje de la batería que a su vez es el consumo del prototipo, donde el color naranja representa intervalos de envíos de 1 minuto; el color azul, intervalos de envío de 15 minutos; y, el color morado, intervalos de envío de 30 minutos. Similar a la figura anterior, el consumo de batería aumenta en consideración al uso del prototipo.

Figura 47

Diferencia de Voltaje Contra Tiempo del Prototipo de la Prueba 3

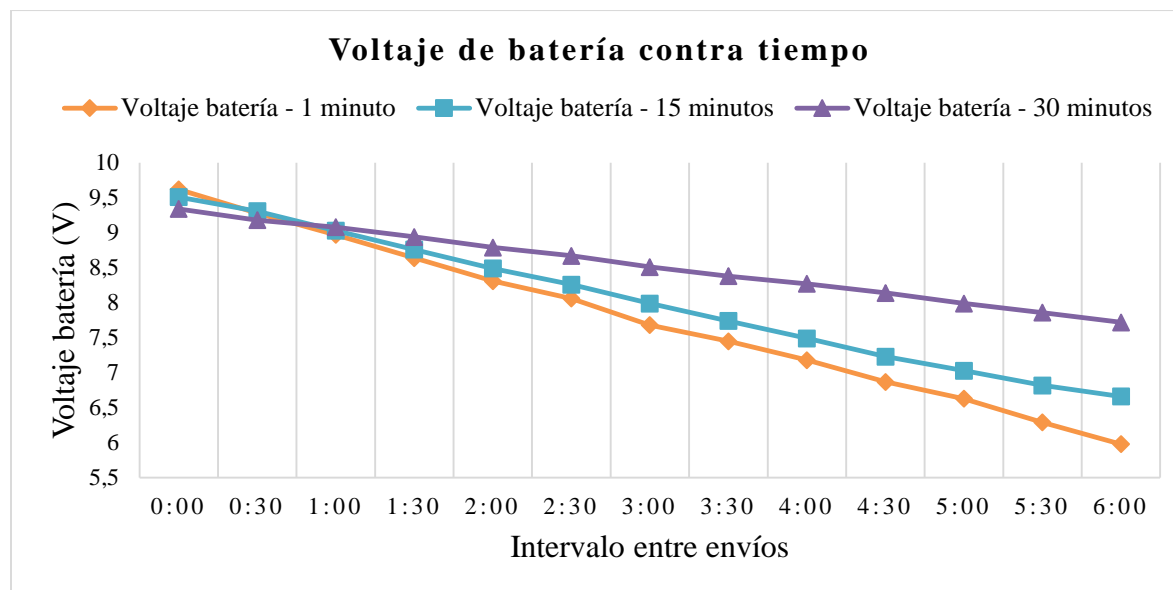


Nota. Autoría propia

En la Figura 48 se muestra la diferencia de voltaje por intervalo de tiempo (cada 30 minutos) se puede observar como en el intervalo de envío de un minuto, el voltaje de la batería se reduce más que entre los demás intervalos de tiempo, lo que evidencia una relación directamente proporcional entre mayor sea el uso del prototipo mayor será su consumo eléctrico.

Figura 48

Voltaje Contra Tiempo del Prototipo de la Prueba 3

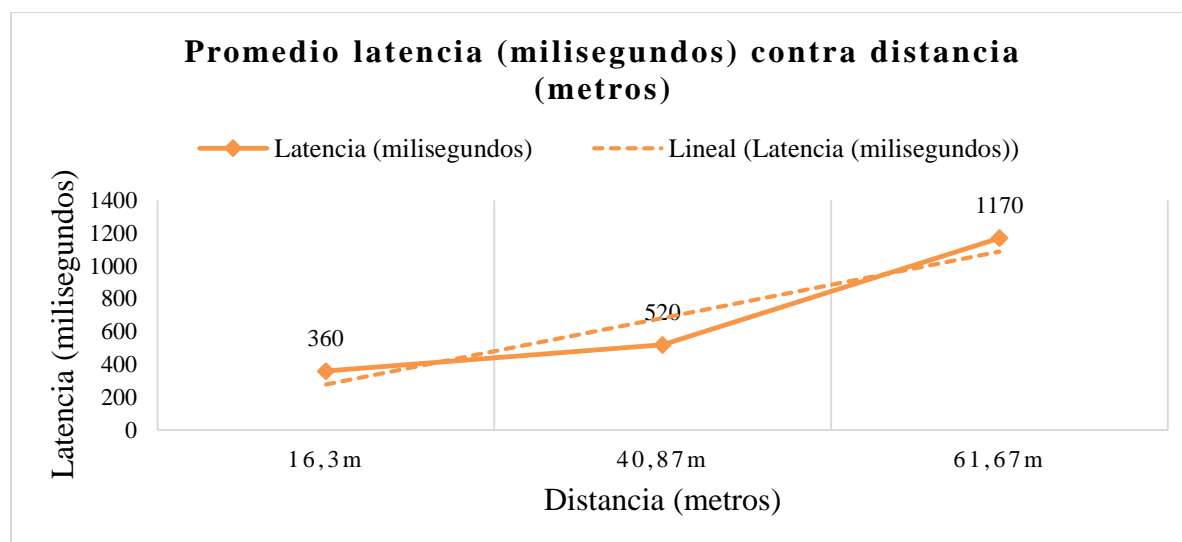


Nota. Autoría propia

La cuarta prueba, denominada prueba de latencia y velocidad de transmisión, pretende determinar la distancia ideal donde el prototipo tiene una latencia baja y una velocidad de transmisión óptima (para la configuración véase la sección prueba de latencia y velocidad de transmisión), es decir que funcione de forma adecuada, esto se hace validando la latencia del prototipo en los puntos estratégicos seleccionados anteriormente (véase la Figura 32, 33 y 34). La Figura 49 muestra la latencia contra la distancia y la Figura 50 muestra la velocidad de transmisión contra la distancia, es decir, es la representación de la Tabla 18.

Figura 49

Promedio de Latencia Contra Tiempo de la Prueba 4.1

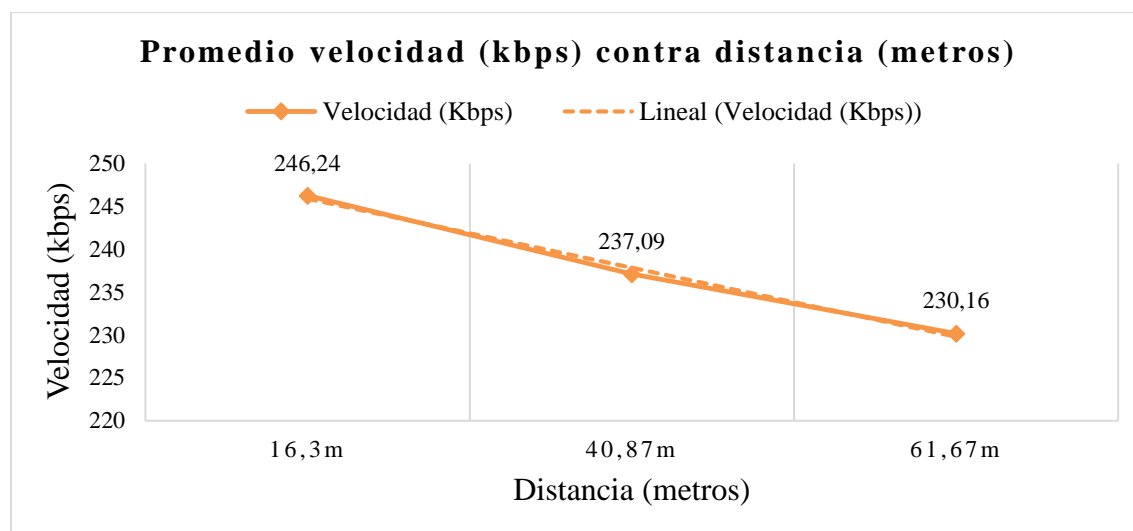


Nota. Autoría propia

En la Figura 49 se observa como la latencia aumenta a medida que aumenta la distancia en una relación directa. Lo ideal de este valor, es estar por debajo de un segundo, lo que significa que en distancias menores a 60 metros se puede tener un prototipo confiable y con baja latencia. Ahora, para la velocidad de recepción se puede observar como a mayor distancia esta disminuye, como lo muestra la Figura 50, ésta es inversamente proporcional. Para la velocidad de transmisión, siempre se busca que sea lo más rápida posible, por lo que entre más cerca esté el transmisor del receptor será lo mejor.

Figura 50

Promedio de Velocidad de Transmisión Contra Tiempo de la Prueba 4.1

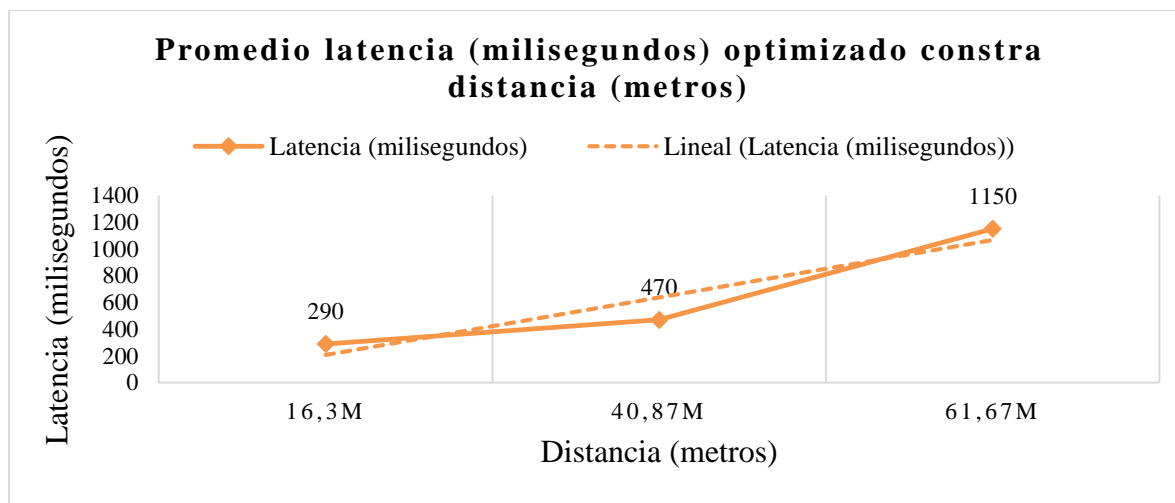


Nota. Autoría propia

En esta parte de la prueba se hizo una optimización para ver con que configuración el prototipo puede mejorar la latencia y velocidad de recepción (optimización explicada en la sección prueba de latencia y velocidad), los valores de esta prueba se toman de la Tabla 19 y se grafican en la Figura 51.

Figura 51

Promedio de Latencia Optimizada Contra Tiempo de la Prueba 4.2

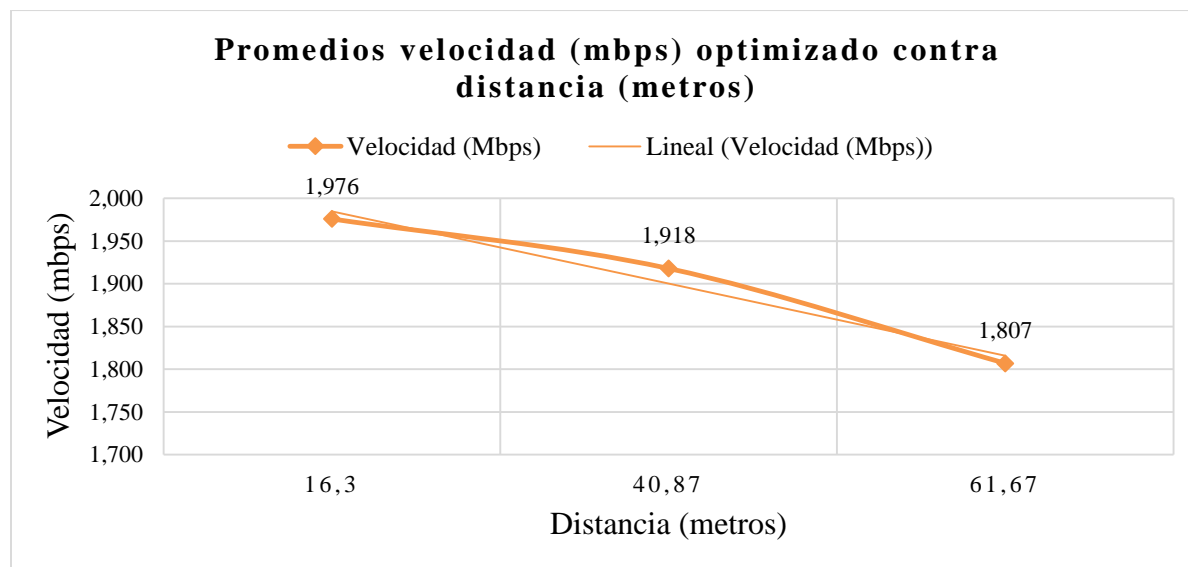


Nota. Autoría propia

La comparación de la Figura 49 y la Figura 51 evidencia como a mayor distancia la latencia aumenta, y con la optimización mejora un 5%. Respecto a la velocidad, la configuración establecida da una mejora notable, se pasa de tener un promedio de 250 kbps a tener 2000 kbps lo que significa un aumento de ocho veces el valor inicial al realizar la optimización.

Figura 52

Promedio de Velocidad Contra Tiempo de la Prueba 4.2



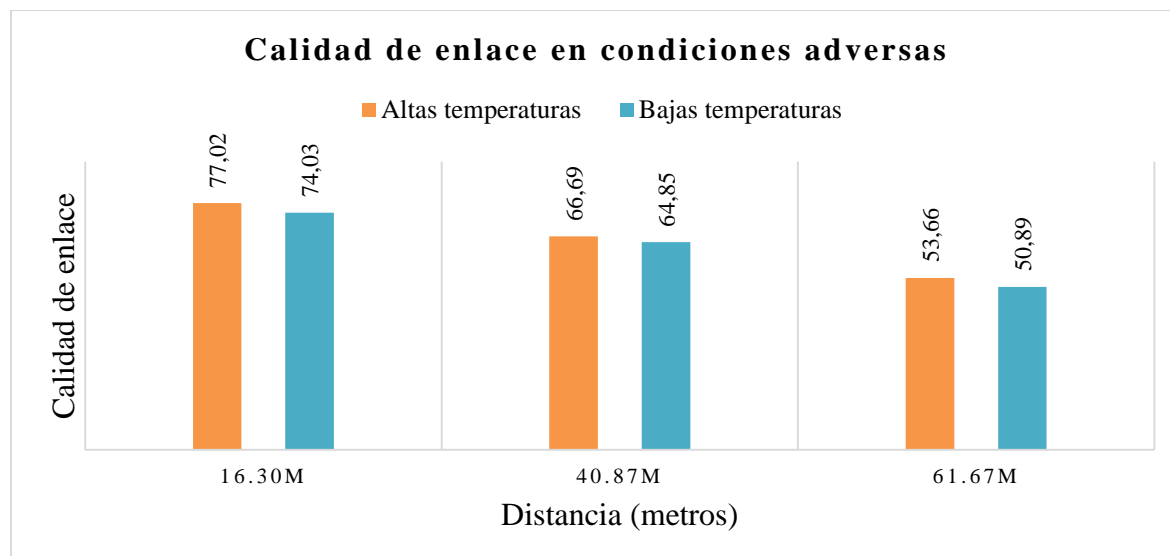
Nota. Autoría propia

La mejora en la velocidad de recepción se puede ver en la Figura 52, donde se observan valores mayores a 1800 Kbps en distancias de 60 metros. En conclusión, de esta prueba se puede decir que el dispositivo tiene una latencia aceptable pues no supera los dos segundos en distancias menores a 60 metros y frente a la velocidad se puede decir que esta es estable frente al valor de velocidad programado en el dispositivos radiofrecuencia pues cuando se hizo la optimización a 2Mb las velocidades registradas solo disminuyeron un 10%, es decir bajaron a 1,8Mb a distancias de 60 metros.

En la quinta prueba, denominada prueba de resistencia a condiciones adversas, se pretendía determinar la confiabilidad y correcto funcionamiento del prototipo en condiciones de altas y bajas temperaturas, esto se hace midiendo la calidad de enlace en la conexión entre el transmisor y el receptor (véase la sección prueba de resistencia a condiciones adversas) esperando no superar el 5% de diferencia entre las medidas.

Figura 53

Calidad de Enlace Respecto a la Distancia para la Prueba 5



Nota. Autoría propia

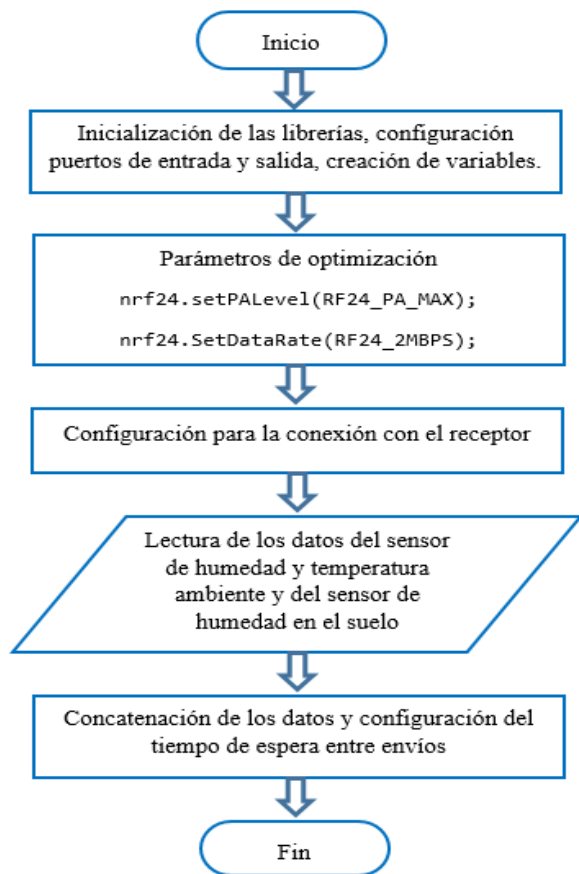
En la Figura 53, se observa que para la distancia de 16.30 metros en altas temperaturas la calidad de enlace es de 77.02 y en bajas temperaturas es de 74.03; y, de esta misma forma es el comportamiento en las demás distancias, de acá se puede inferir que la diferencia de medida de calidad de enlace no supera los tres puntos, y que como se ha mostrado en las pruebas anteriores, la calidad de enlace disminuye a mayor distancia entre el receptor y el transmisor. Esto da los valores esperados y posiciona al prototipo desarrollado en una alternativa eficiente prácticamente en cualquier condición.

Programación

A partir de los resultados obtenidos se genera la mejor programación para Arduino, esto con el fin de sacar el mayor provecho a las distintas configuraciones que posee el NRF24f. La imagen 54 muestra el diagrama de flujo de la programación del Arduino para el prototipo transmisor.

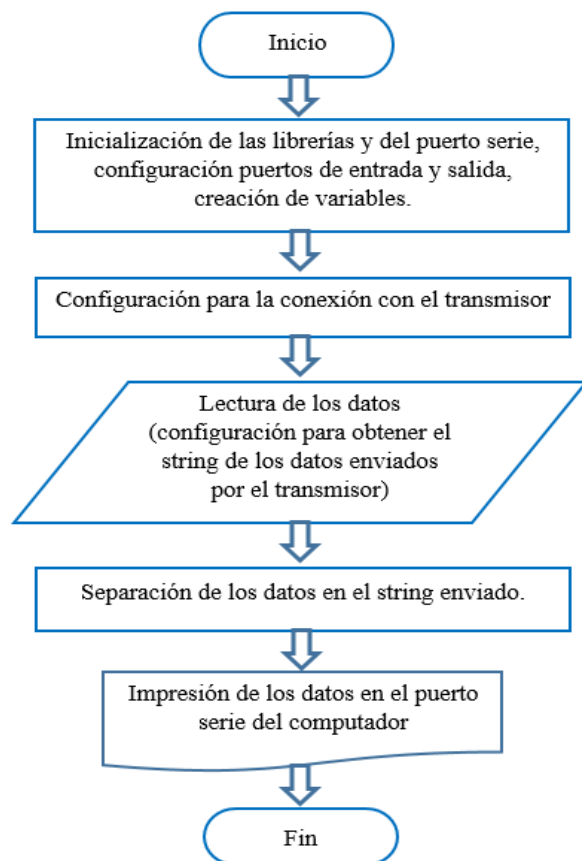
Figura 54

Diagrama de Flujo -Transmisor



Nota. Autoría propia

La imagen 55 muestra el diagrama de flujo de la programación del Arduino para el prototipo receptor.

Figura 55*Diagrama de Flujo - Receptor*

Nota. Autoría propia

Estas figuras 54 y 55 muestran el orden de las distintas partes del código del prototipo final, como se puede observar en cada una de las imágenes se nota una parte llamada “Parámetros de optimización” esta parte es la optimización mencionada realizadas en las pruebas. Para ver el código completo véase apéndice C. Código y software, prototipo final.

Evaluación del Rendimiento del Sistema

Según (Cohen-Manrique, Burbano-Bustos, Salgado-Ordosgoitia, & Merlano-Porto, 2020) la implementación de sistemas tecnológicos para el monitoreo y control resultan ser óptimos

como herramientas agroindustriales en regiones con alto impacto rural, es por esto que usando tecnología disponible en el mercado se construyó el prototipo transmisor y receptor objetos de este trabajo, éste provee a quien lo usa de mejores alternativas para la gestión de cultivos y así optimizar los gastos de agua en los mismos.

Similar a lo desarrollado por (Romero Amondaray, Piña Figueredo, & Goire Castilla, 2018), el prototipo cuenta con un transmisor y un receptor, donde lo primordial de este tipo de diseño es que “la tecnología inalámbrica debe ser de bajo costo, bajo consumo, fácil instalación y mantenimiento” además de tener una fiabilidad aceptable, es por este motivo que se realizaron las pruebas de la sección 4.3.

En la prueba de lectura de sensores, se obtuvo que la tasa de error para el sensor de humedad y temperatura ambiente fue de menos del 2%, comparado con dos sensores especializados para la toma de estas variables.

En consideración a los resultados de las pruebas de alcance y cobertura, se puede concluir, que el prototipo funciona con una intensidad de señal óptima en distancia máxima de 35 metros, pero con la optimización realizada al código se pudo otorgar otros 10 metros, es decir, lograr un funcionamiento óptimo a distancia máxima de 45 metros a 50 metros. Respecto a la calidad de señal, las pruebas arrojaron una distancia óptima de 50 metros, y se puede lograr hasta 60 metros con optimización al código para aprovechar mejor las características del módulo radio frecuencia.

Para la prueba de interferencia, el porcentaje de error es el doble cuando se encuentra un obstáculo entre el transmisor y el receptor, ya que pasa de 3% sin obstáculos a 6% con obstáculos. Acá es importante mencionar que en el sitio de desarrollo del prototipo no es común contar con objetos que puedan generar interferencia pues las condiciones del terreno no lo

permiten, lo que si puede suceder es que los trabajadores del campo se interpongan entre la visual de los prototipos, pero no es mayor inconveniente ya que no son objetos fijos.

Para la prueba de consumo de energía y nivel de batería, el prototipo transmisor con intervalos de envío entre datos de un minuto consume 0.6 v/h; con intervalos de envío de 15 minutos consume 0.45 v/h; y con intervalos de envío de 30 minutos consume 0.27 v/h.

En la prueba de latencia y velocidad de transmisión, la latencia aumenta a mayor distancia y la velocidad disminuye a mayor distancia.

Para la prueba de condiciones adversas se obtuvo que la calidad de enlace en días húmedos es menor de tres puntos frente a un día soleado y que el prototipo puede ser usado en forma confiable bajo cualquier condición climática.

El prototipo creado otorga un amplio margen de uso en condiciones donde no hay señal celular ni internet y donde el bluetooth no es una opción debido a su corto rango de cobertura, pues otorga distancias de funcionamiento adecuado de 35 metros entre el transmisor y el receptor y con optimización de distancias hasta de 50 metros.

Además de la fiabilidad en el envío de datos ese prototipo ayuda a reducir los tiempos de respuesta y efectividad en el cultivo, ya que a mayor vigilancia y validación de las variables del mismo se puede aplicar con mayor rapidez el riego lo cual aumenta la productividad. El dispositivo de radio frecuencia usado para este prototipo, como dice (Rodríguez Sotelo, López Londoño, Vega Botero, & Flórez Hurtado, 2017) tiene una gran versatilidad y una amplia gama de posibilidades en el desarrollo de aplicaciones desde el monitoreo de cámaras de vigilancia, hasta el control de los hogares como la domótica y la automatización de las industrias.

Retos y Limitaciones

El principal reto al desarrollar este prototipo fue encontrar documentación e información sobre este tipo de tecnologías de envío y recepción de datos, pues la mayor parte del tema de sistema de comunicación y envío de datos se hace con mensajes de texto o a través de internet.

Una de las limitaciones más importante de este proyecto, es la alimentación para el dispositivo transmisor, ya que se usa una batería no recargable que su vida útil es reducida e incluso el uso de una batería recargable debería ser descartado pensando en la autonomía del sistema. Considerar otra fuente de alimentación como un sistema de energía solar con su respectiva batería recargable sería una mejora muy valiosa para este prototipo.

En lo referente al prototipo en si mismo, una limitación es el alcance máximo optimo de funcionamiento que es de 50 metros, si se quiere superar esta distancia sería recomendable usar otro tipo de dispositivo radio frecuencia con más potencia y cobertura. Otra limitación es la disposición de sensores. En este prototipo se usaron tres sensores de humedad en el suelo ya que el terreno así lo requería por las disposiciones del mismo, si este prototipo debe recopilar información en parcelas de cultivo más grandes o en otras disposiciones se deben hacer los calculos y validar la disposición de los sensores para las condiciones del nuevo terreno ya que se pueden requerir más o menos sensores y atado a esto está el consumo de batería, ya que al tener más sensores el consumo eléctrico será mayor.

Otra limitación es la cantidad de datos recibidos y perdidos ya que si el terreno de ubicación del prototipo tiene árboles, edificaciones u otra clase de señales, la cantidad de datos recibidos se puede ver disminuida por estos factores. Para este caso habría que hacer el respectivo cálculo de perdida y validar si con otra configuración posible el dispositivo funciona mejor, pues como se puede ver en las pruebas de interferencia el incremento puede ser del doble

de pérdidas, pasar de recibir 97 de 100 datos a recibir 94 de 100 datos en distancias menores a 20 metros.

Resumen de Resultados

Las pruebas de alcance y cobertura muestran que el prototipo funciona con una intensidad de señal óptima en distancias máximas de 35 metros, pero con la optimización realizada al código se pudo otorgar otros 10 metros, es decir a distancias máximas de 45 metros. Respecto a la calidad de señal las pruebas arrojaron el valor de 50 metros y de 60 metros con optimización al código para aprovechar mejor las características del módulo radio frecuencia.

Para la prueba de interferencia, sin objetos que generen interferencia entre el receptor y el transmisor hay una tasa de error de 3% en distancias menores a 20 metros, de 11% en distancias menores a 40 metros y de 17% en distancias menores a 60 metros. Cuando hay objetos que pueden generar interferencia entre el transmisor y el receptor esta media se duplica, ya que para distancias menores a 20 metros la tasa de error es de 6%, de 13% para distancias menores a 40 metros y de 21% para distancias menores a 60 metros.

Para la prueba de consumo de energía y nivel de batería, el prototipo transmisor final (véase Figura 21) con tiempos de envío de datos de 1 minuto consume 0.6 v/h, con tiempos de envío de 15 minutos entre envíos consume 0.45 v/h, con tiempos de envío de 30 minutos entre envíos consume 0.27 v/h.

En la prueba de latencia y velocidad de transmisión, la latencia aumenta a mayor distancia, es decir, a 16 metros la latencia es de 360 milisegundos, a 40 metros es de 520 milisegundos y a 62 metros es de 1170 milisegundos. Respecto a la velocidad es lo contrario, a la distancia de 16 metros es de 246 kilobytes por segundo, a 40 metros es de 237 kilobytes por segundo y a 62 metros es de 230 kilobytes por segundo. A esta prueba se le hizo la respectiva optimización del código, para lo cual se pudo disminuir la latencia y aumentar la velocidad, ya que a distancias de 16 metros la latencia con la optimización fue de 290 milisegundos, a 40

metros fue de 470 y a 62 metros fue de 1150 milisegundos. Respecto a la velocidad a 16 metros fue de 1.97 Megabytes por segundo, a 40 metros fue de 1.91 Megabytes por segundo y a 62 metros fue de 1.8 megabytes por segundo.

En la prueba de lectura de sensores se obtuvo que la tasa de error para el sensor de humedad y temperatura ambiente fue de menos del 2% comparados con dos sensores especializados para la toma de estas variables.

Para la prueba de condiciones adversas se obtuvo que la calidad de enlace en días húmedos es menor 3 puntos frente a un día soleado. Pues a 16 metros pasa de 77 a 74, a 40 metros de 66 a 64, a 62 metros pasa de 53 a 50.

Conclusiones

Los sensores usados poseen una fiable lectura de datos pues tiene un promedio de error del 2% comparado con sensores especializados usados para la medición de las mismas variables.

La distancia máxima adecuada para el funcionamiento del prototipo es de 35 metros entre el transmisor y el receptor en terrenos donde no haya obstáculos entre los dos puntos. Se realizó la optimización de la programación del prototipo donde se cambiaron algunos parámetros que trae por defecto el dispositivo y esto ayudó a mejorar la distancia máxima ideal pues pasa de 35 metros a 45 – 50 metros.

El prototipo tiene una latencia de 1,15 segundos con una velocidad de puede variar entre 2,5 Kbps a 2 Mbps. Además, cuenta con un promedio de error de 3% sin obstáculos de por medio entre receptor y transmisor y de 6% con algunos obstáculos de por medio en distancias menores a 60 metros.

Con un envío de los datos cada 30 minutos se obtiene un promedio de consumo eléctrico de 0.27 v/h, por lo tanto, una batería de 9 voltios tendría una duración aproximada de 33 horas continuas de vida útil, esto para el transmisor. La alimentación del receptor será por el computador ya que estará conectado a este para mostrar los datos recibidos por medio del puerto serie de Arduino.

El prototipo creado, gracias al recubrimiento que posee, soporta condiciones climáticas como lluvia y sol, lo que le posiciona a este prototipo como una alternativa fiable en las distintas condiciones climáticas.

Referencias Bibliográficas

- AbcAgro. (30 de 06 de 2021). *Todo sobre agricultura*. El cultivo de maíz:
<http://www.abcagro.com/herbaceos/cereales/maiz.asp>
- Alai Secure. (12 de 06 de 2021). *Glosario de términos*. GSM: ¿Qué es y para qué sirve?:
<https://alaisecure.co/glosario/gsm-que-es-y-para-que-sirve/>
- Amazon. (10 de 09 de 2023). *¿Qué es la latencia de red*. <https://aws.amazon.com/es/what-is/latency/>
- Amidata. (11 de 12 de 2020). *Módulos RF*. ¿Qué es un módulo de RF?: <https://es.rs-online.com/web/c/semiconductores/circuitos-integrados-de-comunicacion-y-modulos-inalambricos/modulos-rf/>
- Arduino. (23 de 07 de 2023). *Arduino Nano*. Arduino Nano: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano?selectedStore=us>
- Bollatti, P. (2020). *¿Cuál es la humedad mínima de suelo para iniciar la siembra de maíz de septiembre?* Juárez: Instituto nacional de tecnología agropecuaria.
- CatSensors. (30 de 03 de 2021). *LoRaWAN*. Obtenido de Tecnología LoRa y LoRaWAN:
<https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>
- Chaparro Mesa, J. E., Barrera Lombana, N., & León Socha, F. A. (2020). Módulo Terminal Remoto, para la adquisición de datos, monitoreo y control de procesos Agroindustriales - AgriculTIC. *Revista chilena de ingeniería*, 245-264.
- Cohen-Manrique, C., Burbano-Bustos, A., Salgado-Ordosgoitia, R., & Merlano-Porto, R. (2020). Control de riego en cultivos de ahuyama en Sincelejo, Sucre (Colombia) gestionados a través del Internet de las Cosas. *Información tecnológica*, 79-88.

Conejeros Molina, A., Hueichaqueo Pichunman, C., Martinez-Jimenez, B., & Placeres Remior,

A. (2021). Monitoreo de calidad del agua en sistema de agua potable rural. *RIELAC*, 60-70.

Del Valle Hernández, L. (13 de 09 de 2020). *Programa fácil*. Cómo utilizar el sensor DHT11 para medir la temperatura y humedad con Arduino:

<https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-dht11-temperatura-humedad-arduino/>

EFE. (09 de 08 de 2018). *Webs temáticas*. Chilenos crean un sistema de comunicación por radio ante un colapso en emergencias: <https://www.efe.com/efe/cono-sur/tecnologia/chilenos-crean-un-sistema-de-comunicacion-por-radio-ante-colapso-en-emergencias/50000765-3716087>

EMF Explained 2.0. (22 de 12 de 2019). *Explicación sobre redes móviles*. Visión general:

http://www.emfexplained.info/spa/?ID=25196#que_son_las_redes

Ferretrónica. (01 de 12 de 2021). *Modulo Sensor*. Modulo Sensor Humedad del suelo Resistente a Corrosion: https://ferretronica.com/products/modulo-sensor-humedad-del-suelo-resistente-a-corrosion?_pos=2&_sid=8c87a82b0&_ss=r

Ferretrónica. (12 de 06 de 2021). *Sensor de Humedad y Temperatura*. Sensor de Humedad y Temperatura HDC1080 GY-213V: https://ferretronica.com/products/sensor-de-humedad-y-temperatura-hdc1080-gy-213v?_pos=3&_sid=652a9d146&_ss=r

Ferretrónica. (22 de 01 de 2022). *KIT Módulos RF*. KIT Módulos RF Transmisor + Receptor 315 MHz: https://ferretronica.com/products/kit-modulos-rf-transmisor-receptor-315-mhz?_pos=3&_sid=2160126a5&_ss=r

Ferretrónica. (15 de 01 de 2022). *Módulo de Comunicación*. Módulo de Comunicación

Inalámbrica nRF24L01 + PA + LNA: https://ferretronica.com/products/modulo-de-comunicacion-inalambrica-nrf24l01-con-pa-y-lna?_pos=11&_sid=2160126a5&_ss=r

Ferretrónica. (23 de 01 de 2022). *Modulo Sensor*. Modulo Sensor de Humedad del suelo

Resistivo: https://ferretronica.com/products/modulo-sensor-de-humedad-del-suelo-resistivo-higrometro?_pos=3&_sid=8c87a82b0&_ss=r

Ferretrónica. (21 de 04 de 2022). *Modulo Sensor*. Modulo Sensor Humedad del suelo Capacitivo:

https://ferretronica.com/products/modulo-sensor-humedad-del-suelo-capacitivo-higrometro?_pos=1&_sid=8c87a82b0&_ss=r

Ferretrónica. (12 de 03 de 2022). *Sensor de Temperatura y Humedad*. Sensor de Temperatura y

Humedad DHT11: https://ferretronica.com/products/sensor-de-temperatura-y-humedad-dht11?_pos=2&_sid=652a9d146&_ss=r

Ferretrónica. (29 de 03 de 2022). *Sensor de Temperatura y Humedad*. Sensor de Temperatura y

Humedad DHT22: https://ferretronica.com/products/sensor-de-temperatura-y-humedad-dht22?_pos=1&_sid=652a9d146&_ss=r

Fireware Help. (14 de 07 de 2021). *Fuerza y Niveles de Ruido de la Señal Inalámbrica*.

https://www.watchguard.com/help/docs/fireware/12/es-419/Content/es-419/wireless/ap_wireless_signalstrength_c.html

Firtec. (03 de 10 de 2021). *Electrónica y programación para Microcontroladores*. Radio

NRF24L01: <https://www.firtec.com.ar/cms/10-notas-tecnicas/40-arduino>

Frackiewicz, M. (17 de 07 de 2023). *Módulo de radiofrecuencia (RFM)*. Exploración de las

aplicaciones y ventajas de los módulos de radiofrecuencia en la tecnología moderna:
<https://ts2.space/es/modulo-de-radiofrecuencia-rfm/>

Gagliardi, T. (2018). Análisis de la Comunicación de Radio Frecuencia con Módulos nRF24L01.

La Plata: Universidad Nacional de La Plata.

García , A. (10 de 01 de 2018). *Cómo conocer y entender la cobertura móvil.*

<https://www.adslzone.net/2018/01/10/entender-cobertura-movil-dbm/>

Google Maps. (12 de 09 de 2022). *Urbanización Santa Helena.*

[https://www.google.com/maps/place/Urbanizaci%C3%B3n+Santa+Helena/@6.5227834,](https://www.google.com/maps/place/Urbanizaci%C3%B3n+Santa+Helena/@6.5227834,-73.0908725,331m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x8e69c15472d9f399:0x133b1bfbf1934efc!8m2!3d6.523409!4d-73.090805!16s%2Fg%2F11v19wkvdd?hl=es&entry=ttu)

-

[73.0908725,331m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x8e69c15472d9f399:0x133b1bfbf1934efc!8m2!3d6.523409!4d-73.090805!16s%2Fg%2F11v19wkvdd?hl=es&entry=ttu](https://www.google.com/maps/place/Urbanizaci%C3%B3n+Santa+Helena/@6.5227834,-73.0908725,331m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x8e69c15472d9f399:0x133b1bfbf1934efc!8m2!3d6.523409!4d-73.090805!16s%2Fg%2F11v19wkvdd?hl=es&entry=ttu)

Gutierrez-Lopera, J. E., Toloza-Rangel, J. A., Soto-Vergel, Á. J., López-Bustamante, O. A., &

Guevara-Ibarra, D. (2021). Sistema integrado de monitoreo inalámbrico de variables agroambientales en un cultivo de tomate para la generación de mapas de intensidad.

Revista UIS Ingenierías, 163-180.

Hernán Alarcón, Á., Arias, G., & Díaz, C. (2018). Sistema de control automático de variables climáticas para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubiertas. *Ingeniería Solidaria*, 12-25.

Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F: McGRAW-HILL.

HUAWEI. (16 de 10 de 2021). *¿Cuál es el rango de alcance de la función Bluetooth y WIFI?*

<https://consumer.huawei.com/cl/support/content/es-us00411008/>

Hydro Environment. (01 de 09 de 2021). *Innovación agrícola en un click. ¿Qué es el riego?:*

https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=112

- LLamas, L. (19 de 01 de 2019). *Curso de Arduino en proyectos*. Medir la humedad del suelo con Arduino e higrómetro FC-28: <https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>
- Mamani, M., Villalobos, M., & Herrera, R. (2017). Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. *Revista chilena de ingeniería*, 599-618.
- Maniac. (16 de 05 de 2021). *Driver for nRF24L01(+) 2.4GHz Wireless Transceiver*.
<https://maniacbug.github.io/RF24/classRF24.html#aeb9920e7a95699748b003c4a839b08>
- 14
- Mata Solís, L. D. (21 de 05 de 2019). *El enfoque cuantitativo de investigación*. Investigación: <https://investigaliacr.com/investigacion/el-enfoque-cuantitativo-de-investigacion/#:~:text=Metodo%20%C3%B3gicamente%20el%20enfoque%20cuantitativo%20de,de%20recolecci%C3%B3n%20de%20datos%20estad%C3%ADsticos>.
- Merino, M., & Pérez, J. (12 de 05 de 2018). *Definiciones*. Definición de RadioFrecuencia: <https://definicion.de/radiofrecuencia/>
- Moya Quimbita, M. A. (2018). Evaluación de pasarela LoRa/LoRaWAN en entornos urbanos. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Muñoz, J., Sáez, Y., García, A., Chang, I., & Montes, H. (16 de 11 de 2017). *ESTEC Conference Proceedings*. Utilización de la Comunicación por Radiofrecuencia para la Detección de Vehículos en Movimiento: <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/1503/3572#info>
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. (01 de 20 de 2021). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Tierra y Suelos: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/land-and-soils/es/>

- Orozco, O., & Llano Ramírez, G. (2015). Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 83-102.
- Ossa Duquea, S. I. (2017). Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos. *Vector*, 51-60.
- Plagron. (22 de 01 de 2020). *Control de humedad para plantas que crecen en interiores*. Control de humedad:
<https://www.plagron.com/es/aficion/temas/humedad#:~:text=Las%20plantas%20crecen%20bien%20s%C3%B3lo,aparici%C3%B3n%20de%20moho%20y%20hongos.>
- Rodríguez Sotelo, J. L., López Londoño, A., Vega Botero, C. A., & Flórez Hurtado, D. (2017). Sistema de monitoreo y control remoto usando IOT para un regulador de presión. *Scientia et Technica Año XXII*, 122-130.
- Romero Amondaray, L., Piña Figueredo, F. M., & Goire Castilla, M. M. (2018). Red de sensores inalámbricos para las casas de cultivos protegidos “San José”. *Revista de ingeniería electrónica, Automática y comunicaciones.*, 16-26.
- Saavedra García, H. A., & Mendoza Vallecillo, E. (2021). Prototipo de un sistema inteligente de monitoreo de hidrante. *Tecnología en Marcha*, 17-22.
- Sáenz Esteban, R. (2018). *Estudio de los parámetros principales de la tecnología LoRa para el despliegue de redes e implementación de servicios IoT en la CAV-EAE*. San Sebastián: Universidad del país Vasco.
- Sánchez Escobar, S. (2016). Análisis de un sistema de comunicación inalámbrica en zona rural en el departamento de Caldas. Manizales: SENA Caldas.

Sigma. (12 de 08 de 2023). *Raspberry P Pico*. Raspberry P Pico:

<https://www.sigmaelectronica.net/producto/raspberry-pi-pico/>

Trinchet Varela, C., Trinchet Soler, R., Aleyda Chachón, R., & Giles Méndez, F. (18 de 12 de 2018). *La experimentación*. Paso final y determinante para validar el proceso de investigación científica en medicina:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352008001200013

Unversidad de Antioquia. (12 de 05 de 2020). *Innovación*. Agricultura de precisión:

https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/extension/portafoliotecnologico/articulos/Agricultura_de_precision

Yara. (18 de 01 de 2019). *Principios agronómicos*. Nutrición vegetal:

<https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/maiz/principios-agronomicos/#:~:text=La%20temperatura%20m%C3%ADnima%20para%20germinaci%C3%B3n,y%20en%20suelos%20m%C3%A1s%20pesados.>

Zachariah, P. (28 de 10 de 2021). *¿Cuál es la diferencia entre velocidad de transmisión de datos y ancho de banda?* <https://resources.altium.com/es/p/whats-difference-between-data-rate-and-bandwidth>

Apéndices

Apéndice A

Datos y Mediciones de los Sensores

Tabla 20

Resultados Intensidad de Señal

Distancia (metros)	Intensidad de Señal	Fecha y hora de la toma	Temperatura ambiente
5	31	9/10/2023 7:00	20°C
	33	9/10/2023 7:01	20°C
	30	9/10/2023 7:02	20°C
	32	9/10/2023 17:03	29°C
	29	9/10/2023 17:04	29°C
10	35	9/10/2023 7:10	20.5°C
	32	9/10/2023 7:11	20.5°C
	31	9/10/2023 7:12	20.5°C
	34	9/10/2023 17:13	29°C
	33	9/10/2023 17:14	29°C
15	36	9/10/2023 7:20	20.5°C
	37	9/10/2023 7:21	20.5°C
	37	9/10/2023 7:22	20.5°C
	35	9/10/2023 17:23	28°C
	36	9/10/2023 17:24	28°C
20	38	9/10/2023 7:30	21°C
	39	9/10/2023 7:31	21°C
	37	9/10/2023 7:32	21°C
	39	9/10/2023 17:33	28°C
	39	9/10/2023 17:34	28°C
25	44	9/10/2023 7:40	21°C
	45	9/10/2023 7:41	21°C
	41	9/10/2023 7:42	21°C
	42	9/10/2023 16:30	31°C

	43	9/10/2023 16:31	31°C
30	50	9/10/2023 7:50	21°C
	51	9/10/2023 7:51	21°C
	47	9/10/2023 7:52	21°C
	46	9/10/2023 16:40	31°C
	48	9/10/2023 16:41	31°C
35	50	9/10/2023 11:00	35°C
	53	9/10/2023 11:01	35°C
	51	9/10/2023 11:02	35°C
	54	9/10/2023 16:50	31°C
	52	9/10/2023 16:51	31°C
40	57	9/10/2023 10:10	34°C
	56	9/10/2023 10:11	34°C
	56	9/10/2023 10:12	34°C
	57	9/10/2023 16:00	30.5°C
	57	9/10/2023 16:01	30.5°C
45	62	9/10/2023 10:20	34°C
	58	9/10/2023 10:21	34°C
	60	9/10/2023 10:22	34°C
	61	9/10/2023 10:23	34°C
	60	9/10/2023 10:24	34°C
50	67	10/10/2023 10:30	34°C
	67	10/10/2023 10:31	34°C
	65	10/10/2023 10:32	34°C
	65	10/10/2023 10:33	34°C
	66	10/10/2023 10:34	34°C
55	70	9/10/2023 14:00	36°C
	72	9/10/2023 14:01	36°C
	72	9/10/2023 14:02	36°C
	70	9/10/2023 15:30	35°C
	71	9/10/2023 15:31	35°C
60	75	9/10/2023 14:10	36°C
	76	9/10/2023 14:11	36°C

	75	9/10/2023 14:12	36°C
	74	9/10/2023 15:40	35°C
	75	9/10/2023 15:41	35°C
65	80	9/10/2023 14:20	36°C
	78	9/10/2023 14:21	36°C
	79	9/10/2023 14:22	36°C
	79	9/10/2023 15:50	35°C
	79	9/10/2023 15:51	35°C
70	84	9/10/2023 14:30	35°C
	87	9/10/2023 14:31	35°C
	81	9/10/2023 14:32	35°C
	85	9/10/2023 14:33	35°C
	83	9/10/2023 14:34	35°C

Nota. Autoría propia

Tabla 21*Resultados Intensidad de Señal Optimizados*

Distancia (metros)	Intensidad de Señal	Fecha y hora de la toma	Temperatura ambiente.
5	24	10/10/2023 7:00	18°C
	23	10/10/2023 7:01	18°C
	21	10/10/2023 7:02	18°C
	22	10/10/2023 17:03	27°C
	20	10/10/2023 17:04	27°C
10	25	10/10/2023 7:10	18°C
	27	10/10/2023 7:11	18°C
	23	10/10/2023 7:12	18°C
	25	10/10/2023 17:13	27°C
	25	10/10/2023 17:14	27°C
15	30	10/10/2023 7:20	18.5°C
	28	10/10/2023 7:21	18.5°C
	29	10/10/2023 7:22	18.5°C
	28	10/10/2023 17:23	27°C
	30	10/10/2023 17:24	27°C
20	32	10/10/2023 7:30	19°C
	34	10/10/2023 7:31	19°C
	35	10/10/2023 7:32	19°C
	33	10/10/2023 17:33	27°C
	31	10/10/2023 17:34	27°C
25	36	10/10/2023 7:40	19°C
	37	10/10/2023 7:41	19°C
	35	10/10/2023 7:42	19°C
	36	10/10/2023 16:30	30°C
	36	10/10/2023 16:31	30°C
30	39	10/10/2023 7:50	19°C
	40	10/10/2023 7:51	19°C
	41	10/10/2023 7:52	20°C

	42	10/10/2023 16:40	31°C
	38	10/10/2023 16:41	31°C
35	44	10/10/2023 11:00	35°C
	44	10/10/2023 11:01	35°C
	45	10/10/2023 11:02	35°C
	43	10/10/2023 16:50	30°C
	44	10/10/2023 16:51	30°C
40	47	10/10/2023 10:10	33°C
	49	10/10/2023 10:11	33°C
	45	10/10/2023 10:12	33°C
	47	10/10/2023 16:00	29°C
	47	10/10/2023 16:01	29°C
45	49	10/10/2023 10:20	32°C
	49	10/10/2023 10:21	32°C
	50	10/10/2023 10:22	32°C
	51	10/10/2023 10:23	32°C
	51	10/10/2023 10:24	32°C
50	53	10/10/2023 10:30	33°C
	55	10/10/2023 10:31	33°C
	57	10/10/2023 10:32	33°C
	56	10/10/2023 10:33	33°C
	54	10/10/2023 10:34	33°C
55	58	10/10/2023 14:00	34°C
	59	10/10/2023 14:01	34°C
	60	10/10/2023 14:02	34°C
	59	10/10/2023 15:30	35°C
	59	10/10/2023 15:31	35°C
60	65	10/10/2023 14:10	34°C
	63	10/10/2023 14:11	34°C
	61	10/10/2023 14:12	34°C
	64	10/10/2023 15:40	35°C
	62	10/10/2023 15:41	35°C
65	67	10/10/2023 14:20	34°C

	69	10/10/2023 14:21	34°C
	68	10/10/2023 14:22	34°C
	65	10/10/2023 15:50	35°C
	66	10/10/2023 15:51	35°C
70	72	10/10/2023 14:30	34°C
	71	10/10/2023 14:31	34°C
	71	10/10/2023 14:32	34°C
	70	10/10/2023 14:33	34°C
	71	10/10/2023 14:34	34°C

Nota. Autoría propia

Tabla 22*Resultados Calidad de Enlace a 16.30 Metros*

Hora	Condición climática	Temperatura ambiente (°C)	Calidad del enlace
6:00 a. m.	Soleado	25,1	77
		24,9	78
		25,2	75
		24,6	76
		25,1	79
	Neblina	23,7	76
		23,4	75
		23,6	75
		23,5	74
		23,4	75
	Lluvia	22,9	70
		23	73
		22,7	72
		22,5	74
22,9		71	
8:00 a. m.	Soleado	26,2	78
		26	79
		25,8	79
		26,2	77
		25,9	77
	Neblina	24,9	75
		24	76
		24,1	77
		24,5	76
		24,8	76
	Lluvia	24	75
		23,7	74
		23,4	73

		23,1	71
		23,3	72
10:00 a. m.	Soleado	27,1	79
		27	81
		26,7	79
		27,1	79
		27	77
	Neblina	25,1	76
		24,9	77
		25,3	77
		25	78
		25,2	77
	Lluvia	23,9	76
		24	75
		24,1	74
		23,8	72
		24,2	73
12:00 p. m.	Soleado	28,6	80
		28,5	81
		27,8	79
		29	80
		28,5	80
	Neblina	27,1	75
		26,9	76
		27,3	77
		27,1	73
		27	74
	Lluvia	26,2	71
		26,5	73
		26,3	73
		26,1	75
		26,6	73
2:00 p. m.	Soleado	30,6	78

		31	77
		30,9	79
		31,4	77
		31,6	79
	Neblina	28,9	77
		28,5	76
		28,4	75
		28,4	77
		28,5	75
	Lluvia	27,5	71
		27,3	72
		27	70
		27,4	71
		27,2	71
4:00 p. m.	Soleado	30,4	75
		29,7	77
		29,6	74
		30,1	76
		30,2	73
	Neblina	28,1	75
		27,7	76
		27,9	74
		28,2	72
		27,9	73
	Lluvia	26,4	70
		26,4	71
		26,8	70
		26,5	69
		26,2	70
6:00 p. m.	Soleado	26,5	76
		26,8	74
		26,9	78
		27	76

	27,1	76
Neblina	24,8	74
	25,6	75
	25,7	74
	25,9	73
	26,2	74
Lluvia	25,1	75
	24,6	73
	24,5	74
	24,9	72
	25	71

Nota. Autoría propia

Tabla 23*Resultados Calidad de Enlace a 40.87 Metros*

Hora	Condición climática	Temperatura ambiente (°C)	Calidad del enlace
6:00 a. m.	Soleado	25,1	65
		24,9	66
		24,2	64
		24,6	64
		24,1	66
	Neblina	22,7	63
		23,4	61
		23,6	62
		22,5	62
		23,4	61
	Lluvia	21,9	61
		22	59
		22,7	58
		22,5	62
		22,9	60
8:00 a. m.	Soleado	26,2	66
		25	68
		25,8	66
		26,6	66
		25,9	64
	Neblina	24,9	63
		25	65
		24,1	64
		24,5	65
		24,8	63
	Lluvia	24	60
		23,7	59
		23,4	60
		23,1	59

		24,3	61
10:00 a. m.	Soleado	26,1	68
		27	70
		26,7	67
		27,4	66
		27	69
	Neblina	25,1	63
		25,7	65
		25,3	65
		25	67
		25,2	65
	Lluvia	23,6	63
		24	62
		24,1	63
		24,8	63
24,2		64	
12:00 p. m.	Soleado	29,6	70
		29,5	72
		27,8	69
		29	68
		29,5	71
	Neblina	27,1	66
		27,9	64
		27,3	64
		27,1	64
		27,6	62
	Lluvia	26,2	63
		25,5	61
		26,3	60
		25,5	62
26,6		64	
2:00 p. m.	Soleado	31,6	69
		31	68

		31,9	70
		31,4	68
		31,6	70
	Neblina	28,9	67
		28,5	65
		28,9	67
		29,4	66
		28,1	65
	Lluvia	27,5	63
		27,3	60
		27	63
		27,4	66
		27,2	63
4:00 p. m.	Soleado	31,4	68
		29,7	69
		29,6	67
		30,7	69
		30,2	67
	Neblina	28,1	64
		28,7	66
		27,9	63
		28,2	67
		28,4	65
	Lluvia	26,4	61
		27,1	60
		26,5	63
		27,3	64
		26,2	62
6:00 p. m.	Soleado	25,4	66
		26,7	64
		26,9	68
		26,9	65
		27,2	67

Neblina	23,8	64
	25,6	63
	25,7	64
	24,9	65
	26,2	64
Lluvia	25,6	64
	24,6	63
	24,1	62
	24,9	63
	24,5	63

Nota. Autoría propia

Tabla 24*Resultados Calidad de Enlace a 61.67 Metros*

Hora	Condición climática	Temperatura ambiente (°C)	Calidad del enlace
6:00 a. m.	Soleado	25,1	51
		24,9	52
		24,2	50
		24,2	52
		24,8	50
	Neblina	23,7	49
		23,4	50
		23,6	51
		23,8	48
		23,4	47
	Lluvia	22,9	46
		22,4	48
		22,7	47
		22,5	46
		22,5	48
8:00 a. m.	Soleado	26,2	51
		26	52
		25,8	51
		26,6	50
		25,9	51
	Neblina	24,9	51
		25,4	49
		24,1	51
		24,5	49
		24,8	50
	Lluvia	24,5	50
		23,7	46
		23,4	48
		23,6	48

		24,3	48
10:00 a. m.	Soleado	26,1	52
		27	51
		26,7	52
		27,4	53
		28	52
	Neblina	25,6	51
		25,7	49
		25,3	50
		25,8	49
		25,2	51
	Lluvia	24,4	49
		24,9	50
		24,1	49
		24,8	50
		24,2	49
12:00 p. m.	Soleado	30,6	53
		29,5	51
		29,8	55
		29,8	55
		30,5	51
	Neblina	28,1	52
		27,9	50
		27,3	51
		28,7	52
		27,6	50
	Lluvia	27,2	51
		25,5	47
		26,3	50
		27,5	53
		26,6	49
2:00 p. m.	Soleado	31,6	54
		31,9	54

		32,5	55
		31,4	53
		32,6	54
	Neblina	29,9	53
		29,5	52
		28,9	53
		29,4	51
		29,1	51
	Lluvia	27,9	50
		28,3	52
		27,9	49
		27,4	51
		27,2	48
4:00 p. m.	Soleado	32,4	52
		29,7	53
		30,1	52
		30,7	51
		30,3	52
	Neblina	29,4	51
		28,7	50
		28,9	49
		28,2	51
		28,4	49
	Lluvia	27,4	47
		27,1	46
		27,7	46
		27,3	46
		26,2	45
6:00 p. m.	Soleado	27,4	51
		26,7	52
		26,9	52
		26,9	50
		27,2	51

Neblina	24,8	50
	25,6	46
	25,7	50
	25,9	46
	26,2	48
Lluvia	25,6	45
	24,6	44
	25,5	45
	24,9	45
	24,5	46

Nota. Autoría propia

Tabla 25*Resultados Calidad de Enlace a 16.30 Metros Optimizado*

Hora	Condición climática	Temperatura ambiente (°C)	Calidad del enlace
6:00 a. m.	Soleado	25,6	83
		24,9	80
		25,1	79
		24,6	81
		25,4	78
	Neblina	23,6	80
		23,4	79
		23,6	79
		23,3	79
		23,4	80
	Lluvia	22,9	77
		23,4	73
		22,7	75
		22,5	76
22,5		74	
8:00 a. m.	Soleado	26,2	81
		26,3	81
		25,8	80
		26,1	82
		26,5	81
	Neblina	24,9	76
		24,4	78
		24,5	77
		24,5	80
		24,8	79
	Lluvia	24,3	74
		23,7	76
		23,4	75

		23,9	74
		23,3	76
10:00 a. m.	Soleado	27,1	82
		27,4	78
		26,7	82
		27,3	82
		27,6	80
	Neblina	25,1	76
		24,9	77
		25,3	77
		25,3	76
		25,2	77
	Lluvia	23,7	73
		24,9	75
		24,3	74
		23,8	73
		24,2	75
12:00 p. m.	Soleado	28,6	82
		29,4	82
		27,8	81
		30,3	82
		29,6	83
	Neblina	27,1	78
		27,4	76
		27,3	77
		27,1	79
		28,2	80
	Lluvia	26,7	75
		26,5	76
		26,3	75
		27,1	77
		26,6	75
2:00 p. m.	Soleado	31,6	83

		31,9	85
		30,9	84
		31,4	82
		31,6	81
	Neblina	29,1	80
		28,5	79
		28,4	78
		28,7	78
		28,5	80
	Lluvia	28,1	77
		27,3	76
		27,9	77
		27,4	75
		27,2	77
4:00 p. m.	Soleado	30,1	81
		29,8	80
		29,6	82
		30,4	82
		30,2	80
	Neblina	28,1	79
		27,7	81
		27,9	80
		28,5	81
		27,4	79
	Lluvia	26,9	75
		26,3	73
		26,8	73
		26,5	75
		26,6	74
6:00 p. m.	Soleado	27,5	79
		27,2	78
		27,9	80
		28,1	80

	27,1	78
Neblina	25,7	76
	25,6	78
	25,3	74
	25,8	75
	26,7	77
Lluvia	25,1	75
	24,6	75
	24,5	77
	24,9	75
	25,8	73

Nota. Autoría propia

Tabla 26*Resultados Calidad de Enlace a 40.87 Metros Optimizado*

Hora	Condición climática	Temperatura ambiente (°C)	Calidad del enlace
6:00 a. m.	Soleado	25,3	70
		24,7	73
		24,2	71
		24,7	67
		24,1	69
	Neblina	22,3	66
		23,1	65
		23,6	67
		22,5	67
		23,9	65
	Lluvia	21,9	62
		21,6	61
		22,1	62
		22,5	63
22,9		62	
8:00 a. m.	Soleado	25,2	70
		24,6	69
		25,8	72
		26,6	68
		25,9	71
	Neblina	24,9	66
		24,3	68
		24	67
		24,5	65
		24,3	69
	Lluvia	23,6	64
		23,7	66
		23,4	66
		23,1	64

		24,3	65
10:00 a. m.	Soleado	26	71
		27	71
		26,7	73
		27,1	71
		26,5	69
	Neblina	25,1	65
		25,3	66
		25,3	65
		24,2	67
		25,2	67
	Lluvia	23,6	64
		23,7	65
		24,1	63
		24,5	65
		24,2	63
12:00 p. m.	Soleado	29,3	73
		29,5	74
		27,8	71
		28,6	72
		29,5	75
	Neblina	27,1	71
		27,4	70
		27,3	70
		27,1	70
		27,2	69
	Lluvia	26,2	67
		25,5	66
		26,1	67
		25,5	67
		26,2	68
2:00 p. m.	Soleado	31,6	74
		30,2	73

		31,9	75
		31,4	73
		31,2	75
	Neblina	28,9	70
		28,3	72
		28,3	72
		29,4	71
		28,1	70
	Lluvia	27,1	67
		27,3	65
		26,7	66
		27,4	69
		27,2	68
4:00 p. m.	Soleado	30,4	70
		29,7	70
		29,6	69
		30,3	70
		30,2	71
	Neblina	28,1	69
		28,7	67
		27,1	67
		28,3	69
		28,2	68
	Lluvia	26,3	66
		26,8	65
		26,5	64
		27,3	65
		26,2	65
6:00 p. m.	Soleado	25,4	68
		26,7	69
		26,9	67
		26,3	69
		26,7	67

Neblina	23,8	66
	25,1	67
	25,7	66
	24,9	65
	26	66
Lluvia	25,3	66
	24,6	62
	24,1	65
	24,6	64
	24,5	63

Nota. Autoría propia

Tabla 27*Resultados Calidad de Enlace a 61.67 Metros Optimizado*

Hora	Condición climática	Temperatura ambiente (°C)	Calidad del enlace
6:00 a. m.	Soleado	24,5	53
		24,9	55
		24,2	54
		24,2	51
		24,8	52
	Neblina	23,9	50
		23,4	52
		23,6	48
		23,7	52
		23,4	48
	Lluvia	22,9	48
		22,4	49
		22,7	49
		22,2	49
		22,5	50
8:00 a. m.	Soleado	26,2	53
		26,4	54
		25,8	53
		26,6	52
		26,1	53
	Neblina	25,1	51
		25,4	52
		24,4	50
		24,5	51
		24,8	51
	Lluvia	24,3	50
		23,7	48
		23,4	48

		23,6	50
		24,3	49
10:00 a. m.	Soleado	26,1	54
		27,4	51
		26,7	56
		27,4	52
		28,1	57
	Neblina	25,6	52
		25,9	53
		25,3	52
		25,8	51
		25,5	52
	Lluvia	24,6	50
		24,9	47
		24,7	49
		24,8	48
		24,2	51
12:00 p. m.	Soleado	30,6	55
		29,7	54
		29,8	56
		29,9	55
		30,7	55
	Neblina	28,1	54
		27,9	52
		27,3	53
		28,7	52
		28,6	54
	Lluvia	27,2	50
		26,5	49
		26,6	50
		27,5	50
		26,6	51
2:00 p. m.	Soleado	31,7	54

		31,9	55
		32,5	53
		31,2	55
		32,6	53
	Neblina	29,9	52
		29,6	52
		28,9	51
		29,7	52
		29,5	53
	Lluvia	27,9	50
		28,5	52
		27,9	51
		27,5	48
		27,1	49
4:00 p. m.	Soleado	32,4	53
		29,9	53
		30,3	54
		30,7	53
		30,3	52
	Neblina	29,4	54
		28,7	52
		28,9	50
		28,7	54
		28,4	50
	Lluvia	27,4	49
		27,5	51
		27,7	49
		27,4	49
		27,1	47
6:00 p. m.	Soleado	27,4	52
		26,7	53
		26,9	52
		27,4	51

	27,3	52
Neblina	24,9	48
	25,6	50
	25,7	48
	26,1	50
	26,2	49
Lluvia	25,6	49
	24,9	45
	25,5	47
	24,9	49
	24,7	45

Nota. Autoría propia

Tabla 28*Resultados Interferencia a 16.30 Metros*

Fecha y hora	Enviado S o N	Recibo S o N
22/10/2023 8:01	S	S
22/10/2023 8:02	S	S
22/10/2023 8:03	S	S
22/10/2023 8:04	S	S
22/10/2023 8:05	S	S
22/10/2023 8:06	S	S
22/10/2023 8:07	S	S
22/10/2023 8:08	S	S
22/10/2023 8:09	S	S
22/10/2023 8:10	S	S
22/10/2023 8:11	S	S
22/10/2023 8:12	S	N
22/10/2023 8:13	S	S
22/10/2023 8:14	S	S
22/10/2023 8:15	S	S
22/10/2023 8:16	S	S
22/10/2023 8:17	S	S
22/10/2023 8:18	S	S
22/10/2023 8:19	S	S
22/10/2023 8:20	S	S
22/10/2023 8:21	S	S
22/10/2023 8:22	S	S
22/10/2023 8:23	S	S
22/10/2023 8:24	S	S
22/10/2023 8:25	S	S
22/10/2023 8:26	S	S
22/10/2023 8:27	S	S
22/10/2023 8:28	S	S
22/10/2023 8:29	S	S

22/10/2023 8:30	S	S
22/10/2023 8:31	S	S
22/10/2023 8:32	S	S
22/10/2023 8:33	S	S
22/10/2023 8:34	S	S
22/10/2023 8:35	S	S
22/10/2023 8:36	S	S
22/10/2023 8:37	S	S
22/10/2023 8:38	S	S
22/10/2023 8:39	S	S
22/10/2023 8:40	S	S
22/10/2023 8:41	S	S
22/10/2023 8:42	S	S
22/10/2023 8:43	S	S
22/10/2023 8:44	S	S
22/10/2023 8:45	S	S
22/10/2023 8:46	S	S
22/10/2023 8:47	S	S
22/10/2023 8:48	S	S
22/10/2023 8:49	S	S
22/10/2023 8:50	S	S
22/10/2023 8:51	S	S
22/10/2023 8:52	S	S
22/10/2023 8:53	S	S
22/10/2023 8:54	S	S
22/10/2023 8:55	S	S
22/10/2023 8:56	S	S
22/10/2023 8:57	S	S
22/10/2023 8:58	S	S
22/10/2023 8:58	S	S
22/10/2023 9:00	S	S
22/10/2023 9:01	S	S
22/10/2023 9:02	S	S

22/10/2023 9:03	S	S
22/10/2023 9:04	S	S
22/10/2023 9:05	S	S
22/10/2023 9:06	S	S
22/10/2023 9:07	S	S
22/10/2023 9:08	S	S
22/10/2023 9:09	S	N
22/10/2023 9:10	S	S
22/10/2023 9:11	S	S
22/10/2023 9:12	S	S
22/10/2023 9:13	S	S
22/10/2023 9:14	S	S
22/10/2023 9:15	S	S
22/10/2023 9:16	S	S
22/10/2023 9:17	S	S
22/10/2023 9:18	S	S
22/10/2023 9:19	S	S
22/10/2023 9:20	S	S
22/10/2023 9:21	S	S
22/10/2023 9:22	S	S
22/10/2023 9:23	S	S
22/10/2023 9:24	S	S
22/10/2023 9:25	S	S
22/10/2023 9:26	S	S
22/10/2023 9:27	S	S
22/10/2023 9:28	S	S
22/10/2023 9:29	S	S
22/10/2023 9:30	S	S
22/10/2023 9:31	S	S
22/10/2023 9:32	S	S
22/10/2023 9:33	S	N
22/10/2023 9:34	S	S
22/10/2023 9:35	S	S

22/10/2023 9:36	S	S
22/10/2023 9:37	S	S
22/10/2023 9:38	S	S
22/10/2023 9:39	S	S
22/10/2023 9:40	S	S

Nota. Autoría propia

Tabla 29*Resultados Interferencia a 40.87 Metros*

Fecha y hora	Enviado S o N	Recibo S o N
22/10/2023 10:01	S	S
22/10/2023 10:02	S	S
22/10/2023 10:03	S	S
22/10/2023 10:04	S	N
22/10/2023 10:05	S	S
22/10/2023 10:06	S	S
22/10/2023 10:07	S	S
22/10/2023 10:08	S	S
22/10/2023 10:09	S	S
22/10/2023 10:10	S	S
22/10/2023 10:11	S	S
22/10/2023 10:12	S	S
22/10/2023 10:13	S	S
22/10/2023 10:14	S	S
22/10/2023 10:15	S	N
22/10/2023 10:16	S	S
22/10/2023 10:17	S	S
22/10/2023 10:18	S	S
22/10/2023 10:19	S	S
22/10/2023 10:20	S	S
22/10/2023 10:21	S	S
22/10/2023 10:22	S	S
22/10/2023 10:23	S	S
22/10/2023 10:24	S	S
22/10/2023 10:25	S	S
22/10/2023 10:26	S	S
22/10/2023 10:27	S	S
22/10/2023 10:28	S	S
22/10/2023 10:29	S	S

22/10/2023 10:30	S	S
22/10/2023 10:31	S	S
22/10/2023 10:32	S	S
22/10/2023 10:33	S	S
22/10/2023 10:34	S	S
22/10/2023 10:35	S	S
22/10/2023 10:36	S	S
22/10/2023 10:37	S	S
22/10/2023 10:38	S	N
22/10/2023 10:39	S	S
22/10/2023 10:40	S	S
22/10/2023 10:41	S	S
22/10/2023 10:42	S	S
22/10/2023 10:43	S	S
22/10/2023 10:44	S	S
22/10/2023 10:45	S	S
22/10/2023 10:46	S	S
22/10/2023 10:47	S	S
22/10/2023 10:48	S	N
22/10/2023 10:49	S	S
22/10/2023 10:50	S	S
22/10/2023 10:51	S	S
22/10/2023 10:52	S	S
22/10/2023 10:53	S	S
22/10/2023 10:54	S	S
22/10/2023 10:55	S	N
22/10/2023 10:56	S	S
22/10/2023 10:57	S	S
22/10/2023 10:58	S	S
22/10/2023 10:59	S	S
22/10/2023 11:00	S	S
22/10/2023 11:01	S	S
22/10/2023 11:02	S	S

22/10/2023 11:03	S	S
22/10/2023 11:04	S	S
22/10/2023 11:05	S	S
22/10/2023 11:06	S	S
22/10/2023 11:07	S	N
22/10/2023 11:08	S	S
22/10/2023 11:09	S	S
22/10/2023 11:10	S	S
22/10/2023 11:11	S	S
22/10/2023 11:12	S	S
22/10/2023 11:13	S	S
22/10/2023 11:14	S	S
22/10/2023 11:15	S	S
22/10/2023 11:16	S	S
22/10/2023 11:17	S	S
22/10/2023 11:18	S	N
22/10/2023 11:19	S	S
22/10/2023 11:20	S	S
22/10/2023 11:21	S	S
22/10/2023 11:22	S	S
22/10/2023 11:23	S	S
22/10/2023 11:24	S	S
22/10/2023 11:25	S	N
22/10/2023 11:26	S	S
22/10/2023 11:27	S	S
22/10/2023 11:28	S	S
22/10/2023 11:29	S	S
22/10/2023 11:30	S	N
22/10/2023 11:31	S	S
22/10/2023 11:32	S	S
22/10/2023 11:33	S	S
22/10/2023 11:34	S	N
22/10/2023 11:35	S	S

22/10/2023 11:36	S	S
22/10/2023 11:37	S	S
22/10/2023 11:38	S	N
22/10/2023 11:39	S	S
22/10/2023 11:40	S	S

Nota. Autoría propia

Tabla 30*Resultados Interferencia a 61.67 Metros*

Fecha y hora	Enviado S o N	Recibo S o N
22/10/2023 12:01	S	S
22/10/2023 12:02	S	S
22/10/2023 12:03	S	N
22/10/2023 12:04	S	S
22/10/2023 12:05	S	S
22/10/2023 12:06	S	S
22/10/2023 12:07	S	S
22/10/2023 12:08	S	S
22/10/2023 12:09	S	S
22/10/2023 12:10	S	N
22/10/2023 12:11	S	S
22/10/2023 12:12	S	S
22/10/2023 12:13	S	S
22/10/2023 12:14	S	S
22/10/2023 12:15	S	S
22/10/2023 12:16	S	S
22/10/2023 12:17	S	N
22/10/2023 12:18	S	S
22/10/2023 12:19	S	S
22/10/2023 12:20	S	S
22/10/2023 12:21	S	N
22/10/2023 12:22	S	S
22/10/2023 12:23	S	S
22/10/2023 12:24	S	S
22/10/2023 12:25	S	S
22/10/2023 12:26	S	S
22/10/2023 12:27	S	S
22/10/2023 12:28	S	S
22/10/2023 12:29	S	N

22/10/2023 12:30	S	S
22/10/2023 12:31	S	S
22/10/2023 12:32	S	S
22/10/2023 12:33	S	S
22/10/2023 12:34	S	N
22/10/2023 12:35	S	S
22/10/2023 12:36	S	S
22/10/2023 12:37	S	S
22/10/2023 12:38	S	S
22/10/2023 12:39	S	N
22/10/2023 12:40	S	S
22/10/2023 12:41	S	S
22/10/2023 12:42	S	S
22/10/2023 12:43	S	S
22/10/2023 12:44	S	N
22/10/2023 12:45	S	S
22/10/2023 12:46	S	S
22/10/2023 12:47	S	S
22/10/2023 12:48	S	S
22/10/2023 12:49	S	S
22/10/2023 12:50	S	N
22/10/2023 12:51	S	S
22/10/2023 12:52	S	S
22/10/2023 12:53	S	S
22/10/2023 12:54	S	S
22/10/2023 12:55	S	N
22/10/2023 12:56	S	S
22/10/2023 12:57	S	S
22/10/2023 12:58	S	S
22/10/2023 12:59	S	N
22/10/2023 13:00	S	S
22/10/2023 13:01	S	S
22/10/2023 13:02	S	S

22/10/2023 13:03	S	S
22/10/2023 13:04	S	S
22/10/2023 13:05	S	S
22/10/2023 13:06	S	S
22/10/2023 13:07	S	N
22/10/2023 13:08	S	S
22/10/2023 13:09	S	S
22/10/2023 13:10	S	S
22/10/2023 13:11	S	S
22/10/2023 13:12	S	S
22/10/2023 13:13	S	S
22/10/2023 13:14	S	S
22/10/2023 13:15	S	S
22/10/2023 13:16	S	N
22/10/2023 13:17	S	S
22/10/2023 13:18	S	N
22/10/2023 13:19	S	S
22/10/2023 13:20	S	S
22/10/2023 13:21	S	S
22/10/2023 13:22	S	S
22/10/2023 13:23	S	S
22/10/2023 13:24	S	N
22/10/2023 13:25	S	S
22/10/2023 13:26	S	S
22/10/2023 13:27	S	S
22/10/2023 13:28	S	S
22/10/2023 13:29	S	S
22/10/2023 13:30	S	S
22/10/2023 13:31	S	N
22/10/2023 13:32	S	S
22/10/2023 13:33	S	S
22/10/2023 13:34	S	S
22/10/2023 13:35	S	S

22/10/2023 13:36	S	N
22/10/2023 13:37	S	S
22/10/2023 13:38	S	S
22/10/2023 13:39	S	S
22/10/2023 13:40	S	S

Nota. Autoría propia

Tabla 31*Resultados Interferencia con Obstáculos a 16.30 Metros*

Fecha y hora	Enviado S o N	Recibo S o N
22/10/2023 8:01	S	S
22/10/2023 8:02	S	S
22/10/2023 8:03	S	S
22/10/2023 8:04	S	S
22/10/2023 8:05	S	S
22/10/2023 8:06	S	S
22/10/2023 8:07	S	S
22/10/2023 8:08	S	S
22/10/2023 8:09	S	S
22/10/2023 8:10	S	S
22/10/2023 8:11	S	S
22/10/2023 8:12	S	N
22/10/2023 8:13	S	S
22/10/2023 8:14	S	S
22/10/2023 8:15	S	S
22/10/2023 8:16	S	S
22/10/2023 8:17	S	S
22/10/2023 8:18	S	S
22/10/2023 8:19	S	S
22/10/2023 8:20	S	S
22/10/2023 8:21	S	S
22/10/2023 8:22	S	S
22/10/2023 8:23	S	S
22/10/2023 8:24	S	S
22/10/2023 8:25	S	S
22/10/2023 8:26	S	S
22/10/2023 8:27	S	S
22/10/2023 8:28	S	S
22/10/2023 8:29	S	S

22/10/2023 8:30	S	S
22/10/2023 8:31	S	S
22/10/2023 8:32	S	S
22/10/2023 8:33	S	S
22/10/2023 8:34	S	S
22/10/2023 8:35	S	S
22/10/2023 8:36	S	S
22/10/2023 8:37	S	S
22/10/2023 8:38	S	S
22/10/2023 8:39	S	S
22/10/2023 8:40	S	S
22/10/2023 8:41	S	S
22/10/2023 8:42	S	S
22/10/2023 8:43	S	S
22/10/2023 8:44	S	S
22/10/2023 8:45	S	S
22/10/2023 8:46	S	S
22/10/2023 8:47	S	S
22/10/2023 8:48	S	S
22/10/2023 8:49	S	S
22/10/2023 8:50	S	S
22/10/2023 8:51	S	S
22/10/2023 8:52	S	S
22/10/2023 8:53	S	S
22/10/2023 8:54	S	S
22/10/2023 8:55	S	S
22/10/2023 8:56	S	S
22/10/2023 8:57	S	S
22/10/2023 8:58	S	S
22/10/2023 8:58	S	S
22/10/2023 9:00	S	S
22/10/2023 9:01	S	S
22/10/2023 9:02	S	S

22/10/2023 9:03	S	S
22/10/2023 9:04	S	S
22/10/2023 9:05	S	S
22/10/2023 9:06	S	S
22/10/2023 9:07	S	S
22/10/2023 9:08	S	S
22/10/2023 9:09	S	N
22/10/2023 9:10	S	S
22/10/2023 9:11	S	S
22/10/2023 9:12	S	S
22/10/2023 9:13	S	S
22/10/2023 9:14	S	S
22/10/2023 9:15	S	S
22/10/2023 9:16	S	S
22/10/2023 9:17	S	S
22/10/2023 9:18	S	S
22/10/2023 9:19	S	N
22/10/2023 9:20	S	S
22/10/2023 9:21	S	S
22/10/2023 9:22	S	S
22/10/2023 9:23	S	S
22/10/2023 9:24	S	S
22/10/2023 9:25	S	S
22/10/2023 9:26	S	S
22/10/2023 9:27	S	N
22/10/2023 9:28	S	S
22/10/2023 9:29	S	S
22/10/2023 9:30	S	S
22/10/2023 9:31	S	S
22/10/2023 9:32	S	S
22/10/2023 9:33	S	N
22/10/2023 9:34	S	S
22/10/2023 9:35	S	S

22/10/2023 9:36	S	S
22/10/2023 9:37	S	S
22/10/2023 9:38	S	S
22/10/2023 9:39	S	N
22/10/2023 9:40	S	S

Nota. Autoría propia

Tabla 32*Resultados Interferencia con Obstáculos a 40.87 Metros*

Fecha y hora	Enviado S o N	Recibo S o N
22/10/2023 10:01	S	S
22/10/2023 10:02	S	S
22/10/2023 10:03	S	S
22/10/2023 10:04	S	N
22/10/2023 10:05	S	S
22/10/2023 10:06	S	S
22/10/2023 10:07	S	S
22/10/2023 10:08	S	N
22/10/2023 10:09	S	S
22/10/2023 10:10	S	S
22/10/2023 10:11	S	S
22/10/2023 10:12	S	S
22/10/2023 10:13	S	S
22/10/2023 10:14	S	S
22/10/2023 10:15	S	N
22/10/2023 10:16	S	S
22/10/2023 10:17	S	S
22/10/2023 10:18	S	S
22/10/2023 10:19	S	S
22/10/2023 10:20	S	S
22/10/2023 10:21	S	S
22/10/2023 10:22	S	S
22/10/2023 10:23	S	S
22/10/2023 10:24	S	S
22/10/2023 10:25	S	S
22/10/2023 10:26	S	S
22/10/2023 10:27	S	S
22/10/2023 10:28	S	S
22/10/2023 10:29	S	S

22/10/2023 10:30	S	S
22/10/2023 10:31	S	S
22/10/2023 10:32	S	S
22/10/2023 10:33	S	S
22/10/2023 10:34	S	S
22/10/2023 10:35	S	S
22/10/2023 10:36	S	S
22/10/2023 10:37	S	S
22/10/2023 10:38	S	N
22/10/2023 10:39	S	S
22/10/2023 10:40	S	S
22/10/2023 10:41	S	S
22/10/2023 10:42	S	S
22/10/2023 10:43	S	S
22/10/2023 10:44	S	S
22/10/2023 10:45	S	S
22/10/2023 10:46	S	S
22/10/2023 10:47	S	S
22/10/2023 10:48	S	N
22/10/2023 10:49	S	S
22/10/2023 10:50	S	S
22/10/2023 10:51	S	S
22/10/2023 10:52	S	S
22/10/2023 10:53	S	S
22/10/2023 10:54	S	S
22/10/2023 10:55	S	N
22/10/2023 10:56	S	S
22/10/2023 10:57	S	S
22/10/2023 10:58	S	S
22/10/2023 10:59	S	S
22/10/2023 11:00	S	S
22/10/2023 11:01	S	S
22/10/2023 11:02	S	S

22/10/2023 11:03	S	S
22/10/2023 11:04	S	S
22/10/2023 11:05	S	S
22/10/2023 11:06	S	S
22/10/2023 11:07	S	N
22/10/2023 11:08	S	S
22/10/2023 11:09	S	S
22/10/2023 11:10	S	S
22/10/2023 11:11	S	S
22/10/2023 11:12	S	S
22/10/2023 11:13	S	S
22/10/2023 11:14	S	S
22/10/2023 11:15	S	S
22/10/2023 11:16	S	S
22/10/2023 11:17	S	N
22/10/2023 11:18	S	N
22/10/2023 11:19	S	S
22/10/2023 11:20	S	S
22/10/2023 11:21	S	S
22/10/2023 11:22	S	S
22/10/2023 11:23	S	S
22/10/2023 11:24	S	S
22/10/2023 11:25	S	N
22/10/2023 11:26	S	S
22/10/2023 11:27	S	S
22/10/2023 11:28	S	S
22/10/2023 11:29	S	S
22/10/2023 11:30	S	N
22/10/2023 11:31	S	S
22/10/2023 11:32	S	S
22/10/2023 11:33	S	S
22/10/2023 11:34	S	N
22/10/2023 11:35	S	S

22/10/2023 11:36	S	S
22/10/2023 11:37	S	S
22/10/2023 11:38	S	N
22/10/2023 11:39	S	S
22/10/2023 11:40	S	S

Nota. Autoría propia

Tabla 33*Resultados Interferencia con Obstáculos a 61.67 Metros*

Fecha y hora	Enviado S o N	Recibo S o N
22/10/2023 12:01	S	S
22/10/2023 12:02	S	S
22/10/2023 12:03	S	N
22/10/2023 12:04	S	S
22/10/2023 12:05	S	N
22/10/2023 12:06	S	S
22/10/2023 12:07	S	S
22/10/2023 12:08	S	S
22/10/2023 12:09	S	S
22/10/2023 12:10	S	N
22/10/2023 12:11	S	S
22/10/2023 12:12	S	S
22/10/2023 12:13	S	S
22/10/2023 12:14	S	S
22/10/2023 12:15	S	S
22/10/2023 12:16	S	S
22/10/2023 12:17	S	N
22/10/2023 12:18	S	S
22/10/2023 12:19	S	S
22/10/2023 12:20	S	S
22/10/2023 12:21	S	N
22/10/2023 12:22	S	S
22/10/2023 12:23	S	S
22/10/2023 12:24	S	N
22/10/2023 12:25	S	S
22/10/2023 12:26	S	S
22/10/2023 12:27	S	S
22/10/2023 12:28	S	S
22/10/2023 12:29	S	N

22/10/2023 12:30	S	S
22/10/2023 12:31	S	S
22/10/2023 12:32	S	S
22/10/2023 12:33	S	S
22/10/2023 12:34	S	N
22/10/2023 12:35	S	S
22/10/2023 12:36	S	S
22/10/2023 12:37	S	S
22/10/2023 12:38	S	S
22/10/2023 12:39	S	N
22/10/2023 12:40	S	S
22/10/2023 12:41	S	S
22/10/2023 12:42	S	S
22/10/2023 12:43	S	S
22/10/2023 12:44	S	N
22/10/2023 12:45	S	S
22/10/2023 12:46	S	S
22/10/2023 12:47	S	S
22/10/2023 12:48	S	S
22/10/2023 12:49	S	S
22/10/2023 12:50	S	N
22/10/2023 12:51	S	S
22/10/2023 12:52	S	S
22/10/2023 12:53	S	S
22/10/2023 12:54	S	S
22/10/2023 12:55	S	N
22/10/2023 12:56	S	S
22/10/2023 12:57	S	S
22/10/2023 12:58	S	S
22/10/2023 12:59	S	N
22/10/2023 13:00	S	S
22/10/2023 13:01	S	S
22/10/2023 13:02	S	S

22/10/2023 13:03	S	S
22/10/2023 13:04	S	S
22/10/2023 13:05	S	S
22/10/2023 13:06	S	S
22/10/2023 13:07	S	N
22/10/2023 13:08	S	S
22/10/2023 13:09	S	S
22/10/2023 13:10	S	S
22/10/2023 13:11	S	S
22/10/2023 13:12	S	S
22/10/2023 13:13	S	S
22/10/2023 13:14	S	S
22/10/2023 13:15	S	S
22/10/2023 13:16	S	N
22/10/2023 13:17	S	S
22/10/2023 13:18	S	N
22/10/2023 13:19	S	S
22/10/2023 13:20	S	S
22/10/2023 13:21	S	S
22/10/2023 13:22	S	S
22/10/2023 13:23	S	S
22/10/2023 13:24	S	N
22/10/2023 13:25	S	S
22/10/2023 13:26	S	S
22/10/2023 13:27	S	S
22/10/2023 13:28	S	S
22/10/2023 13:29	S	S
22/10/2023 13:30	S	S
22/10/2023 13:31	S	N
22/10/2023 13:32	S	S
22/10/2023 13:33	S	N
22/10/2023 13:34	S	S
22/10/2023 13:35	S	S

22/10/2023 13:36	S	N
22/10/2023 13:37	S	S
22/10/2023 13:38	S	S
22/10/2023 13:39	S	N
22/10/2023 13:40	S	S

Nota. Autoría propia

Tabla 34*Resultados Prueba de Voltaje 1 Minuto*

Intervalo	Voltaje batería	Diferencia
0:00	9,62	
0:30	9,28	0,34
1:00	8,97	0,31
1:30	8,64	0,33
2:00	8,31	0,33
2:30	8,06	0,25
3:00	7,68	0,38
3:30	7,45	0,23
4:00	7,18	0,27
4:30	6,87	0,31
5:00	6,63	0,24
5:30	6,29	0,34
6:00	5,98	0,31

Nota. Autoría propia

Tabla 35*Resultados Prueba de Voltaje 15 Minutos*

Intervalo	Voltaje batería	Diferencia
0:00	9,51	
0:30	9,31	0,2
1:00	9,03	0,28
1:30	8,76	0,27
2:00	8,49	0,27
2:30	8,26	0,23
3:00	7,99	0,27
3:30	7,74	0,25
4:00	7,49	0,25
4:30	7,23	0,26
5:00	7,03	0,2
5:30	6,82	0,21
6:00	6,66	0,16

Nota. Autoría propia

Tabla 36*Resultados Prueba de Voltaje 30 Minutos*

Intervalo	Voltaje batería	Diferencia
0:00	9,34	
0:30	9,18	0,16
1:00	9,08	0,1
1:30	8,94	0,14
2:00	8,79	0,15
2:30	8,67	0,12
3:00	8,51	0,16
3:30	8,38	0,13
4:00	8,27	0,11
4:30	8,14	0,13
5:00	7,99	0,15
5:30	7,86	0,13
6:00	7,72	0,14

Nota. Autoría propia

Tabla 37*Resultados Latencia y Velocidad a 16.30 Metros*

Fecha	Temperatura ambiente (°C)	Hora de envío	Hora de recepción	Latencia	Velocidad
17/10/2023	26,6	10:00:00	10:00:38	0:00:38	247
17/10/2023	26,9	10:01:00	10:01:36	0:00:36	251
17/10/2023	26,7	10:02:00	10:02:33	0:00:33	248
17/10/2023	26,4	10:03:00	10:03:37	0:00:37	250
17/10/2023	26,8	10:04:00	10:04:36	0:00:36	248
17/10/2023	26,5	10:05:00	10:05:36	0:00:36	249
17/10/2023	27	10:06:00	10:06:35	0:00:35	247
17/10/2023	26,8	10:07:00	10:07:33	0:00:33	249
17/10/2023	26,3	10:08:00	10:08:37	0:00:37	250
17/10/2023	26,6	10:09:00	10:09:38	0:00:38	248
17/10/2023	29,3	14:00:00	14:00:35	0:00:35	251
17/10/2023	29,1	14:01:00	14:01:37	0:00:37	248
17/10/2023	30	14:02:00	14:02:34	0:00:34	249
17/10/2023	29,5	14:03:00	14:03:37	0:00:37	247
17/10/2023	29,4	14:04:00	14:04:38	0:00:38	248
17/10/2023	29,6	14:05:00	14:05:35	0:00:35	246
17/10/2023	29,4	14:06:00	14:06:36	0:00:36	247
17/10/2023	29,9	14:07:00	14:07:33	0:00:33	249
17/10/2023	30,1	14:08:00	14:08:39	0:00:39	248
17/10/2023	29,7	14:09:00	14:09:34	0:00:34	250
18/10/2023	28,4	10:00:00	10:00:33	0:00:33	247
18/10/2023	28,5	10:01:00	10:01:35	0:00:35	245
18/10/2023	28,4	10:02:00	10:02:32	0:00:32	249
18/10/2023	28,7	10:03:00	10:03:37	0:00:37	248
18/10/2023	28,1	10:04:00	10:04:35	0:00:35	248
18/10/2023	28,5	10:05:00	10:05:36	0:00:36	247
18/10/2023	28,5	10:06:00	10:06:37	0:00:37	249
18/10/2023	28,5	10:07:00	10:07:35	0:00:35	251

18/10/2023	28,7	10:08:00	10:08:34	0:00:34	248
18/10/2023	28,9	10:09:00	10:09:36	0:00:36	249
18/10/2023	30,3	14:00:00	14:00:36	0:00:36	247
18/10/2023	30,1	14:01:00	14:01:38	0:00:38	248
18/10/2023	30	14:02:00	14:02:35	0:00:35	249
18/10/2023	30,6	14:03:00	14:03:34	0:00:34	248
18/10/2023	30,2	14:04:00	14:04:36	0:00:36	250
18/10/2023	30,5	14:05:00	14:05:32	0:00:32	248
18/10/2023	30,7	14:06:00	14:06:39	0:00:39	245
18/10/2023	30,2	14:07:00	14:07:36	0:00:36	247
18/10/2023	30,5	14:08:00	14:08:37	0:00:37	248
18/10/2023	30,1	14:09:00	14:09:38	0:00:38	249
19/10/2023	29,5	10:00:00	10:00:34	0:00:34	250
19/10/2023	29,5	10:01:00	10:01:33	0:00:33	251
19/10/2023	29,4	10:02:00	10:02:38	0:00:38	248
19/10/2023	29,6	10:03:00	10:03:38	0:00:38	246
19/10/2023	29,7	10:04:00	10:04:37	0:00:37	245
19/10/2023	29,1	10:05:00	10:05:39	0:00:39	248
19/10/2023	29,4	10:06:00	10:06:36	0:00:36	248
19/10/2023	29,4	10:07:00	10:07:37	0:00:37	248
19/10/2023	29,6	10:08:00	10:08:38	0:00:38	248
19/10/2023	29,5	10:09:00	10:09:36	0:00:36	248
19/10/2023	31,3	14:00:00	14:00:35	0:00:35	248
19/10/2023	31,2	14:01:00	14:01:36	0:00:36	249
19/10/2023	31	14:02:00	14:02:34	0:00:34	247
19/10/2023	31,5	14:03:00	14:03:39	0:00:39	248
19/10/2023	31,5	14:04:00	14:04:34	0:00:34	249
19/10/2023	31,6	14:05:00	14:05:36	0:00:36	248
19/10/2023	31	14:06:00	14:06:37	0:00:37	250
19/10/2023	31,5	14:07:00	14:07:34	0:00:34	248
19/10/2023	31,3	14:08:00	14:08:40	0:00:40	248
19/10/2023	31,7	14:09:00	14:09:36	0:00:36	247
20/10/2023	28,1	10:00:00	10:00:36	0:00:36	248

20/10/2023	28,6	10:01:00	10:01:39	0:00:39	247
20/10/2023	28,5	10:02:00	10:02:35	0:00:35	249
20/10/2023	28,5	10:03:00	10:03:36	0:00:36	248
20/10/2023	28,7	10:04:00	10:04:34	0:00:34	248
20/10/2023	28,4	10:05:00	10:05:37	0:00:37	250
20/10/2023	28,8	10:06:00	10:06:33	0:00:33	248
20/10/2023	28,2	10:07:00	10:07:34	0:00:34	248
20/10/2023	28,9	10:08:00	10:08:32	0:00:32	257
20/10/2023	28,4	10:09:00	10:09:37	0:00:37	248
20/10/2023	31	14:00:00	14:00:38	0:00:38	248
20/10/2023	31,4	14:01:00	14:01:36	0:00:36	252
20/10/2023	30,9	14:02:00	14:02:39	0:00:39	248
20/10/2023	31,1	14:03:00	14:03:35	0:00:35	248
20/10/2023	30,7	14:04:00	14:04:39	0:00:39	247
20/10/2023	30,6	14:05:00	14:05:35	0:00:35	249
20/10/2023	30,9	14:06:00	14:06:33	0:00:33	248
20/10/2023	31,2	14:07:00	14:07:36	0:00:36	249
20/10/2023	31	14:08:00	14:08:33	0:00:33	247
20/10/2023	30,7	14:09:00	14:09:37	0:00:37	248
21/20/2023	29,6	10:00:00	10:00:35	0:00:35	249
21/20/2023	29,4	10:01:00	10:01:37	0:00:37	248
21/20/2023	29,1	10:02:00	10:02:35	0:00:35	49
21/20/2023	28,9	10:03:00	10:03:39	0:00:39	248
21/20/2023	28,8	10:04:00	10:04:40	0:00:40	248
21/20/2023	29	10:05:00	10:05:31	0:00:31	247
21/20/2023	29,5	10:06:00	10:06:36	0:00:36	248
21/20/2023	28,5	10:07:00	10:07:39	0:00:39	246
21/20/2023	28,9	10:08:00	10:08:37	0:00:37	248
21/20/2023	29,6	10:09:00	10:09:35	0:00:35	246
21/20/2023	31,1	14:00:00	14:00:37	0:00:37	248
21/20/2023	31,5	14:01:00	14:01:36	0:00:36	248
21/20/2023	31,6	14:02:00	14:02:38	0:00:38	246
21/20/2023	31	14:03:00	14:03:35	0:00:35	249

21/20/2023	31,9	14:04:00	14:04:37	0:00:37	247
21/20/2023	30,9	14:05:00	14:05:37	0:00:37	248
21/20/2023	31,7	14:06:00	14:06:39	0:00:39	249
21/20/2023	31,5	14:07:00	14:07:36	0:00:36	248
21/20/2023	31,5	14:08:00	14:08:37	0:00:37	250
21/20/2023	31,6	14:09:00	14:09:35	0:00:35	247

Nota. Autoría propia

Tabla 38*Resultados Latencia y Velocidad a 40.87 Metros*

Fecha	Temperatura ambiente (°C)	Hora de envío	Hora de recepción	Latencia	Velocidad
17/10/2023	26,6	10:10:00	10:10:45	0:00:45	238
17/10/2023	26,3	10:11:00	10:11:47	0:00:47	242
17/10/2023	26,7	10:12:00	10:12:51	0:00:51	239
17/10/2023	26,4	10:13:00	10:13:55	0:00:55	239
17/10/2023	26,8	10:14:00	10:14:50	0:00:50	239
17/10/2023	26,5	10:15:00	10:15:49	0:00:49	240
17/10/2023	26,7	10:16:00	10:16:52	0:00:52	238
17/10/2023	26,8	10:17:00	10:17:46	0:00:46	240
17/10/2023	26,3	10:18:00	10:18:49	0:00:49	238
17/10/2023	27	10:19:00	10:19:50	0:00:50	239
17/10/2023	29,3	14:10:00	14:10:54	0:00:54	242
17/10/2023	29,1	14:11:00	14:11:56	0:00:56	239
17/10/2023	29,3	14:12:00	14:12:50	0:00:50	240
17/10/2023	29,5	14:13:00	14:13:51	0:00:51	238
17/10/2023	29,4	14:14:00	14:14:52	0:00:52	239
17/10/2023	29,6	14:15:00	14:15:53	0:00:53	237
17/10/2023	29,4	14:16:00	14:16:51	0:00:51	238
17/10/2023	29,9	14:17:00	14:17:50	0:00:50	240
17/10/2023	29,4	14:18:00	14:18:54	0:00:54	239
17/10/2023	29,7	14:19:00	14:19:56	0:00:56	241
18/10/2023	28,4	10:10:00	10:10:55	0:00:55	238
18/10/2023	28,5	10:11:00	10:11:54	0:00:54	236
18/10/2023	28,4	10:12:00	10:12:56	0:00:56	240
18/10/2023	28,7	10:13:00	10:13:50	0:00:50	239
18/10/2023	28,6	10:14:00	10:14:49	0:00:49	239
18/10/2023	28,5	10:15:00	10:15:53	0:00:53	241
18/10/2023	28,4	10:16:00	10:16:53	0:00:53	240
18/10/2023	28,5	10:17:00	10:17:55	0:00:55	242

18/10/2023	28,7	10:18:00	10:18:51	0:00:51	239
18/10/2023	29	10:19:00	10:19:49	0:00:49	240
18/10/2023	30,3	14:10:00	14:10:54	0:00:54	238
18/10/2023	30,5	14:11:00	14:11:46	0:00:46	239
18/10/2023	30,5	14:12:00	14:12:45	0:00:45	240
18/10/2023	30,6	14:13:00	14:13:43	0:00:43	235
18/10/2023	30,2	14:14:00	14:14:56	0:00:56	241
18/10/2023	30,5	14:15:00	14:15:47	0:00:47	239
18/10/2023	30,7	14:16:00	14:16:51	0:00:51	236
18/10/2023	30,4	14:17:00	14:17:50	0:00:50	238
18/10/2023	30,5	14:18:00	14:18:53	0:00:53	239
18/10/2023	30,9	14:19:00	14:19:47	0:00:47	240
19/10/2023	29,6	10:10:00	10:10:53	0:00:53	241
19/10/2023	29,5	10:11:00	10:11:51	0:00:51	242
19/10/2023	29,4	10:12:00	10:12:49	0:00:49	239
19/10/2023	29,6	10:13:00	10:13:54	0:00:54	237
19/10/2023	29,7	10:14:00	10:14:53	0:00:53	235
19/10/2023	29,5	10:15:00	10:15:55	0:00:55	231
19/10/2023	29,4	10:16:00	10:16:57	0:00:57	239
19/10/2023	29,4	10:17:00	10:17:50	0:00:50	239
19/10/2023	29,6	10:18:00	10:18:53	0:00:53	239
19/10/2023	29,1	10:19:00	10:19:51	0:00:51	239
19/10/2023	31,4	14:10:00	14:10:59	0:00:59	239
19/10/2023	31,2	14:11:00	14:11:54	0:00:54	240
19/10/2023	31,5	14:12:00	14:12:53	0:00:53	238
19/10/2023	31,5	14:13:00	14:13:51	0:00:51	239
19/10/2023	31,5	14:14:00	14:14:57	0:00:57	240
19/10/2023	31,6	14:15:00	14:15:54	0:00:54	239
19/10/2023	30,9	14:16:00	14:16:53	0:00:53	241
19/10/2023	31,5	14:17:00	14:17:49	0:00:49	237
19/10/2023	31,3	14:18:00	14:18:49	0:00:49	241
19/10/2023	31,5	14:19:00	14:19:52	0:00:52	238
20/10/2023	28,2	10:10:00	10:10:49	0:00:49	239

20/10/2023	28,6	10:11:00	10:11:51	0:00:51	238
20/10/2023	28,7	10:12:00	10:12:53	0:00:53	241
20/10/2023	28,5	10:13:00	10:13:47	0:00:47	239
20/10/2023	28,1	10:14:00	10:14:54	0:00:54	239
20/10/2023	28,4	10:15:00	10:15:52	0:00:52	241
20/10/2023	28,5	10:16:00	10:16:58	0:00:58	239
20/10/2023	28,2	10:17:00	10:17:52	0:00:52	239
20/10/2023	28,9	10:18:00	10:18:57	0:00:57	248
20/10/2023	28,9	10:19:00	10:19:54	0:00:54	239
20/10/2023	31,1	14:10:00	14:10:58	0:00:58	239
20/10/2023	31,4	14:11:00	14:11:56	0:00:56	243
20/10/2023	31,4	14:12:00	14:12:51	0:00:51	239
20/10/2023	31,1	14:13:00	14:13:56	0:00:56	239
20/10/2023	30,7	14:14:00	14:14:53	0:00:53	238
20/10/2023	30,9	14:15:00	14:15:58	0:00:58	240
20/10/2023	30,9	14:16:00	14:16:53	0:00:53	239
20/10/2023	31,1	14:17:00	14:17:57	0:00:57	240
20/10/2023	30,5	14:18:00	14:18:54	0:00:54	238
20/10/2023	30,7	14:19:00	14:19:55	0:00:55	239
21/20/2023	29,6	10:10:00	10:10:52	0:00:52	240
21/20/2023	29,4	10:11:00	10:11:49	0:00:49	239
21/20/2023	29,5	10:12:00	10:12:55	0:00:55	40
21/20/2023	28,9	10:13:00	10:13:56	0:00:56	239
21/20/2023	28,8	10:14:00	10:14:53	0:00:53	239
21/20/2023	29,4	10:15:00	10:15:56	0:00:56	238
21/20/2023	29,5	10:16:00	10:16:53	0:00:53	239
21/20/2023	29,7	10:17:00	10:17:58	0:00:58	237
21/20/2023	28,9	10:18:00	10:18:53	0:00:53	239
21/20/2023	29,6	10:19:00	10:19:56	0:00:56	237
21/20/2023	31,5	14:10:00	14:10:48	0:00:48	239
21/20/2023	31,5	14:11:00	14:11:47	0:00:47	240
21/20/2023	31,4	14:12:00	14:12:51	0:00:51	237
21/20/2023	31,7	14:13:00	14:13:56	0:00:56	240

21/20/2023	31,9	14:14:00	14:14:53	0:00:53	238
21/20/2023	31,1	14:15:00	14:15:58	0:00:58	237
21/20/2023	31,7	14:16:00	14:16:52	0:00:52	240
21/20/2023	31,5	14:17:00	14:17:55	0:00:55	239
21/20/2023	31,9	14:18:00	14:18:57	0:00:57	241
21/20/2023	31,4	14:19:00	14:19:54	0:00:54	238

Nota. Autoría propia

Tabla 39*Resultados Latencia y Velocidad a 61.67 Metros*

Fecha	Temperatura ambiente (°C)	Hora de envío	Hora de recepción	Latencia	Velocidad
17/10/2023	26,6	10:20:00	10:21:10	0:01:10	231
17/10/2023	26,9	10:21:00	10:22:15	0:01:15	235
17/10/2023	26,7	10:22:00	10:23:13	0:01:13	232
17/10/2023	26,4	10:23:00	10:24:17	0:01:17	233
17/10/2023	26,8	10:24:00	10:25:15	0:01:15	232
17/10/2023	26,5	10:25:00	10:26:17	0:01:17	233
17/10/2023	27,1	10:26:00	10:27:11	0:01:11	231
17/10/2023	26,8	10:27:00	10:28:15	0:01:15	233
17/10/2023	26,3	10:28:00	10:29:18	0:01:18	234
17/10/2023	26,6	10:29:00	10:30:20	0:01:20	232
17/10/2023	29,3	14:20:00	14:21:10	0:01:10	235
17/10/2023	29,1	14:21:00	14:22:18	0:01:18	232
17/10/2023	29,9	14:22:00	14:23:14	0:01:14	233
17/10/2023	29,5	14:23:00	14:24:17	0:01:17	231
17/10/2023	29,4	14:24:00	14:25:19	0:01:19	232
17/10/2023	29,6	14:25:00	14:26:20	0:01:20	230
17/10/2023	29,4	14:26:00	14:27:21	0:01:21	231
17/10/2023	29,9	14:27:00	14:28:14	0:01:14	231
17/10/2023	29,6	14:28:00	14:29:16	0:01:16	232
17/10/2023	29,7	14:29:00	14:30:21	0:01:21	234
18/10/2023	28,4	10:20:00	10:21:19	0:01:19	231
18/10/2023	28,5	10:21:00	10:22:21	0:01:21	229
18/10/2023	28,3	10:22:00	10:23:16	0:01:16	233
18/10/2023	28,7	10:23:00	10:24:17	0:01:17	232
18/10/2023	28,2	10:24:00	10:25:09	0:01:09	232
18/10/2023	28,5	10:25:00	10:26:16	0:01:16	231
18/10/2023	38,6	10:26:00	10:27:12	0:01:12	233
18/10/2023	28,5	10:27:00	10:28:11	0:01:11	235

18/10/2023	28,5	10:28:00	10:29:20	0:01:20	232
18/10/2023	28,9	10:29:00	10:30:15	0:01:15	233
18/10/2023	30,3	14:20:00	14:21:08	0:01:08	231
18/10/2023	30,4	14:21:00	14:22:16	0:01:16	232
18/10/2023	30,4	14:22:00	14:23:17	0:01:17	233
18/10/2023	30,6	14:23:00	14:24:12	0:01:12	232
18/10/2023	30,2	14:24:00	14:25:22	0:01:22	234
18/10/2023	30,5	14:25:00	14:26:19	0:01:19	233
18/10/2023	30,7	14:26:00	14:27:14	0:01:14	229
18/10/2023	30,2	14:27:00	14:28:19	0:01:19	231
18/10/2023	30,5	14:28:00	14:29:16	0:01:16	232
18/10/2023	30,3	14:29:00	14:30:18	0:01:18	233
19/10/2023	29,5	10:20:00	10:21:18	0:01:18	234
19/10/2023	29,5	10:21:00	10:22:13	0:01:13	235
19/10/2023	29,4	10:22:00	10:23:23	0:01:23	232
19/10/2023	29,7	10:23:00	10:24:19	0:01:19	230
19/10/2023	29,7	10:24:00	10:25:17	0:01:17	229
19/10/2023	29,2	10:25:00	10:26:19	0:01:19	232
19/10/2023	29,4	10:26:00	10:27:16	0:01:16	232
19/10/2023	29,5	10:27:00	10:28:15	0:01:15	232
19/10/2023	29,6	10:28:00	10:29:19	0:01:19	232
19/10/2023	29,6	10:29:00	10:30:11	0:01:11	232
19/10/2023	31	14:20:00	14:21:14	0:01:14	232
19/10/2023	31,2	14:21:00	14:22:16	0:01:16	233
19/10/2023	31,1	14:22:00	14:23:14	0:01:14	231
19/10/2023	31,5	14:23:00	14:24:19	0:01:19	230
19/10/2023	31,5	14:24:00	14:25:14	0:01:14	233
19/10/2023	31,4	14:25:00	14:26:16	0:01:16	232
19/10/2023	31,2	14:26:00	14:27:18	0:01:18	234
19/10/2023	31,5	14:27:00	14:28:14	0:01:14	232
19/10/2023	31,3	14:28:00	14:29:19	0:01:19	232
19/10/2023	31,2	14:29:00	14:30:13	0:01:13	231
20/10/2023	28,4	10:20:00	10:21:18	0:01:18	232

20/10/2023	28,6	10:21:00	10:22:17	0:01:17	231
20/10/2023	28	10:22:00	10:23:19	0:01:19	233
20/10/2023	28,5	10:23:00	10:24:20	0:01:20	232
20/10/2023	28,7	10:24:00	10:25:17	0:01:17	232
20/10/2023	28,4	10:25:00	10:26:22	0:01:22	234
20/10/2023	28,8	10:26:00	10:27:21	0:01:21	229
20/10/2023	28,2	10:27:00	10:28:00	0:01:00	232
20/10/2023	28,5	10:28:00	10:29:00	0:01:00	241
20/10/2023	28,4	10:29:00	10:30:23	0:01:23	232
20/10/2023	31,1	14:20:00	14:21:09	0:01:09	232
20/10/2023	31,4	14:21:00	14:22:14	0:01:14	236
20/10/2023	31	14:22:00	14:23:18	0:01:18	232
20/10/2023	31,1	14:23:00	14:24:10	0:01:10	233
20/10/2023	31,4	14:24:00	14:25:21	0:01:21	231
20/10/2023	30,6	14:25:00	14:26:19	0:01:19	233
20/10/2023	30,9	14:26:00	14:27:17	0:01:17	232
20/10/2023	31,2	14:27:00	14:28:16	0:01:16	233
20/10/2023	31,1	14:28:00	14:29:20	0:01:20	231
20/10/2023	30,9	14:29:00	14:30:19	0:01:19	232
21/20/2023	29	10:20:00	10:21:22	0:01:22	233
21/20/2023	29,4	10:21:00	10:22:16	0:01:16	232
21/20/2023	29,5	10:22:00	10:23:19	0:01:19	33
21/20/2023	28,9	10:23:00	10:24:21	0:01:21	232
21/20/2023	28,8	10:24:00	10:25:18	0:01:18	232
21/20/2023	29,5	10:25:00	10:26:16	0:01:16	231
21/20/2023	29,5	10:26:00	10:27:21	0:01:21	232
21/20/2023	28,5	10:27:00	10:28:21	0:01:21	230
21/20/2023	29,5	10:28:00	10:29:19	0:01:19	232
21/20/2023	29,6	10:29:00	10:30:14	0:01:14	228
21/20/2023	31,4	14:20:00	14:21:20	0:01:20	232
21/20/2023	31,5	14:21:00	14:22:23	0:01:23	232
21/20/2023	31,6	14:22:00	14:23:21	0:01:21	230
21/20/2023	31,4	14:23:00	14:24:20	0:01:20	233

21/20/2023	32	14:24:00	14:25:19	0:01:19	231
21/20/2023	30,9	14:25:00	14:26:20	0:01:20	232
21/20/2023	31,7	14:26:00	14:27:14	0:01:14	233
21/20/2023	31,2	14:27:00	14:28:21	0:01:21	232
21/20/2023	32,3	14:28:00	14:29:19	0:01:19	234
21/20/2023	31,6	14:29:00	14:30:21	0:01:21	231

Nota. Autoría propia

Tabla 40*Resultados Latencia y Velocidad a 16.30 Metros Optimizado*

Fecha	Temperatura ambiente (°C)	Hora de envío	Hora de recepción	Latencia	Velocidad
17/10/2023	26,6	10:00:00	10:00:31	0:00:31	1,95
17/10/2023	26,9	10:01:00	10:01:29	0:00:29	1,98
17/10/2023	26,7	10:02:00	10:02:26	0:00:26	2
17/10/2023	26,4	10:03:00	10:03:30	0:00:30	2,1
17/10/2023	26,8	10:04:00	10:04:29	0:00:29	1,95
17/10/2023	26,5	10:05:00	10:05:29	0:00:29	1,94
17/10/2023	27	10:06:00	10:06:28	0:00:28	1,95
17/10/2023	26,8	10:07:00	10:07:26	0:00:26	1,96
17/10/2023	26,3	10:08:00	10:08:30	0:00:30	1,98
17/10/2023	26,6	10:09:00	10:09:31	0:00:31	1,99
17/10/2023	29,3	14:00:00	14:00:28	0:00:28	1,95
17/10/2023	29,1	14:01:00	14:01:30	0:00:30	1,98
17/10/2023	30	14:02:00	14:02:27	0:00:27	2
17/10/2023	29,5	14:03:00	14:03:30	0:00:30	2,1
17/10/2023	29,4	14:04:00	14:04:31	0:00:31	1,95
17/10/2023	29,6	14:05:00	14:05:28	0:00:28	1,94
17/10/2023	29,4	14:06:00	14:06:29	0:00:29	1,95
17/10/2023	29,9	14:07:00	14:07:26	0:00:26	1,96
17/10/2023	30,1	14:08:00	14:08:32	0:00:32	1,98
17/10/2023	29,7	14:09:00	14:09:27	0:00:27	1,99
18/10/2023	28,4	10:00:00	10:00:26	0:00:26	1,94
18/10/2023	28,5	10:01:00	10:01:28	0:00:28	1,95
18/10/2023	28,4	10:02:00	10:02:25	0:00:25	1,96
18/10/2023	28,7	10:03:00	10:03:30	0:00:30	1,98
18/10/2023	28,1	10:04:00	10:04:28	0:00:28	1,99
18/10/2023	28,5	10:05:00	10:05:29	0:00:29	1,95
18/10/2023	28,5	10:06:00	10:06:30	0:00:30	1,98
18/10/2023	28,5	10:07:00	10:07:28	0:00:28	2

18/10/2023	28,7	10:08:00	10:08:27	0:00:27	2,1
18/10/2023	28,9	10:09:00	10:09:29	0:00:29	1,95
18/10/2023	30,3	14:00:00	14:00:29	0:00:29	1,94
18/10/2023	30,1	14:01:00	14:01:31	0:00:31	1,96
18/10/2023	30	14:02:00	14:02:28	0:00:28	1,98
18/10/2023	30,6	14:03:00	14:03:27	0:00:27	1,99
18/10/2023	30,2	14:04:00	14:04:29	0:00:29	1,94
18/10/2023	30,5	14:05:00	14:05:25	0:00:25	1,95
18/10/2023	30,7	14:06:00	14:06:32	0:00:32	1,96
18/10/2023	30,2	14:07:00	14:07:29	0:00:29	1,98
18/10/2023	30,5	14:08:00	14:08:30	0:00:30	1,99
18/10/2023	30,1	14:09:00	14:09:31	0:00:31	1,95
19/10/2023	29,5	10:00:00	10:00:27	0:00:27	1,98
19/10/2023	29,5	10:01:00	10:01:26	0:00:26	1,95
19/10/2023	29,4	10:02:00	10:02:31	0:00:31	1,96
19/10/2023	29,6	10:03:00	10:03:31	0:00:31	1,98
19/10/2023	29,7	10:04:00	10:04:30	0:00:30	1,99
19/10/2023	29,1	10:05:00	10:05:32	0:00:32	1,95
19/10/2023	29,4	10:06:00	10:06:29	0:00:29	1,98
19/10/2023	29,4	10:07:00	10:07:30	0:00:30	2
19/10/2023	29,6	10:08:00	10:08:31	0:00:31	2,1
19/10/2023	29,5	10:09:00	10:09:29	0:00:29	1,95
19/10/2023	31,3	14:00:00	14:00:28	0:00:28	1,94
19/10/2023	31,2	14:01:00	14:01:29	0:00:29	1,96
19/10/2023	31	14:02:00	14:02:27	0:00:27	1,98
19/10/2023	31,5	14:03:00	14:03:32	0:00:32	1,99
19/10/2023	31,5	14:04:00	14:04:27	0:00:27	1,94
19/10/2023	31,6	14:05:00	14:05:29	0:00:29	1,95
19/10/2023	31	14:06:00	14:06:30	0:00:30	1,96
19/10/2023	31,5	14:07:00	14:07:27	0:00:27	1,98
19/10/2023	31,3	14:08:00	14:08:33	0:00:33	1,99
19/10/2023	31,7	14:09:00	14:09:29	0:00:29	1,95
20/10/2023	28,1	10:00:00	10:00:29	0:00:29	1,98

20/10/2023	28,6	10:01:00	10:01:32	0:00:32	2
20/10/2023	28,5	10:02:00	10:02:28	0:00:28	2,1
20/10/2023	28,5	10:03:00	10:03:29	0:00:29	1,95
20/10/2023	28,7	10:04:00	10:04:27	0:00:27	1,94
20/10/2023	28,4	10:05:00	10:05:30	0:00:30	1,96
20/10/2023	28,8	10:06:00	10:06:26	0:00:26	1,98
20/10/2023	28,2	10:07:00	10:07:27	0:00:27	1,99
20/10/2023	28,9	10:08:00	10:08:25	0:00:25	1,94
20/10/2023	28,4	10:09:00	10:09:30	0:00:30	1,96
20/10/2023	31	14:00:00	14:00:31	0:00:31	1,98
20/10/2023	31,4	14:01:00	14:01:29	0:00:29	1,99
20/10/2023	30,9	14:02:00	14:02:32	0:00:32	1,94
20/10/2023	31,1	14:03:00	14:03:28	0:00:28	1,95
20/10/2023	30,7	14:04:00	14:04:32	0:00:32	1,96
20/10/2023	30,6	14:05:00	14:05:28	0:00:28	1,98
20/10/2023	30,9	14:06:00	14:06:26	0:00:26	1,99
20/10/2023	31,2	14:07:00	14:07:29	0:00:29	1,95
20/10/2023	31	14:08:00	14:08:26	0:00:26	1,98
20/10/2023	30,7	14:09:00	14:09:30	0:00:30	2
21/20/2023	29,6	10:00:00	10:00:28	0:00:28	2,1
21/20/2023	29,4	10:01:00	10:01:30	0:00:30	1,95
21/20/2023	29,1	10:02:00	10:02:28	0:00:28	1,94
21/20/2023	28,9	10:03:00	10:03:32	0:00:32	1,96
21/20/2023	28,8	10:04:00	10:04:33	0:00:33	1,98
21/20/2023	29	10:05:00	10:05:24	0:00:24	1,99
21/20/2023	29,5	10:06:00	10:06:29	0:00:29	1,94
21/20/2023	28,5	10:07:00	10:07:32	0:00:32	1,95
21/20/2023	28,9	10:08:00	10:08:30	0:00:30	1,96
21/20/2023	29,6	10:09:00	10:09:28	0:00:28	1,98
21/20/2023	31,1	14:00:00	14:00:30	0:00:30	1,99
21/20/2023	31,5	14:01:00	14:01:29	0:00:29	1,96
21/20/2023	31,6	14:02:00	14:02:31	0:00:31	1,98
21/20/2023	31	14:03:00	14:03:28	0:00:28	1,99

21/20/2023	31,9	14:04:00	14:04:30	0:00:30	1,95
21/20/2023	30,9	14:05:00	14:05:30	0:00:30	1,98
21/20/2023	31,7	14:06:00	14:06:32	0:00:32	2
21/20/2023	31,5	14:07:00	14:07:29	0:00:29	2,1
21/20/2023	31,5	14:08:00	14:08:30	0:00:30	1,95
21/20/2023	31,6	14:09:00	14:09:28	0:00:28	2

Nota. Autoría propia

Tabla 41*Resultados Latencia y Velocidad a 40.87 Metros Optimizado*

Fecha	Temperatura ambiente (°C)	Hora de envío	Hora de recepción	Latencia	Velocidad
17/10/2023	26,6	10:10:00	10:10:40	0:00:40	1,92
17/10/2023	26,3	10:11:00	10:11:42	0:00:42	1,92
17/10/2023	26,7	10:12:00	10:12:46	0:00:46	1,95
17/10/2023	26,4	10:13:00	10:13:50	0:00:50	2,04
17/10/2023	26,8	10:14:00	10:14:45	0:00:45	1,89
17/10/2023	26,5	10:15:00	10:15:44	0:00:44	1,93
17/10/2023	26,7	10:16:00	10:16:47	0:00:47	1,89
17/10/2023	26,8	10:17:00	10:17:41	0:00:41	1,9
17/10/2023	26,3	10:18:00	10:18:44	0:00:44	1,9
17/10/2023	27	10:19:00	10:19:45	0:00:45	1,94
17/10/2023	29,3	14:10:00	14:10:49	0:00:49	1,89
17/10/2023	29,1	14:11:00	14:11:51	0:00:51	1,92
17/10/2023	29,3	14:12:00	14:12:45	0:00:45	1,94
17/10/2023	29,5	14:13:00	14:13:46	0:00:46	2,07
17/10/2023	29,4	14:14:00	14:14:47	0:00:47	1,89
17/10/2023	29,6	14:15:00	14:15:48	0:00:48	1,9
17/10/2023	29,4	14:16:00	14:16:46	0:00:46	1,89
17/10/2023	29,9	14:17:00	14:17:45	0:00:45	1,9
17/10/2023	29,4	14:18:00	14:18:49	0:00:49	1,92
17/10/2023	29,7	14:19:00	14:19:51	0:00:51	1,93
18/10/2023	28,4	10:10:00	10:10:50	0:00:50	1,88
18/10/2023	28,5	10:11:00	10:11:49	0:00:49	1,89
18/10/2023	28,4	10:12:00	10:12:51	0:00:51	1,9
18/10/2023	28,7	10:13:00	10:13:45	0:00:45	1,95
18/10/2023	28,6	10:14:00	10:14:44	0:00:44	1,93
18/10/2023	28,5	10:15:00	10:15:48	0:00:48	1,89
18/10/2023	28,4	10:16:00	10:16:48	0:00:48	1,92
18/10/2023	28,5	10:17:00	10:17:50	0:00:50	1,94

18/10/2023	28,7	10:18:00	10:18:46	0:00:46	2,04
18/10/2023	29	10:19:00	10:19:44	0:00:44	1,89
18/10/2023	30,3	14:10:00	14:10:49	0:00:49	1,88
18/10/2023	30,5	14:11:00	14:11:41	0:00:41	1,9
18/10/2023	30,5	14:12:00	14:12:40	0:00:40	1,92
18/10/2023	30,6	14:13:00	14:13:38	0:00:38	1,93
18/10/2023	30,2	14:14:00	14:14:51	0:00:51	1,88
18/10/2023	30,5	14:15:00	14:15:42	0:00:42	1,89
18/10/2023	30,7	14:16:00	14:16:46	0:00:46	1,9
18/10/2023	30,4	14:17:00	14:17:45	0:00:45	1,92
18/10/2023	30,5	14:18:00	14:18:48	0:00:48	1,93
18/10/2023	30,9	14:19:00	14:19:42	0:00:42	1,89
19/10/2023	29,6	10:10:00	10:10:48	0:00:48	1,92
19/10/2023	29,5	10:11:00	10:11:46	0:00:46	1,89
19/10/2023	29,4	10:12:00	10:12:44	0:00:44	1,9
19/10/2023	29,6	10:13:00	10:13:49	0:00:49	1,92
19/10/2023	29,7	10:14:00	10:14:48	0:00:48	1,93
19/10/2023	29,5	10:15:00	10:15:50	0:00:50	1,89
19/10/2023	29,4	10:16:00	10:16:52	0:00:52	1,89
19/10/2023	29,4	10:17:00	10:17:45	0:00:45	1,94
19/10/2023	29,6	10:18:00	10:18:48	0:00:48	2,04
19/10/2023	29,1	10:19:00	10:19:46	0:00:46	1,88
19/10/2023	31,4	14:10:00	14:10:54	0:00:54	1,88
19/10/2023	31,2	14:11:00	14:11:49	0:00:49	1,9
19/10/2023	31,5	14:12:00	14:12:48	0:00:48	1,92
19/10/2023	31,5	14:13:00	14:13:46	0:00:46	1,93
19/10/2023	31,5	14:14:00	14:14:52	0:00:52	1,88
19/10/2023	31,6	14:15:00	14:15:49	0:00:49	1,89
19/10/2023	30,9	14:16:00	14:16:48	0:00:48	1,9
19/10/2023	31,5	14:17:00	14:17:44	0:00:44	1,92
19/10/2023	31,3	14:18:00	14:18:44	0:00:44	1,93
19/10/2023	31,5	14:19:00	14:19:47	0:00:47	1,89
20/10/2023	28,2	10:10:00	10:10:44	0:00:44	1,92

20/10/2023	28,6	10:11:00	10:11:46	0:00:46	1,94
20/10/2023	28,7	10:12:00	10:12:48	0:00:48	2,04
20/10/2023	28,5	10:13:00	10:13:42	0:00:42	1,9
20/10/2023	28,1	10:14:00	10:14:49	0:00:49	1,88
20/10/2023	28,4	10:15:00	10:15:47	0:00:47	1,9
20/10/2023	28,5	10:16:00	10:16:53	0:00:53	1,92
20/10/2023	28,2	10:17:00	10:17:47	0:00:47	1,93
20/10/2023	28,9	10:18:00	10:18:52	0:00:52	1,88
20/10/2023	28,9	10:19:00	10:19:49	0:00:49	1,9
20/10/2023	31,1	14:10:00	14:10:53	0:00:53	1,97
20/10/2023	31,4	14:11:00	14:11:51	0:00:51	1,93
20/10/2023	31,4	14:12:00	14:12:46	0:00:46	1,88
20/10/2023	31,1	14:13:00	14:13:51	0:00:51	1,89
20/10/2023	30,7	14:14:00	14:14:48	0:00:48	1,9
20/10/2023	30,9	14:15:00	14:15:53	0:00:53	1,92
20/10/2023	30,9	14:16:00	14:16:48	0:00:48	1,93
20/10/2023	31,1	14:17:00	14:17:52	0:00:52	1,89
20/10/2023	30,5	14:18:00	14:18:49	0:00:49	1,92
20/10/2023	30,7	14:19:00	14:19:50	0:00:50	1,94
21/20/2023	29,6	10:10:00	10:10:47	0:00:47	2,04
21/20/2023	29,4	10:11:00	10:11:44	0:00:44	1,89
21/20/2023	29,5	10:12:00	10:12:50	0:00:50	1,88
21/20/2023	28,9	10:13:00	10:13:51	0:00:51	1,9
21/20/2023	28,8	10:14:00	10:14:48	0:00:48	1,92
21/20/2023	29,4	10:15:00	10:15:51	0:00:51	1,93
21/20/2023	29,5	10:16:00	10:16:48	0:00:48	1,89
21/20/2023	29,7	10:17:00	10:17:53	0:00:53	1,89
21/20/2023	28,9	10:18:00	10:18:48	0:00:48	1,9
21/20/2023	29,6	10:19:00	10:19:51	0:00:51	1,92
21/20/2023	31,5	14:10:00	14:10:43	0:00:43	1,93
21/20/2023	31,5	14:11:00	14:11:42	0:00:42	1,9
21/20/2023	31,4	14:12:00	14:12:46	0:00:46	1,92
21/20/2023	31,7	14:13:00	14:13:51	0:00:51	1,93

21/20/2023	31,9	14:14:00	14:14:48	0:00:48	1,87
21/20/2023	31,1	14:15:00	14:15:53	0:00:53	1,92
21/20/2023	31,7	14:16:00	14:16:47	0:00:47	1,94
21/20/2023	31,5	14:17:00	14:17:50	0:00:50	2,04
21/20/2023	31,9	14:18:00	14:18:52	0:00:52	1,89
21/20/2023	31,4	14:19:00	14:19:49	0:00:49	1,97

Nota. Autoría propia

Tabla 42*Resultados Latencia y Velocidad a 61.67 Metros Optimizado*

Fecha	Temperatura ambiente (°C)	Hora de envío	Hora de recepción	Latencia	Velocidad
17/10/2023	26,6	10:20:00	10:21:08	0:01:08	1,81
17/10/2023	26,9	10:21:00	10:22:13	0:01:13	1,81
17/10/2023	26,7	10:22:00	10:23:11	0:01:11	1,84
17/10/2023	26,4	10:23:00	10:24:15	0:01:15	1,93
17/10/2023	26,8	10:24:00	10:25:13	0:01:13	1,74
17/10/2023	26,5	10:25:00	10:26:15	0:01:15	1,82
17/10/2023	27,1	10:26:00	10:27:09	0:01:09	1,78
17/10/2023	26,8	10:27:00	10:28:13	0:01:13	1,79
17/10/2023	26,3	10:28:00	10:29:16	0:01:16	1,79
17/10/2023	26,6	10:29:00	10:30:18	0:01:18	1,83
17/10/2023	29,3	14:20:00	14:21:08	0:01:08	1,75
17/10/2023	29,1	14:21:00	14:22:16	0:01:16	1,81
17/10/2023	29,9	14:22:00	14:23:12	0:01:12	1,83
17/10/2023	29,5	14:23:00	14:24:15	0:01:15	1,96
17/10/2023	29,4	14:24:00	14:25:17	0:01:17	1,78
17/10/2023	29,6	14:25:00	14:26:18	0:01:18	1,79
17/10/2023	29,4	14:26:00	14:27:19	0:01:19	1,78
17/10/2023	29,9	14:27:00	14:28:12	0:01:12	1,77
17/10/2023	29,6	14:28:00	14:29:14	0:01:14	1,81
17/10/2023	29,7	14:29:00	14:30:19	0:01:19	1,82
18/10/2023	28,4	10:20:00	10:21:17	0:01:17	1,77
18/10/2023	28,5	10:21:00	10:22:19	0:01:19	1,78
18/10/2023	28,3	10:22:00	10:23:14	0:01:14	1,79
18/10/2023	28,7	10:23:00	10:24:15	0:01:15	1,84
18/10/2023	28,2	10:24:00	10:25:07	0:01:07	1,82
18/10/2023	28,5	10:25:00	10:26:14	0:01:14	1,78
18/10/2023	38,6	10:26:00	10:27:10	0:01:10	1,82
18/10/2023	28,5	10:27:00	10:28:09	0:01:09	1,83

18/10/2023	28,5	10:28:00	10:29:18	0:01:18	1,93
18/10/2023	28,9	10:29:00	10:30:13	0:01:13	1,78
18/10/2023	30,3	14:20:00	14:21:06	0:01:06	1,77
18/10/2023	30,4	14:21:00	14:22:14	0:01:14	1,79
18/10/2023	30,4	14:22:00	14:23:15	0:01:15	1,81
18/10/2023	30,6	14:23:00	14:24:10	0:01:10	1,82
18/10/2023	30,2	14:24:00	14:25:20	0:01:20	1,77
18/10/2023	30,5	14:25:00	14:26:17	0:01:17	1,77
18/10/2023	30,7	14:26:00	14:27:12	0:01:12	1,79
18/10/2023	30,2	14:27:00	14:28:17	0:01:17	1,81
18/10/2023	30,5	14:28:00	14:29:14	0:01:14	1,82
18/10/2023	30,3	14:29:00	14:30:16	0:01:16	1,78
19/10/2023	29,5	10:20:00	10:21:16	0:01:16	1,81
19/10/2023	29,5	10:21:00	10:22:11	0:01:11	1,78
19/10/2023	29,4	10:22:00	10:23:21	0:01:21	1,79
19/10/2023	29,7	10:23:00	10:24:17	0:01:17	1,81
19/10/2023	29,7	10:24:00	10:25:15	0:01:15	1,82
19/10/2023	29,2	10:25:00	10:26:17	0:01:17	1,78
19/10/2023	29,4	10:26:00	10:27:14	0:01:14	1,78
19/10/2023	29,5	10:27:00	10:28:13	0:01:13	1,8
19/10/2023	29,6	10:28:00	10:29:17	0:01:17	1,93
19/10/2023	29,6	10:29:00	10:30:09	0:01:09	1,77
19/10/2023	31	14:20:00	14:21:12	0:01:12	1,77
19/10/2023	31,2	14:21:00	14:22:14	0:01:14	1,79
19/10/2023	31,1	14:22:00	14:23:12	0:01:12	1,81
19/10/2023	31,5	14:23:00	14:24:17	0:01:17	1,82
19/10/2023	31,5	14:24:00	14:25:12	0:01:12	1,77
19/10/2023	31,4	14:25:00	14:26:14	0:01:14	1,78
19/10/2023	31,2	14:26:00	14:27:16	0:01:16	1,79
19/10/2023	31,5	14:27:00	14:28:12	0:01:12	1,81
19/10/2023	31,3	14:28:00	14:29:17	0:01:17	1,82
19/10/2023	31,2	14:29:00	14:30:11	0:01:11	1,78
20/10/2023	28,4	10:20:00	10:21:16	0:01:16	1,81

20/10/2023	28,6	10:21:00	10:22:15	0:01:15	1,83
20/10/2023	28	10:22:00	10:23:17	0:01:17	1,93
20/10/2023	28,5	10:23:00	10:24:18	0:01:18	1,8
20/10/2023	28,7	10:24:00	10:25:15	0:01:15	1,77
20/10/2023	28,4	10:25:00	10:26:20	0:01:20	1,79
20/10/2023	28,8	10:26:00	10:27:19	0:01:19	1,81
20/10/2023	28,2	10:27:00	10:27:58	0:00:58	1,82
20/10/2023	28,5	10:28:00	10:28:58	0:00:58	1,77
20/10/2023	28,4	10:29:00	10:30:21	0:01:21	1,79
20/10/2023	31,1	14:20:00	14:21:07	0:01:07	1,86
20/10/2023	31,4	14:21:00	14:22:12	0:01:12	1,82
20/10/2023	31	14:22:00	14:23:16	0:01:16	1,77
20/10/2023	31,1	14:23:00	14:24:08	0:01:08	1,78
20/10/2023	31,4	14:24:00	14:25:19	0:01:19	1,79
20/10/2023	30,6	14:25:00	14:26:17	0:01:17	1,81
20/10/2023	30,9	14:26:00	14:27:15	0:01:15	1,82
20/10/2023	31,2	14:27:00	14:28:14	0:01:14	1,76
20/10/2023	31,1	14:28:00	14:29:18	0:01:18	1,81
20/10/2023	30,9	14:29:00	14:30:17	0:01:17	1,83
21/20/2023	29	10:20:00	10:21:20	0:01:20	1,93
21/20/2023	29,4	10:21:00	10:22:14	0:01:14	1,78
21/20/2023	29,5	10:22:00	10:23:17	0:01:17	1,77
21/20/2023	28,9	10:23:00	10:24:19	0:01:19	1,79
21/20/2023	28,8	10:24:00	10:25:16	0:01:16	1,81
21/20/2023	29,5	10:25:00	10:26:14	0:01:14	1,82
21/20/2023	29,5	10:26:00	10:27:19	0:01:19	1,78
21/20/2023	28,5	10:27:00	10:28:19	0:01:19	1,78
21/20/2023	29,5	10:28:00	10:29:17	0:01:17	1,81
21/20/2023	29,6	10:29:00	10:30:12	0:01:12	1,81
21/20/2023	31,4	14:20:00	14:21:18	0:01:18	1,82
21/20/2023	31,5	14:21:00	14:22:21	0:01:21	1,79
21/20/2023	31,6	14:22:00	14:23:19	0:01:19	1,81
21/20/2023	31,4	14:23:00	14:24:18	0:01:18	1,82

21/20/2023	32	14:24:00	14:25:17	0:01:17	1,76
21/20/2023	30,9	14:25:00	14:26:18	0:01:18	1,82
21/20/2023	31,7	14:26:00	14:27:12	0:01:12	1,83
21/20/2023	31,2	14:27:00	14:28:19	0:01:19	1,93
21/20/2023	32,3	14:28:00	14:29:17	0:01:17	1,78
21/20/2023	31,6	14:29:00	14:30:19	0:01:19	1,86

Nota. Autoría propia

Tabla 43*Resultados de Lectura de Sensores PCE-HCT110*

Fecha y hora	PCE-HCT110		DHT11	
	Temperatura ambiente (°C)	Humedad	Temperatura ambiente (°C)	Humedad
22/10/2023 7:00	22,34	56,5	22,4	55,2
22/10/2023 7:30	22,56	56,1	22,2	54,7
22/10/2023 8:00	23,23	55,3	22,5	54
22/10/2023 8:30	23,98	51,7	23,6	50,3
22/10/2023 9:00	24,64	50,1	24,2	48,5
22/10/2023 9:30	24,91	49,6	24,5	48,2
22/10/2023 10:00	25,27	47,7	25,6	46,6
22/10/2023 10:30	25,87	46,8	26,4	45,3
22/10/2023 11:00	26,12	45,7	26,0	44
22/10/2023 11:30	26,74	44,5	26,3	43,1
22/10/2023 12:00	27,25	43,8	26,8	42
22/10/2023 12:30	28,43	44,6	28,8	43,2
22/10/2023 13:00	28,96	45,5	28,4	43,8
22/10/2023 13:30	29,59	46,1	29,0	44,6
22/10/2023 14:00	29,86	47,5	29,4	46,2
22/10/2023 14:30	29,99	48,6	29,6	47,2
22/10/2023 15:00	30,23	49,8	29,8	48,4
22/10/2023 15:30	30,67	50,3	31,1	49,1
22/10/2023 16:00	30,51	51,6	30,1	50,5
22/10/2023 16:30	30,12	52,7	29,6	51,3
22/10/2023 17:00	29,6	53,6	31,1	52

Nota. Autoría propia

Tabla 44*Resultados de Lectura de Sensores BRI DT 3218*

Fecha y hora	BRI DT 3218		DHT11	
	Temperatura ambiente (°C)	Humedad	Temperatura ambiente (°C)	Humedad
21/10/2023 7:00	24,3	52,6	24,5	53,2
21/10/2023 7:30	24,6	51,7	25,5	52,5
21/10/2023 8:00	24,8	50,4	24,9	51,1
21/10/2023 8:30	25,1	49,3	25,7	50,3
21/10/2023 9:00	25,8	48,6	26,1	49,3
21/10/2023 9:30	26,4	47,9	27	48,7
21/10/2023 10:00	27	46,3	27,6	47,2
21/10/2023 10:30	27,4	45,5	27,9	46,3
21/10/2023 11:00	27,9	44,1	28,6	44,9
21/10/2023 11:30	28,3	43,8	28,6	44,7
21/10/2023 12:00	28,9	41,2	29,5	42
21/10/2023 12:30	29,2	42,5	29,9	43
21/10/2023 13:00	29,6	43,6	30,2	44,4
21/10/2023 13:30	30,1	44,8	30,7	45,63
21/10/2023 14:00	30,7	45,9	31,3	46,7
21/10/2023 14:30	30,6	46,6	30,7	47,4
21/10/2023 15:00	31	47,1	31,8	47,9
21/10/2023 15:30	31,3	48,5	31,7	49
21/10/2023 16:00	31,2	49,3	31,6	50,2
21/10/2023 16:30	30,6	50,3	31,2	51,4
21/10/2023 17:00	29,9	51,2	30,7	52

Nota. Autoría propia

Tabla 45*Condiciones Adversas Temperaturas Altas a 16.30 Metros*

Fecha y hora	Temperatura ambiente (°C)	Calidad del enlace
5/11/2023 11:00am	30,1	78
5/11/2023 11:05am	30,2	77
5/11/2023 11:10am	30,1	77
5/11/2023 11:15am	30,4	76
5/11/2023 11:20am	30,6	75
5/11/2023 11:25am	30,6	74
5/11/2023 11:30am	30,9	78
5/11/2023 11:35am	31,1	77
5/11/2023 11:40am	31,3	78
5/11/2023 11:45am	31,1	77
5/11/2023 11:50am	31,4	76
5/11/2023 11:55am	31,6	74
5/11/2023 12:00pm	31,5	75
5/11/2023 12:05pm	31,8	75
5/11/2023 12:10pm	32,1	75
5/11/2023 12:15pm	32,1	77
5/11/2023 12:20pm	32,3	74
5/11/2023 12:25pm	32,4	78
5/11/2023 12:30pm	32,3	74
5/11/2023 12:35pm	32,5	76
5/11/2023 12:40pm	32,8	78
5/11/2023 12:45pm	33	79
5/11/2023 12:50pm	33	77
5/11/2023 12:55pm	33,1	78
5/11/2023 1:00pm	33,2	81
5/11/2023 1:05pm	33,1	76
5/11/2023 1:10pm	33,2	77
5/11/2023 1:15pm	33,3	78
5/11/2023 1:20pm	33,4	76

5/11/2023 1:25pm	33,1	81
5/11/2023 1:30pm	32,9	81
5/11/2023 1:35pm	32,7	79
5/11/2023 1:40pm	32,6	76
5/11/2023 1:45pm	32,5	80
5/11/2023 1:50pm	32,2	76
5/11/2023 1:55pm	32,1	78
5/11/2023 2:00pm	32	78
5/11/2023 2:05pm	31,9	81
5/11/2023 2:10pm	31,7	79
5/11/2023 2:15pm	31,6	79
5/11/2023 2:20pm	31,5	77
5/11/2023 2:25pm	31,5	76
5/11/2023 2:30pm	31,3	75
5/11/2023 2:35pm	31,1	74
5/11/2023 2:40pm	30,8	74
5/11/2023 2:45pm	30,7	78
5/11/2023 2:50pm	30,5	77
5/11/2023 2:55pm	30,5	75
5/11/2023 3:00pm	30,4	76
5/11/2023 3:05pm	30,4	77
6/11/2023 11:00am	29,7	75
6/11/2023 11:05am	29,9	76
6/11/2023 11:10am	30,1	75
6/11/2023 11:15am	30,4	74
6/11/2023 11:20am	30,5	78
6/11/2023 11:25am	30,7	75
6/11/2023 11:30am	30,9	75
6/11/2023 11:35am	30,9	77
6/11/2023 11:40am	31	74
6/11/2023 11:45am	31,1	77
6/11/2023 11:50am	31,2	77
6/11/2023 11:55am	31,3	77

6/11/2023 12:00pm	31,5	77
6/11/2023 12:05pm	31,7	76
6/11/2023 12:10pm	31,9	76
6/11/2023 12:15pm	32	75
6/11/2023 12:20pm	32,3	76
6/11/2023 12:25pm	32,4	78
6/11/2023 12:30pm	32,5	81
6/11/2023 12:35pm	32,6	76
6/11/2023 12:40pm	32,7	80
6/11/2023 12:45pm	32,7	79
6/11/2023 12:50pm	33,1	78
6/11/2023 12:55pm	33	78
6/11/2023 1:00pm	33,3	79
6/11/2023 1:05pm	33,4	78
6/11/2023 1:10pm	33,6	77
6/11/2023 1:15pm	33,7	78
6/11/2023 1:20pm	33,7	81
6/11/2023 1:25pm	33,5	77
6/11/2023 1:30pm	33,2	78
6/11/2023 1:35pm	33	80
6/11/2023 1:40pm	32,9	79
6/11/2023 1:45pm	32,7	79
6/11/2023 1:50pm	32,7	79
6/11/2023 1:55pm	32,5	77
6/11/2023 2:00pm	32,4	79
6/11/2023 2:05pm	32,2	78
6/11/2023 2:10pm	32,1	76
6/11/2023 2:15pm	31,9	78
6/11/2023 2:20pm	31,8	76
6/11/2023 2:25pm	31,6	77
6/11/2023 2:30pm	31,6	76
6/11/2023 2:35pm	31,5	76
6/11/2023 2:40pm	31,2	78

6/11/2023 2:45pm	30,9	74
6/11/2023 2:50pm	30,7	77
6/11/2023 2:55pm	30,5	77
6/11/2023 3:00pm	30,3	74
6/11/2023 3:05pm	30,1	76

Nota. Autoría propia

Tabla 46*Condiciones Adversas Temperaturas Bajas a 16.30 Metros*

Fecha y hora	Temperatura ambiente (°C)	Calidad del enlace
4/11/2023 5:00am	19,7	72
4/11/2023 5:05am	19,8	74
4/11/2023 5:10am	19,9	75
4/11/2023 5:15am	20,1	74
4/11/2023 5:20am	20,2	75
4/11/2023 5:25am	20,3	76
4/11/2023 5:30am	20,5	71
4/11/2023 5:35am	20,5	74
4/11/2023 5:40am	20,6	71
4/11/2023 5:45am	20,5	71
4/11/2023 5:50am	20,7	74
4/11/2023 5:55am	21	74
4/11/2023 6:00am	21,2	76
4/11/2023 6:05am	21,3	74
4/11/2023 6:10am	21,5	73
4/11/2023 6:15am	21,5	76
4/11/2023 6:20am	21,6	73
4/11/2023 6:25am	21,3	74
4/11/2023 6:30am	21,4	74
4/11/2023 6:35am	21,6	73
4/11/2023 6:40am	21,8	75
4/11/2023 6:45am	22	76
4/11/2023 6:50am	22,1	74
4/11/2023 6:55am	22,4	73
4/11/2023 7:00am	22,5	74
4/11/2023 7:05am	22,6	76
5/11/2023 5:00am	18,4	73
5/11/2023 5:05am	18,6	73
5/11/2023 5:10am	18,9	72

5/11/2023 5:15am	18,8	71
5/11/2023 5:20am	19	71
5/11/2023 5:25am	19,1	71
5/11/2023 5:30am	19,4	76
5/11/2023 5:35am	19,6	73
5/11/2023 5:40am	19,7	72
5/11/2023 5:45am	19,8	76
5/11/2023 5:50am	20	76
5/11/2023 5:55am	20	74
5/11/2023 6:00am	20,1	73
5/11/2023 6:05am	20,1	74
5/11/2023 6:10am	20,2	75
5/11/2023 6:15am	20,3	75
5/11/2023 6:20am	20,6	76
5/11/2023 6:25am	20,7	74
5/11/2023 6:30am	20,9	73
5/11/2023 6:35am	21	76
5/11/2023 6:40am	21,1	76
5/11/2023 6:45am	21,4	76
5/11/2023 6:50am	21,6	73
5/11/2023 6:55am	21,7	75
6/11/2023 5:00am	18,9	76
6/11/2023 5:05am	19	76
6/11/2023 5:10am	19,1	73
6/11/2023 5:15am	19,1	73
6/11/2023 5:20am	19,2	76
6/11/2023 5:25am	19,3	75
6/11/2023 5:30am	19,5	74
6/11/2023 5:35am	19,5	76
6/11/2023 5:40am	19,7	72
6/11/2023 5:45am	19,8	76
6/11/2023 5:50am	19,8	73
6/11/2023 5:55am	19,9	72

6/11/2023 6:00am	19,9	73
6/11/2023 6:05am	20	73
6/11/2023 6:10am	20,1	76
6/11/2023 6:15am	20,1	76
6/11/2023 6:20am	20,4	73
6/11/2023 6:25am	20,5	75
6/11/2023 6:30am	20,8	73
6/11/2023 6:35am	20,9	73
6/11/2023 6:40am	21	73
6/11/2023 6:45am	21,3	76
6/11/2023 6:50am	21,4	74
6/11/2023 6:55am	21,5	74
7/11/2023 5:00am	18,2	73
7/11/2023 5:05am	18,4	71
7/11/2023 5:10am	18,5	76
7/11/2023 5:15am	18,8	73
7/11/2023 5:20am	18,9	75
7/11/2023 5:25am	19	71
7/11/2023 5:30am	19,3	75
7/11/2023 5:35am	19,5	71
7/11/2023 5:40am	19,5	71
7/11/2023 5:45am	19,6	76
7/11/2023 5:50am	19,8	71
7/11/2023 5:55am	19,9	72
7/11/2023 6:00am	20	76
7/11/2023 6:05am	20	76
7/11/2023 6:10am	20,1	76
7/11/2023 6:15am	20,3	74
7/11/2023 6:20am	20,4	75
7/11/2023 6:25am	20,7	76
7/11/2023 6:30am	20,8	73
7/11/2023 6:35am	20,9	75
7/11/2023 6:40am	21	74

7/11/2023 6:45am	21	76
7/11/2023 6:50am	21,2	76
7/11/2023 6:55am	21,3	75
7/11/2023 7:00am	21,5	73
7/11/2023 7:05am	21,8	76

Nota. Autoría propia

Tabla 47*Condiciones Adversas Temperaturas Altas a 40.87 Metros*

Fecha y hora	Temperatura ambiente (°C)	Calidad del enlace
5/11/2023 11:00am	30,1	68
5/11/2023 11:05am	30,2	67
5/11/2023 11:10am	30,1	68
5/11/2023 11:15am	30,4	66
5/11/2023 11:20am	30,6	65
5/11/2023 11:25am	30,6	63
5/11/2023 11:30am	30,9	68
5/11/2023 11:35am	31,1	69
5/11/2023 11:40am	31,3	68
5/11/2023 11:45am	31,1	66
5/11/2023 11:50am	31,4	66
5/11/2023 11:55am	31,6	64
5/11/2023 12:00pm	31,5	68
5/11/2023 12:05pm	31,8	65
5/11/2023 12:10pm	32,1	65
5/11/2023 12:15pm	32,1	69
5/11/2023 12:20pm	32,3	64
5/11/2023 12:25pm	32,4	66
5/11/2023 12:30pm	32,3	64
5/11/2023 12:35pm	32,5	65
5/11/2023 12:40pm	32,8	68
5/11/2023 12:45pm	33	70
5/11/2023 12:50pm	33	67
5/11/2023 12:55pm	33,1	67
5/11/2023 1:00pm	33,2	71
5/11/2023 1:05pm	33,1	67
5/11/2023 1:10pm	33,2	67
5/11/2023 1:15pm	33,3	67
5/11/2023 1:20pm	33,4	66

5/11/2023 1:25pm	33,1	68
5/11/2023 1:30pm	32,9	71
5/11/2023 1:35pm	32,7	65
5/11/2023 1:40pm	32,6	66
5/11/2023 1:45pm	32,5	72
5/11/2023 1:50pm	32,2	66
5/11/2023 1:55pm	32,1	71
5/11/2023 2:00pm	32	68
5/11/2023 2:05pm	31,9	72
5/11/2023 2:10pm	31,7	69
5/11/2023 2:15pm	31,6	71
5/11/2023 2:20pm	31,5	67
5/11/2023 2:25pm	31,5	69
5/11/2023 2:30pm	31,3	65
5/11/2023 2:35pm	31,1	65
5/11/2023 2:40pm	30,8	64
5/11/2023 2:45pm	30,7	67
5/11/2023 2:50pm	30,5	67
5/11/2023 2:55pm	30,5	62
5/11/2023 3:00pm	30,4	66
5/11/2023 3:05pm	30,4	65
6/11/2023 11:00am	29,7	65
6/11/2023 11:05am	29,9	62
6/11/2023 11:10am	30,1	65
6/11/2023 11:15am	30,4	65
6/11/2023 11:20am	30,5	68
6/11/2023 11:25am	30,7	69
6/11/2023 11:30am	30,9	65
6/11/2023 11:35am	30,9	68
6/11/2023 11:40am	31	64
6/11/2023 11:45am	31,1	65
6/11/2023 11:50am	31,2	67
6/11/2023 11:55am	31,3	63

6/11/2023 12:00pm	31,5	67
6/11/2023 12:05pm	31,7	58
6/11/2023 12:10pm	31,9	66
6/11/2023 12:15pm	32	70
6/11/2023 12:20pm	32,3	66
6/11/2023 12:25pm	32,4	66
6/11/2023 12:30pm	32,5	71
6/11/2023 12:35pm	32,6	65
6/11/2023 12:40pm	32,5	70
6/11/2023 12:45pm	32,7	61
6/11/2023 12:50pm	33,1	68
6/11/2023 12:55pm	33	59
6/11/2023 1:00pm	33,3	69
6/11/2023 1:05pm	33,4	67
6/11/2023 1:10pm	33,6	67
6/11/2023 1:15pm	33,7	70
6/11/2023 1:20pm	33,7	71
6/11/2023 1:25pm	33,5	65
6/11/2023 1:30pm	33,2	68
6/11/2023 1:35pm	33	69
6/11/2023 1:40pm	32,9	69
6/11/2023 1:45pm	32,7	72
6/11/2023 1:50pm	32,4	69
6/11/2023 1:55pm	32,5	63
6/11/2023 2:00pm	32,4	69
6/11/2023 2:05pm	32,2	66
6/11/2023 2:10pm	32,1	66
6/11/2023 2:15pm	31,9	65
6/11/2023 2:20pm	31,8	66
6/11/2023 2:25pm	31,6	67
6/11/2023 2:30pm	31,6	66
6/11/2023 2:35pm	31,5	66
6/11/2023 2:40pm	31,2	68

6/11/2023 2:45pm	30,9	64
6/11/2023 2:50pm	30,7	67
6/11/2023 2:55pm	30,5	67
6/11/2023 3:00pm	30,3	64
6/11/2023 3:05pm	30,8	66

Nota. Autoría propia

Tabla 48*Condiciones Adversas Temperaturas Bajas a 40.87 Metros*

Fecha y hora	Temperatura ambiente (°C)	Calidad del enlace
4/11/2023 5:00am	19,7	63
4/11/2023 5:05am	19,8	65
4/11/2023 5:10am	19,9	66
4/11/2023 5:15am	20,1	65
4/11/2023 5:20am	20,2	66
4/11/2023 5:25am	20,3	65
4/11/2023 5:30am	20,5	62
4/11/2023 5:35am	20,5	65
4/11/2023 5:40am	20,6	61
4/11/2023 5:45am	20,5	62
4/11/2023 5:50am	20,7	65
4/11/2023 5:55am	21	63
4/11/2023 6:00am	21,2	67
4/11/2023 6:05am	21,3	65
4/11/2023 6:10am	21,5	64
4/11/2023 6:15am	21,5	66
4/11/2023 6:20am	21,6	64
4/11/2023 6:25am	21,3	65
4/11/2023 6:30am	21,4	64
4/11/2023 6:35am	21,6	64
4/11/2023 6:40am	21,8	66
4/11/2023 6:45am	22	66
4/11/2023 6:50am	22,1	65
4/11/2023 6:55am	22,4	64
4/11/2023 7:00am	22,5	66
4/11/2023 7:05am	22,6	67
5/11/2023 5:00am	18,4	64
5/11/2023 5:05am	18,6	64
5/11/2023 5:10am	18,9	61

5/11/2023 5:15am	18,8	62
5/11/2023 5:20am	19	62
5/11/2023 5:25am	19,1	63
5/11/2023 5:30am	19,4	67
5/11/2023 5:35am	19,6	64
5/11/2023 5:40am	19,7	64
5/11/2023 5:45am	19,8	67
5/11/2023 5:50am	20	67
5/11/2023 5:55am	20	64
5/11/2023 6:00am	20,1	64
5/11/2023 6:05am	20,1	65
5/11/2023 6:10am	20,2	65
5/11/2023 6:15am	20,3	66
5/11/2023 6:20am	20,6	67
5/11/2023 6:25am	20,7	63
5/11/2023 6:30am	20,9	64
5/11/2023 6:35am	21	67
5/11/2023 6:40am	21,1	66
5/11/2023 6:45am	21,4	67
5/11/2023 6:50am	21,6	64
5/11/2023 6:55am	21,7	67
6/11/2023 5:00am	18,9	67
6/11/2023 5:05am	19	67
6/11/2023 5:10am	19,1	64
6/11/2023 5:15am	19,1	63
6/11/2023 5:20am	19,2	67
6/11/2023 5:25am	19,3	66
6/11/2023 5:30am	19,5	64
6/11/2023 5:35am	19,5	67
6/11/2023 5:40am	19,7	63
6/11/2023 5:45am	19,8	67
6/11/2023 5:50am	19,8	62
6/11/2023 5:55am	19,9	63

6/11/2023 6:00am	19,9	64
6/11/2023 6:05am	20	64
6/11/2023 6:10am	20,1	68
6/11/2023 6:15am	20,1	67
6/11/2023 6:20am	20,4	64
6/11/2023 6:25am	20,5	66
6/11/2023 6:30am	20,8	65
6/11/2023 6:35am	20,9	64
6/11/2023 6:40am	21	64
6/11/2023 6:45am	21,3	67
6/11/2023 6:50am	21,4	64
6/11/2023 6:55am	21,5	65
7/11/2023 5:00am	18,2	64
7/11/2023 5:05am	18,4	61
7/11/2023 5:10am	18,5	67
7/11/2023 5:15am	18,8	64
7/11/2023 5:20am	18,9	65
7/11/2023 5:25am	19	62
7/11/2023 5:30am	19,3	66
7/11/2023 5:35am	19,5	62
7/11/2023 5:40am	19,5	61
7/11/2023 5:45am	19,6	67
7/11/2023 5:50am	19,8	62
7/11/2023 5:55am	19,9	63
7/11/2023 6:00am	20	65
7/11/2023 6:05am	20	67
7/11/2023 6:10am	20,1	67
7/11/2023 6:15am	20,3	65
7/11/2023 6:20am	20,4	67
7/11/2023 6:25am	20,7	67
7/11/2023 6:30am	20,8	64
7/11/2023 6:35am	20,9	66
7/11/2023 6:40am	21	65

7/11/2023 6:45am	21	68
7/11/2023 6:50am	21,2	67
7/11/2023 6:55am	21,3	66
7/11/2023 7:00am	21,5	64
7/11/2023 7:05am	21,8	66

Nota. Autoría propia

Tabla 49*Condiciones Adversas Temperaturas Altas a 61.77 Metros*

Fecha y hora	Temperatura ambiente (°C)	Calidad del enlace
5/11/2023 11:00am	30,1	55
5/11/2023 11:05am	30,2	54
5/11/2023 11:10am	30,1	55
5/11/2023 11:15am	30,4	53
5/11/2023 11:20am	30,6	52
5/11/2023 11:25am	30,6	50
5/11/2023 11:30am	30,9	55
5/11/2023 11:35am	31,1	56
5/11/2023 11:40am	31,3	55
5/11/2023 11:45am	31,1	53
5/11/2023 11:50am	31,4	53
5/11/2023 11:55am	31,6	51
5/11/2023 12:00pm	31,5	55
5/11/2023 12:05pm	31,8	52
5/11/2023 12:10pm	32,1	52
5/11/2023 12:15pm	32,1	56
5/11/2023 12:20pm	32,3	51
5/11/2023 12:25pm	32,4	53
5/11/2023 12:30pm	32,3	51
5/11/2023 12:35pm	32,5	52
5/11/2023 12:40pm	32,8	55
5/11/2023 12:45pm	33	57
5/11/2023 12:50pm	33	54
5/11/2023 12:55pm	33,1	54
5/11/2023 1:00pm	33,2	58
5/11/2023 1:05pm	33,1	54
5/11/2023 1:10pm	33,2	54
5/11/2023 1:15pm	33,3	54
5/11/2023 1:20pm	33,4	53

5/11/2023 1:25pm	33,1	55
5/11/2023 1:30pm	32,9	58
5/11/2023 1:35pm	32,7	52
5/11/2023 1:40pm	32,6	53
5/11/2023 1:45pm	32,5	59
5/11/2023 1:50pm	32,2	53
5/11/2023 1:55pm	32,1	58
5/11/2023 2:00pm	32	55
5/11/2023 2:05pm	31,9	59
5/11/2023 2:10pm	31,7	56
5/11/2023 2:15pm	31,6	58
5/11/2023 2:20pm	31,5	54
5/11/2023 2:25pm	31,5	56
5/11/2023 2:30pm	31,3	52
5/11/2023 2:35pm	31,1	52
5/11/2023 2:40pm	30,8	51
5/11/2023 2:45pm	30,7	54
5/11/2023 2:50pm	30,5	54
5/11/2023 2:55pm	30,5	49
5/11/2023 3:00pm	30,4	53
5/11/2023 3:05pm	30,4	52
6/11/2023 11:00am	29,7	52
6/11/2023 11:05am	29,9	49
6/11/2023 11:10am	30,1	52
6/11/2023 11:15am	30,4	52
6/11/2023 11:20am	30,5	55
6/11/2023 11:25am	30,7	56
6/11/2023 11:30am	30,9	52
6/11/2023 11:35am	30,9	55
6/11/2023 11:40am	31	51
6/11/2023 11:45am	31,1	52
6/11/2023 11:50am	31,2	54
6/11/2023 11:55am	31,3	50

6/11/2023 12:00pm	31,5	54
6/11/2023 12:05pm	31,7	45
6/11/2023 12:10pm	31,9	53
6/11/2023 12:15pm	32	57
6/11/2023 12:20pm	32,3	53
6/11/2023 12:25pm	32,4	53
6/11/2023 12:30pm	32,5	58
6/11/2023 12:35pm	32,6	52
6/11/2023 12:40pm	32,5	57
6/11/2023 12:45pm	32,7	48
6/11/2023 12:50pm	33,1	55
6/11/2023 12:55pm	33	46
6/11/2023 1:00pm	33,3	56
6/11/2023 1:05pm	33,4	54
6/11/2023 1:10pm	33,6	54
6/11/2023 1:15pm	33,7	57
6/11/2023 1:20pm	33,7	58
6/11/2023 1:25pm	33,5	52
6/11/2023 1:30pm	33,2	55
6/11/2023 1:35pm	33	56
6/11/2023 1:40pm	32,9	56
6/11/2023 1:45pm	32,7	59
6/11/2023 1:50pm	32,4	56
6/11/2023 1:55pm	32,5	50
6/11/2023 2:00pm	32,4	56
6/11/2023 2:05pm	32,2	53
6/11/2023 2:10pm	32,1	53
6/11/2023 2:15pm	31,9	52
6/11/2023 2:20pm	31,8	53
6/11/2023 2:25pm	31,6	54
6/11/2023 2:30pm	31,6	53
6/11/2023 2:35pm	31,5	53
6/11/2023 2:40pm	31,2	55

6/11/2023 2:45pm	30,9	51
6/11/2023 2:50pm	30,7	54
6/11/2023 2:55pm	30,5	51
6/11/2023 3:00pm	30,3	51
6/11/2023 3:05pm	30,8	53

Nota. Autoría propia

Tabla 50*Condiciones Adversas Temperaturas Bajas a 61.67 Metros*

Fecha y hora	Temperatura ambiente (°C)	Calidad del enlace
4/11/2023 5:00am	19,7	49
4/11/2023 5:05am	19,8	51
4/11/2023 5:10am	19,9	52
4/11/2023 5:15am	20,1	51
4/11/2023 5:20am	20,2	52
4/11/2023 5:25am	20,3	51
4/11/2023 5:30am	20,5	48
4/11/2023 5:35am	20,5	51
4/11/2023 5:40am	20,6	47
4/11/2023 5:45am	20,5	48
4/11/2023 5:50am	20,7	51
4/11/2023 5:55am	21	49
4/11/2023 6:00am	21,2	53
4/11/2023 6:05am	21,3	51
4/11/2023 6:10am	21,5	50
4/11/2023 6:15am	21,5	52
4/11/2023 6:20am	21,6	50
4/11/2023 6:25am	21,3	51
4/11/2023 6:30am	21,4	50
4/11/2023 6:35am	21,6	50
4/11/2023 6:40am	21,8	52
4/11/2023 6:45am	22	52
4/11/2023 6:50am	22,1	51
4/11/2023 6:55am	22,4	50
4/11/2023 7:00am	22,5	52
4/11/2023 7:05am	22,6	53
5/11/2023 5:00am	18,4	50
5/11/2023 5:05am	18,6	50
5/11/2023 5:10am	18,9	47

5/11/2023 5:15am	18,8	48
5/11/2023 5:20am	19	48
5/11/2023 5:25am	19,1	49
5/11/2023 5:30am	19,4	53
5/11/2023 5:35am	19,6	50
5/11/2023 5:40am	19,7	50
5/11/2023 5:45am	19,8	53
5/11/2023 5:50am	20	53
5/11/2023 5:55am	20	50
5/11/2023 6:00am	20,1	50
5/11/2023 6:05am	20,1	51
5/11/2023 6:10am	20,2	51
5/11/2023 6:15am	20,3	52
5/11/2023 6:20am	20,6	53
5/11/2023 6:25am	20,7	49
5/11/2023 6:30am	20,9	50
5/11/2023 6:35am	21	53
5/11/2023 6:40am	21,1	52
5/11/2023 6:45am	21,4	53
5/11/2023 6:50am	21,6	50
5/11/2023 6:55am	21,7	53
6/11/2023 5:00am	18,9	53
6/11/2023 5:05am	19	53
6/11/2023 5:10am	19,1	50
6/11/2023 5:15am	19,1	49
6/11/2023 5:20am	19,2	53
6/11/2023 5:25am	19,3	52
6/11/2023 5:30am	19,5	50
6/11/2023 5:35am	19,5	53
6/11/2023 5:40am	19,7	49
6/11/2023 5:45am	19,8	53
6/11/2023 5:50am	19,8	48
6/11/2023 5:55am	19,9	49

6/11/2023 6:00am	19,9	50
6/11/2023 6:05am	20	50
6/11/2023 6:10am	20,1	54
6/11/2023 6:15am	20,1	53
6/11/2023 6:20am	20,4	50
6/11/2023 6:25am	20,5	52
6/11/2023 6:30am	20,8	51
6/11/2023 6:35am	20,9	50
6/11/2023 6:40am	21	50
6/11/2023 6:45am	21,3	53
6/11/2023 6:50am	21,4	50
6/11/2023 6:55am	21,5	51
7/11/2023 5:00am	18,2	50
7/11/2023 5:05am	18,4	47
7/11/2023 5:10am	18,5	53
7/11/2023 5:15am	18,8	50
7/11/2023 5:20am	18,9	51
7/11/2023 5:25am	19	48
7/11/2023 5:30am	19,3	52
7/11/2023 5:35am	19,5	48
7/11/2023 5:40am	19,5	47
7/11/2023 5:45am	19,6	53
7/11/2023 5:50am	19,8	48
7/11/2023 5:55am	19,9	49
7/11/2023 6:00am	20	51
7/11/2023 6:05am	20	53
7/11/2023 6:10am	20,1	53
7/11/2023 6:15am	20,3	51
7/11/2023 6:20am	20,4	53
7/11/2023 6:25am	20,7	53
7/11/2023 6:30am	20,8	50
7/11/2023 6:35am	20,9	52
7/11/2023 6:40am	21	51

7/11/2023 6:45am	21	54
7/11/2023 6:50am	21,2	53
7/11/2023 6:55am	21,3	52
7/11/2023 7:00am	21,5	54
7/11/2023 7:05am	21,8	52

Nota. Autoría propia

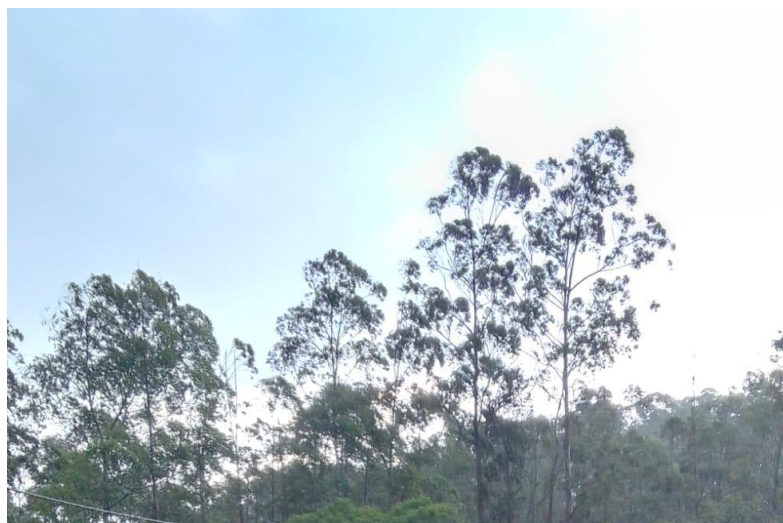
Apéndice B*Evidencia Fotográfica Extra y Videos***Figura 56***Día Soleado**Nota. Autoría propia***Figura 57***Día Nublado**Nota. Autoría propia*

Figura 58

Día con Lluvia



Nota. Autoría propia

Se adjuntan los distintos videos de todas las pruebas realizadas desde el momento inicial del proyecto.

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (09 de marzo de 2023). Prueba 1 distancia. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/-Jorul9OA1g>.

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (09 de marzo de 2023). Prueba 2 distancia. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/jB0FRjxaNto>

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (09 de marzo de 2023). Prueba 3 - 1 distancia. [Vídeo] YouTube. https://youtu.be/NXy2T_A4MhQ

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (09 de marzo de 2023). Prueba 3 - 1 distancia. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/Y-xzFasxD48>

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (25 de mayo de 2023). Prueba 1 sensores. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/EbNQxJ-0mRs>.

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (25 de mayo de 2023). Prueba 2 sensores. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/tuMeSZI49t4>.

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (25 de mayo de 2023). Prueba 3 sensores. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/jpG7f-98f44>.

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (25 de mayo de 2023). Prueba 1 sistema de riego. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/8siYX2ZRdRo>.

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (25 de mayo de 2023). Prueba 2 sistema de riego. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/tVBLKogPuR8>.

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (25 de mayo de 2023). Prueba 3 sistema de riego. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/j869B06gLh4>.

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (13 de junio de 2023). Prueba 1 tolerancia. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/fLNsnQyLi6M>

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (13 de junio de 2023). Prueba 2 tolerancia. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/ouGG5hT4BfQ>

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (13 de junio de 2023). Prueba 3 tolerancia. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/dpYvcj8I8QQ>

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (18 de junio de 2023). Dispositivo Transmisor. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/b7XsodUu4Vg>

Estupiñán Murillo, Daniel Alfonso. (19 de junio de 2023). Dispositivo Receptor. [Vídeo] YouTube. <https://youtu.be/LB536O7tzB8>

Apéndice C

Código y Software

```

#include <Wire.h> // Incluye la sección Wire

#Transmisor Prueba de alcance y cobertura

#include <SPI.h> // incluye libreria SPI para comunicacion con el modulo

#include <RF24.h> // incluye la seccion NRF24 de la libreria RadioHead

#include <DHT.h> // incluye libreria necesaria para el uso del sensor DHT11

#include <DHT_U.h> // incluye libreria necesaria para el uso del sensor DHT11

RF24 radio(9, 10); // Pin CE, CSN

#define SENSOR 4 // establece a SENSOR con numero 4, pin de senal del DHT11

DHT dht(SENSOR, DHT11); // crea objeto dht

int TEMPERATURA; // variable para almacenar valor de temperatura

int HUMEDAD; // variable para almacenar valor de humedad

int HUMEDADSUELO=A0; // sensor de humedad del suelo

int sen_value; // lectura del sensor de humedad.

String str_humedad; // string para almacenar valor de humedad ambiente

String str_temperatura; // string para almacenar valor de temperatura

String str_humedadsuelo; // string para almacenar valor de humedad del suelo

String str_datos; // string para almacenar valores separados por coma

String str_humedadSu;

void setup() {

    pinMode(HUMEDADSUELO,INPUT); // declarar tipo de entrada para el sensor

    Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps

```

```

if (radio.init()) // si falla inicializacion de modulo muestra texto

    Serial.println("fallo");

if (radio.setChannel(2)) // si falla establecer canal muestra texto

    Serial.println("fallo en establecer canal");

// si falla opciones

Serial.println("fallo en opciones RF"); // RF muestra texto

dht.begin(); // inicializa sensor

delay(5000); // demora de 2 segundos para estabilizar lectura de sensor

lcd.print("Bienvenido"); // imprimir mensaje de bienvenida

}

void loop(){

    TEMPERATURA = dht.readTemperature(); // obtiene y almacena el valor de temperatura

    HUMEDAD = dht.readHumidity(); // obtiene y almacena el valor de humedad ambiente

    sen_value = analogRead(HUMEDADSUELO); // obtiene y almacena el valor de humedad en

el suelo

    str_temperatura = String(TEMPERATURA); // convierte a string valor entero de temperatura

    str_humedad = String(HUMEDAD); // convierte a string valor entero de humedad ambiente

    str_humedadsuelo = String(HUMEDADSUELO); // convierte a string valor entero de

humedad del suelo

    str_humedadSu = String(sen_value);

    str_datos = str_temperatura + "," + str_humedad + "," + str_humedadsuelo; // concatena

valores separados mediante una coma

    static char *datos = str_datos.c_str(); // convierte a string en formato de lenguaje C

```

```

    radio.send((uint8_t *)datos, strlen(datos)); // envía datos

    radio.waitPacketSent(); // espera hasta realizado el envío

    delay(18000); // demora de 30 minutos entre envíos

    Serial.print("Temperatura: "); // muestra texto

    Serial.print(str_temperatura); // muestra valor de la variable de temperatura

    Serial.print(" Humedad Ambiente: "); // muestra texto

    Serial.println(str_humedad); // muestra valor de la variable humedad ambiente

    Serial.print(" Humedad Suelo: "); // muestra texto

    Serial.println(str_humedadsuelo); // muestra valor de la variable humedad ambiente

    Serial.println();}

#include <Wire.h> // Incluye la sección Wire

#Receptor Prueba de alcance y cobertura

#include <SPI.h> // incluye libreria SPI para comunicacion con el modulo

#include <RF24.h> // incluye la seccion NRF24 de la libreria RadioHead

RF24 radio(9, 10); // Pin CE, CSN

String str_datos; // string para almacenar valores separados por coma

String str_temperatura; // string para almacenar valor de temperatura

String str_humedad; // string para almacenar valor de humedad ambiente

String str_humedadsuelo; // string para almacenar valor de humedad del suelo

int hums; // int para almacenar la humedad del suelo

void setup() {

    Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps

```

```

if (radio.init()) // si falla inicializacion de modulo muestra texto

    Serial.println("fallo");

if (radio.setChannel(2)) // si falla establecer canal muestra texto

    Serial.println("fallo en establecer canal");

// si falla opciones

Serial.println("fallo en opciones RF"); // RF muestra texto

Serial.println("Conexion Exitosa"); // texto para no comenzar con ventana vacia

delay(2000); // tiempo entre la siguiente consulta

Serial.println("Receptor Iniciado"); // texto para no comenzar con ventana vacia

}

void loop(){

    int8_t signalStrength = radio.getSignalStrength(); //Guarda el valor de signal strength

    Serial.print("Potencia de señal recibida: "); //Escribe en serial print

    Serial.println(signalStrength); // Escribe en serial print el valor de signal strength

    uint8_t buf[11]; // (tamaño) buffer de 10 posiciones

    uint8_t buflen = sizeof(buf); // obtiene longitud del buffer

    int tamano = str_datos.length(); // almacenar el tamaño del string

    if (radio.recv(buf, &buflen)) // si hay informacion valida disponible

    {

        str_datos = String((char*)buf); // almacena en str_datos datos recibidos

        for (int i = 0; i < tamano; i++) { // bucle recorre str_datos desde el inicio

            if (str_datos.substring(i, i+1) == ",") { // si en el indice hay una coma

```

```

    str_temperatura = str_datos.substring(0, i); // obtiene desde indice 0 hasta una posicion
anterior

```

```

    str_humedad = str_datos.substring(i+1, i+3); // obtiene desde indice posterior a la coma
    str_humedadsuelo = str_datos.substring(tamano-2, tamano); // obtiene los valores finales
    //hums = int(str_humedadsuelo); // convertir el valor de humedad del suelo en entero
    break;    // hasta el final del string y sale del bucle
}
}

```

```

    Serial.print("Temperatura: "); // muestra texto
    Serial.print(str_temperatura); // muestra valor de la variable de temperatura
    Serial.print(" Humedad Ambiente: "); // muestra texto
    Serial.print(str_humedad); // muestra valor de la variable humedad ambiente
    Serial.print(" Humedad Suelo: "); // muestra texto
    Serial.println(str_humedadsuelo); // muestra valor de la variable humedad suelo
    Serial.print("Datos: "); // muestra texto de todos los datos traídos
    Serial.println(str_datos); // muestra el valor de todos los datos obtenidos
}
}

```

```

#include <Wire.h> // Incluye la sección Wire

```

```

#Transmisor Prueba de alcance y cobertura optimizado

```

```

#include <SPI.h> // incluye libreria SPI para comunicacion con el modulo

```

```

#include <RF24.h> // incluye la seccion NRF24 de la libreria RadioHead

```

```

#include <DHT.h> // incluye libreria necesaria para el uso del sensor DHT11

```

```

#include <DHT_U.h> // incluye libreria necesaria para el uso del sensor DHT11

```

```

RF24 radio(9, 10); // Pin CE, CSN

#define SENSOR 4 // establece a SENSOR con numero 4, pin de senal del DHT11

DHT dht(SENSOR, DHT11); // crea objeto dht

int TEMPERATURA; // variable para almacenar valor de temperatura

int HUMEDAD; // variable para almacenar valor de humedad

int HUMEDADSUELO=A0; // sensor de humedad del suelo

int sen_value; // lectura del sensor de humedad.

String str_humedad; // string para almacenar valor de humedad ambiente

String str_temperatura; // string para almacenar valor de temperatura

String str_humedadsuelo; // string para almacenar valor de humedad del suelo

String str_datos; // string para almacenar valores separados por coma

String str_humedadSu;

void setup() {

  radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);

  pinMode(HUMEDADSUELO,INPUT); // declarar tipo de entrada para el sensor

  Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps

  if (!nrf24.init()) // si falla inicializacion de modulo muestra texto

    Serial.println("fallo");

  if (!nrf24.setChannel(2)) // si falla establecer canal muestra texto

    Serial.println("fallo en establecer canal");

  // si falla opciones

  Serial.println("fallo en opciones RF"); // RF muestra texto

  dht.begin(); // inicializa sensor

```

```

delay(5000); // demora de 2 segundos para estabilizar lectura de sensor

lcd.print("Bienvenido"); // imprimir mensaje de bienvenida
}

void loop(){

    TEMPERATURA = dht.readTemperature(); // obtiene y almacena el valor de temperatura
    HUMEDAD = dht.readHumidity(); // obtiene y almacena el valor de humedad ambiente
    sen_value = analogRead(HUMEDADSUELO); // obtiene y almacena el valor de humedad en
el suelo

    str_temperatura = String(TEMPERATURA); // convierte a string valor entero de temperatura
    str_humedad = String(HUMEDAD); // convierte a string valor entero de humedad ambiente
    str_humedadsuelo = String(HUMEDADSUELO); // convierte a string valor entero de
humedad del suelo

    str_humedadSu = String(sen_value);

    str_datos = str_temperatura + "," + str_humedad + "," + str_humedadsuelo; // concatena
valores separados mediante una coma

    static char *datos = str_datos.c_str(); // convierte a string en formato de lenguaje C
    nrf24.send((uint8_t *)datos, strlen(datos)); // envía datos
    nrf24.waitPacketSent(); // espera hasta realizado el envío
    delay(18000); // demora de 30 minutos entre envíos

    Serial.print("Temperatura: "); // muestra texto
    Serial.print(str_temperatura); // muestra valor de la variable de temperatura
    Serial.print(" Humedad Ambiente: "); // muestra texto
    Serial.println(str_humedad); // muestra valor de la variable humedad ambiente

```

```

Serial.print(" Humedad Suelo: "); // muestra texto

Serial.println(str_humedadsuelo); // muestra valor de la variable humedad ambiente

Serial.println();

}

```

```

#include <Wire.h> // Incluye la sección Wire

#Receptor Prueba de alcance y cobertura optimizado

#include <SPI.h> // incluye libreria SPI para comunicacion con el modulo

#include <RF24.h> // incluye la seccion NRF24 de la libreria RadioHead

RF24 radio(9, 10); // Pin CE, CSN

String str_datos; // string para almacenar valores separados por coma

String str_temperatura; // string para almacenar valor de temperatura

String str_humedad; // string para almacenar valor de humedad ambiente

String str_humedadsuelo; // string para almacenar valor de humedad del suelo

int hums; // int para almacenar la humedad del suelo

void setup() {

  Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps

  if (radio.init()) // si falla inicializacion de modulo muestra texto

    Serial.println("fallo");

  if (radio.setChannel(2)) // si falla establecer canal muestra texto

    Serial.println("fallo en establecer canal");

  // si falla opciones

  Serial.println("fallo en opciones RF"); // RF muestra texto

```

```

Serial.println("Conexion Exitosa"); // texto para no comenzar con ventana vacia

delay(2000); // tiempo entre la siguiente consulta

Serial.println("Receptor Iniciado"); // texto para no comenzar con ventana vacia
}

void loop(){

    int8_t signalStrength = radio.getSignalStrength(); //Guarda el valor de signal strength

    Serial.print("Potencia de señal recibida: "); //Escribe en serial print

    Serial.println(signalStrength); // Escribe en serial print el valor de signal strength

    uint8_t buf[11]; // (tamaño) buffer de 10 posiciones

    uint8_t buflen = sizeof(buf); // obtiene longitud del buffer

    int tamano = str_datos.length(); // almacenar el tamaño del string

    if (radio.recv(buf, &buflen)) // si hay informacion valida disponible
    {

        str_datos = String((char*)buf); // almacena en str_datos datos recibido

        for (int i = 0; i < tamano; i++) { // bucle recorre str_datos desde el inicio

            if (str_datos.substring(i, i+1) == ",") { // si en el indice hay una coma

                str_temperatura = str_datos.substring(0, i); // obtiene desde indice 0 hasta una posicion
anterior

                str_humedad = str_datos.substring(i+1, i+3); // obtiene desde indice posterior a la coma
hasta do

                str_humedadsuelo = str_datos.substring(tamano-2, tamano); // obtiene los valores finales

                //hums = int(str_humedadsuelo); // convertir el valor de humedad del suelo en entero

                break; // hasta el final del string y sale del bucle

```

```

    }}

    Serial.print("Temperatura: "); // muestra texto

    Serial.print(str_temperatura); // muestra valor de la variable de temperatura

    Serial.print(" Humedad Ambiente: "); // muestra texto

    Serial.print(str_humedad); // muestra valor de la variable humedad ambiente

    Serial.print(" Humedad Suelo: "); // muestra texto

    Serial.println(str_humedadsuelo); // muestra valor de la variable humedad suelo

    Serial.print("Datos: "); // muestra texto de todos los datos traídos

    Serial.println(str_datos); // muestra el valor de todos los datos obtenidos

} }

#include <Wire.h> // Incluye la sección Wire

#Transmisor Prueba de interferencia

#include <SPI.h> // incluye librería SPI para comunicación con el módulo

#include <RF24.h> // incluye la sección NRF24 de la librería RadioHead

#include <DHT.h> // incluye librería necesaria para el uso del sensor DHT11

#include <DHT_U.h> // incluye librería necesaria para el uso del sensor DHT11

RF24 radio(9, 10); // Pin CE, CSN

#define SENSOR 4 // establece a SENSOR con número 4, pin de señal del DHT11

DHT dht(SENSOR, DHT11); // crea objeto dht

int TEMPERATURA; // variable para almacenar valor de temperatura

int HUMEDAD; // variable para almacenar valor de humedad

int HUMEDADSUELO=A0; // sensor de humedad del suelo

```

```
int sen_value; // lectura del sensor de humedad.

String str_humedad; // string para almacenar valor de humedad ambiente

String str_temperatura; // string para almacenar valor de temperatura

String str_humedadsuelo; // string para almacenar valor de humedad del suelo

String str_datos; // string para almacenar valores separados por coma

String str_humedadSu;

void setup() {

    pinMode(HUMEDADSUELO,INPUT); // declarar tipo de entrada para el sensor

    Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps

    if (radio.init()) // si falla inicializacion de modulo muestra texto

        Serial.println("fallo");

    if (radio.setChannel(2)) // si falla establecer canal muestra texto

        Serial.println("fallo en establecer canal");

    // si falla opciones

    Serial.println("fallo en opciones RF"); // RF muestra texto

    dht.begin(); // inicializa sensor

    delay(5000); // demora de 2 segundos para estabilizar lectura de sensor

    lcd.print("Bienvenido"); // imprimir mensaje de bienvenida

}

void loop(){

    TEMPERATURA = dht.readTemperature(); // obtiene y almacena el valor de temperatura

    HUMEDAD = dht.readHumidity(); // obtiene y almacena el valor de humedad ambiente
```

```
sen_value = analogRead(HUMEDADSUELO); // obtiene y almacena el valor de humedad en
el suelo
```

```
str_temperatura = String(TEMPERATURA); // convierte a string valor entero de temperatura
```

```
str_humedad = String(HUMEDAD); // convierte a string valor entero de humedad ambiente
```

```
str_humedadsuelo = String(HUMEDADSUELO); // convierte a string valor entero de
humedad del suelo
```

```
str_humedadSu = String(sen_value);
```

```
str_datos = str_temperatura + "," + str_humedad + "," + str_humedadsuelo; // concatena
valores separados mediante una coma
```

```
static char *datos = str_datos.c_str(); // convierte a string en formato de lenguaje C
```

```
radio.send((uint8_t *)datos, strlen(datos)); // envía datos
```

```
radio.waitPacketSent(); // espera hasta realizado el envío
```

```
delay(18000); // demora de 30 minutos entre envíos
```

```
Serial.print("Temperatura: "); // muestra texto
```

```
Serial.print(str_temperatura); // muestra valor de la variable de temperatura
```

```
Serial.print(" Humedad Ambiente: "); // muestra texto
```

```
Serial.println(str_humedad); // muestra valor de la variable humedad ambiente
```

```
Serial.print(" Humedad Suelo: "); // muestra texto
```

```
Serial.println(str_humedadsuelo); // muestra valor de la variable humedad ambiente
```

```
Serial.println();}
```

```
#include <Wire.h> // Incluye la sección Wire
```

```
#Receptor Prueba de interferencia
```

```

#include <SPI.h> // incluye libreria SPI para comunicacion con el modulo
#include <RF24.h> // incluye la seccion NRF24 de la libreria RadioHead
RF24 radio(9, 10); // Pin CE, CSN

String str_datos; // string para almacenar valores separados por coma
String str_temperatura; // string para almacenar valor de temperatura
String str_humedad; // string para almacenar valor de humedad ambiente
String str_humedadsuelo; // string para almacenar valor de humedad del suelo
int hums; // int para almacenar la humedad del suelo

void setup() {

  Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps

  if (radio.init()) // si falla inicializacion de modulo muestra texto

    Serial.println("fallo");

  if (radio.setChannel(2)) // si falla establecer canal muestra texto

    Serial.println("fallo en establecer canal");

  // si falla opciones

  Serial.println("fallo en opciones RF"); // RF muestra texto

  Serial.println("Conexion Exitosa"); // texto para no comenzar con ventana vacia
  delay(2000); // tiempo entre la siguiente consulta

  Serial.println("Receptor Iniciado"); // texto para no comenzar con ventana vacia
}

void loop(){

  int8_t lqi = radio.read(&lqi, sizeof(lqi)); //Guarda el valor de lqi

  Serial.print("LQI recibido: "); //Escribe en serial print

```

```

Serial.println(lqi); // Escribe en serial print el valor de lqi

uint8_t buf[11]; // (tamaño) buffer de 10 posiciones

uint8_t buflen = sizeof(buf); // obtiene longitud del buffer

int tamano = str_datos.length(); // almacenar el tamaño del string

if (radio.recv(buf, &buflen)) // si hay informacion valida disponible
{
    str_datos = String((char*)buf); // almacena en str_datos datos recibidos

    for (int i = 0; i < tamano; i++) { // bucle recorre str_datos desde el inicio

        if (str_datos.substring(i, i+1) == ",") { // si en el indice hay una coma

            str_temperatura = str_datos.substring(0, i); // obtiene desde indice 0 hasta una posicion
anterior

            str_humedad = str_datos.substring(i+1, i+3); // obtiene desde indice posterior a la coma

            str_humedadsuelo = str_datos.substring(tamano-2, tamano); // obtiene los valores finales

            //hums = int(str_humedadsuelo); // convertir el valor de humedad del suelo en entero

            break; // hasta el final del string y sale del bucle

        }

        Serial.print("Temperatura: "); // muestra texto

        Serial.print(str_temperatura); // muestra valor de la variable de temperatura

        Serial.print(" Humedad Ambiente: "); // muestra texto

        Serial.print(str_humedad); // muestra valor de la variable humedad ambiente

        Serial.print(" Humedad Suelo: "); // muestra texto

        Serial.println(str_humedadsuelo); // muestra valor de la variable humedad suelo

        Serial.print("Datos: "); // muestra texto de todos los datos traidos

```

```

    Serial.println(str_datos); // muestra el valor de todos los datos obtenidos
  } }

#include <Wire.h> // Incluye la sección Wire

#Transmisor Prueba de interferencia optimizado

#include <SPI.h> // incluye libreria SPI para comunicacion con el modulo

#include <RF24.h> // incluye la seccion NRF24 de la libreria RadioHead

#include <DHT.h> // incluye libreria necesaria para el uso del sensor DHT11

#include <DHT_U.h> // incluye libreria necesaria para el uso del sensor DHT11

RF24 radio(9, 10); // Pin CE, CSN

#define SENSOR 4 // establece a SENSOR con numero 4, pin de senal del DHT11

DHT dht(SENSOR, DHT11); // crea objeto dht

int TEMPERATURA; // variable para almacenar valor de temperatura

int HUMEDAD; // variable para almacenar valor de humedad

int HUMEDADSUELO=A0; // sensor de humedad del suelo

int sen_value; // lectura del sensor de humedad.

String str_humedad; // string para almacenar valor de humedad ambiente

String str_temperatura; // string para almacenar valor de temperatura

String str_humedadsuelo; // string para almacenar valor de humedad del suelo

String str_datos; // string para almacenar valores separados por coma

String str_humedadSu;

void setup() {

  radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);

```

```

pinMode(HUMEDADSUELO,INPUT); // declarar tipo de entrada para el sensor

Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps

if (!nrf24.init()) // si falla inicializacion de modulo muestra texto

    Serial.println("fallo");

if (!nrf24.setChannel(2)) // si falla establecer canal muestra texto

    Serial.println("fallo en establecer canal");

// si falla opciones

Serial.println("fallo en opciones RF"); // RF muestra texto

dht.begin(); // inicializa sensor

delay(5000); // demora de 2 segundos para estabilizar lectura de sensor

lcd.print("Bienvenido"); // imprimir mensaje de bienvenida
}

void loop(){

    TEMPERATURA = dht.readTemperature(); // obtiene y almacena el valor de temperatura

    HUMEDAD = dht.readHumidity(); // obtiene y almacena el valor de humedad ambiente

    sen_value = analogRead(HUMEDADSUELO); // obtiene y almacena el valor de humedad en
el suelo

    str_temperatura = String(TEMPERATURA); // convierte a string valor entero de temperatura

    str_humedad = String(HUMEDAD); // convierte a string valor entero de humedad ambiente

    str_humedadsuelo = String(HUMEDADSUELO); // convierte a string valor entero de
humedad del suelo

    str_humedadSu = String(sen_value);

```

```

    str_datos = str_temperatura + "," + str_humedad + "," + str_humedadsuelo; // concatena
valores separados mediante una coma

    static char *datos = str_datos.c_str(); // convierte a string en formato de lenguaje C

    nrf24.send((uint8_t *)datos, strlen(datos)); // envía datos

    nrf24.waitPacketSent(); // espera hasta realizado el envío

    delay(18000); // demora de 30 minutos entre envíos

    Serial.print("Temperatura: "); // muestra texto

    Serial.print(str_temperatura); // muestra valor de la variable de temperatura

    Serial.print(" Humedad Ambiente: "); // muestra texto

    Serial.println(str_humedad); // muestra valor de la variable humedad ambiente

    Serial.print(" Humedad Suelo: "); // muestra texto

    Serial.println(str_humedadsuelo); // muestra valor de la variable humedad ambiente

    Serial.println();

}

#include <Wire.h> // Incluye la sección Wire

#Receptor Prueba de interferencia optimizado

#include <SPI.h> // incluye libreria SPI para comunicacion con el modulo

#include <RF24.h> // incluye la seccion NRF24 de la libreria RadioHead

RF24 radio(9, 10); // Pin CE, CSN

String str_datos; // string para almacenar valores separados por coma

String str_temperatura; // string para almacenar valor de temperatura

String str_humedad; // string para almacenar valor de humedad ambiente

```

```

String str_humedadsuelo; // string para almacenar valor de humedad del suelo

int hums; // int para almacenar la humedad del suelo

void setup() {

  Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps

  if (radio.init()) // si falla inicializacion de modulo muestra texto

    Serial.println("fallo");

  if (radio.setChannel(2)) // si falla establecer canal muestra texto

    Serial.println("fallo en establecer canal");

  // si falla opciones

  Serial.println("fallo en opciones RF"); // RF muestra texto

  Serial.println("Conexion Exitosa"); // texto para no comenzar con ventana vacia

  delay(2000); // tiempo entre la siguiente consulta

  Serial.println("Receptor Iniciado"); // texto para no comenzar con ventana vacia

}

void loop(){

  int8_t lqi = radio.read(&lqi, sizeof(lqi)); //Guarda el valor de lqi

  Serial.print("LQI recibido: "); //Escribe en serial print

  Serial.println(lqi); // Escribe en serial print el valor de lqi

  uint8_t buf[11]; // (tamaño) buffer de 10 posiciones

  uint8_t buflen = sizeof(buf); // obtiene longitud del buffer

  int tamano = str_datos.length(); // almacenar el tamaño del string

  if (radio.recv(buf, &buflen)) // si hay informacion valida disponible

  {

```

```

str_datos = String((char*)buf); // almacena en str_datos datos recibidos

for (int i = 0; i < tamano; i++) { // bucle recorre str_datos desde el inicio

  if (str_datos.substring(i, i+1) == ",") { // si en el indice hay una coma

    str_temperatura = str_datos.substring(0, i); // obtiene desde indice 0 hasta una posicion
anterior

    str_humedad = str_datos.substring(i+1, i+3); // obtiene desde indice posterior a la coma
    str_humedadsuelo = str_datos.substring(tamano-2, tamano); // obtiene los valores finales

    //hums = int(str_humedadsuelo); // convertir el valor de humedad del suelo en entero

    break;      // hasta el final del string y sale del bucle

  } }

Serial.print("Temperatura: "); // muestra texto

Serial.print(str_temperatura); // muestra valor de la variable de temperatura

Serial.print(" Humedad Ambiente: "); // muestra texto

Serial.print(str_humedad); // muestra valor de la variable humedad ambiente

Serial.print(" Humedad Suelo: "); // muestra texto

Serial.println(str_humedadsuelo); // muestra valor de la variable humedad suelo

Serial.print("Datos: "); // muestra texto de todos los datos traídos

Serial.println(str_datos); // muestra el valor de todos los datos obtenidos

} }

#include <Wire.h> // Incluye la sección Wire

#Transmisor Prueba de latencia y velocidad de transmisión.

#include <SPI.h> // incluye libreria SPI para comunicacion con el modulo

```

```

#include <RF24.h> // incluye la seccion NRF24 de la libreria RadioHead

#include <DHT.h> // incluye libreria necesaria para el uso del sensor DHT11

#include <DHT_U.h> // incluye libreria necesaria para el uso del sensor DHT11

RF24 radio(9, 10); // Pin CE, CSN

#define SENSOR 4 // establece a SENSOR con numero 4, pin de senal del DHT11

DHT dht(SENSOR, DHT11); // crea objeto dht

int TEMPERATURA; // variable para almacenar valor de temperatura

int HUMEDAD; // variable para almacenar valor de humedad

int HUMEDADSUELO=A0; // sensor de humedad del suelo

int sen_value; // lectura del sensor de humedad.

String str_humedad; // string para almacenar valor de humedad ambiente

String str_temperatura; // string para almacenar valor de temperatura

String str_humedadsuelo; // string para almacenar valor de humedad del suelo

String str_datos; // string para almacenar valores separados por coma

String str_humedadSu;

void setup() {

  Radio.SetDataRate(RF24_2MBPS);

  pinMode(HUMEDADSUELO,INPUT); // declarar tipo de entrada para el sensor

  Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps

  if (!nrf24.init()) // si falla inicializacion de modulo muestra texto

    Serial.println("fallo");

  if (!nrf24.setChannel(2)) // si falla establecer canal muestra texto

    Serial.println("fallo en establecer canal");

```

```

// si falla opciones

Serial.println("fallo en opciones RF");      // RF muestra texto

dht.begin(); // inicializa sensor

delay(5000); // demora de 2 segundos para estabilizar lectura de sensor

lcd.print("Bienvenido"); // imprimir mensaje de bienvenida
}

void loop(){

    TEMPERATURA = dht.readTemperature(); // obtiene y almacena el valor de temperatura

    HUMEDAD = dht.readHumidity(); // obtiene y almacena el valor de humedad ambiente

    sen_value = analogRead(HUMEDADSUELO); // obtiene y almacena el valor de humedad en
el suelo

    str_temperatura = String(TEMPERATURA); // convierte a string valor entero de temperatura

    str_humedad = String(HUMEDAD); // convierte a string valor entero de humedad ambiente

    str_humedadsuelo = String(HUMEDADSUELO); // convierte a string valor entero de
humedad del suelo

    str_humedadSu = String(sen_value);

    str_datos = str_temperatura + "," + str_humedad + "," + str_humedadsuelo; // concatena
valores separados mediante una coma

    static char *datos = str_datos.c_str(); // convierte a string en formato de lenguaje C

    nrf24.send((uint8_t *)datos, strlen(datos)); // envía datos

    nrf24.waitPacketSent(); // espera hasta realizado el envío

    delay(18000); // demora de 30 minutos entre envíos

    Serial.print("Temperatura: "); // muestra texto

```

```

Serial.print(str_temperatura); // muestra valor de la variable de temperatura

Serial.print(" Humedad Ambiente: "); // muestra texto

Serial.println(str_humedad); // muestra valor de la variable humedad ambiente

Serial.print(" Humedad Suelo: "); // muestra texto

Serial.println(str_humedadsuelo); // muestra valor de la variable humedad ambiente

Serial.println();

}

#include <Wire.h> // Incluye la sección Wire

#Receptor Prueba de latencia y velocidad de transmisión.

#include <SPI.h> // incluye libreria SPI para comunicacion con el modulo

#include <RF24.h> // incluye la seccion NRF24 de la libreria RadioHead

RF24 radio(9, 10); // Pin CE, CSN

String str_datos; // string para almacenar valores separados por coma

String str_temperatura; // string para almacenar valor de temperatura

String str_humedad; // string para almacenar valor de humedad ambiente

String str_humedadsuelo; // string para almacenar valor de humedad del suelo

int hums; // int para almacenar la humedad del suelo

void setup() {

  Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps

  if (radio.init()) // si falla inicializacion de modulo muestra texto

    Serial.println("fallo");

  if (radio.setChannel(2)) // si falla establecer canal muestra texto

    Serial.println("fallo en establecer canal");

```

```

// si falla opciones

Serial.println("fallo en opciones RF");          // RF muestra texto

Serial.println("Conexion Exitosa"); // texto para no comenzar con ventana vacia

delay(2000); // tiempo entre la siguiente consulta

Serial.println("Receptor Iniciado"); // texto para no comenzar con ventana vacia

}

void loop(){

    int8_t Latencia = GetDataRate(); //Guarda el valor de latencia

    Serial.print("Latencia: "); //Escribe en serial print

    Serial.println(Latencia); // Escribe en serial print el valor de lqi

    uint8_t buf[11]; // (tamaño) buffer de 10 posiciones

    uint8_t buflen = sizeof(buf); // obtiene longitud del buffer

    int tamano = str_datos.length(); // almacenar el tamaño del string

    if (radio.recv(buf, &buflen)) // si hay informacion valida disponible

    {

        str_datos = String((char*)buf); // almacena en str_datos datos recibidos

        for (int i = 0; i < tamano; i++) { // bucle recorre str_datos desde el inicio

            if (str_datos.substring(i, i+1) == ",") { // si en el indice hay una coma

                str_temperatura = str_datos.substring(0, i); // obtiene desde indice 0 hasta una posicion
anterior

                str_humedad = str_datos.substring(i+1, i+3); // obtiene desde indice posterior a la coma

                str_humedadsuelo = str_datos.substring(tamano-2, tamano); // obtiene los valores finales

                //hums = int(str_humedadsuelo); // convertir el valor de humedad del suelo en entero

```

```

    break;    // hasta el final del string y sale del bucle
  }}

  Serial.print("Temperatura: "); // muestra texto

  Serial.print(str_temperatura); // muestra valor de la variable de temperatura

  Serial.print(" Humedad Ambiente: "); // muestra texto

  Serial.print(str_humedad); // muestra valor de la variable humedad ambiente

  Serial.print(" Humedad Suelo: "); // muestra texto

  Serial.println(str_humedadsuelo); // muestra valor de la variable humedad suelo

    Serial.print("Datos: "); // muestra texto de todos los datos traídos

  Serial.println(str_datos); // muestra el valor de todos los datos obtenidos
  }}

#include <Wire.h> // Incluye la sección Wire

#Transmisor Prototipo final

#include <SPI.h> // incluye libreria SPI para comunicacion con el modulo

#include <RH_NRF24.h> // incluye la seccion NRF24 de la libreria RadioHead

#include <DHT.h> // incluye libreria necesaria para el uso del sensor DHT11

RH_NRF24 nrf24; // crea objeto con valores por defecto para bus SPI

    // y pin digital numero 8 para CE

#define SENSOR 4 // establece a SENSOR con numero 4, pin de senal del DHT11

DHT dht(SENSOR, DHT11); // crea objeto dht

int TEMPERATURA; // variable para almacenar valor de temperatura

int HUMEDAD; // variable para almacenar valor de humedad

int HUMEDADSUELO=A0; // sensor de humedad del suelo

```

```

int sen_value; // lectura del sensor de humedad.

String str_humedad; // string para almacenar valor de humedad ambiente

String str_temperatura; // string para almacenar valor de temperatura

String str_humedadsuelo; // string para almacenar valor de humedad del suelo

String str_datos; // string para almacenar valores separados por coma

String str_humedadSu;

void setup() {

nrf24.setPALevel(RF24_PA_MAX);

nrf24.SetDataRate(RF24_2MBPS);

pinMode(HUMEDADSUELO,INPUT); // declarar tipo de entrada para el sensor

Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps

if (!nrf24.init()) // si falla inicializacion de modulo muestra texto

    Serial.println("fallo");

if (!nrf24.setChannel(2)) // si falla establecer canal muestra texto

    Serial.println("fallo en establecer canal");

if (!nrf24.setRF(RH_NRF24::DataRate250kbps, RH_NRF24::TransmitPower0dBm)) // si falla
opciones

    Serial.println("fallo en opciones RF"); // RF muestra texto

dht.begin(); // inicializa sensor

delay(2000); // demora de 2 segundos para estabilizar lectura de sensor

lcd.print("Bienvenida"); // imprimir mensaje de bienvenida

}

void loop{

```

```

TEMPERATURA = dht.readTemperature(); // obtiene y almacena el valor de temperatura
HUMEDAD = dht.readHumidity(); // obtiene y almacena el valor de humedad ambiente
sen_value = analogRead(HUMEDADSUELO); // obtiene y almacena el valor de humedad en
el suelo

str_temperatura = String(TEMPERATURA); // convierte a string valor entero de temperatura
str_humedad = String(HUMEDAD); // convierte a string valor entero de humedad ambiente
str_humedadsuelo = String(HUMEDADSUELO); // convierte a string valor entero de
humedad del suelo

str_humedadSu = String(sen_value);

str_datos = str_temperatura + "," + str_humedad + "," + str_humedadsuelo; // concatena
valores separados mediante una coma

static char *datos = str_datos.c_str(); // convierte a string en formato de lenguaje C
nrf24.send((uint8_t *)datos, strlen(datos)); // envía datos
nrf24.waitPacketSent(); // espera hasta realizado el envío
delay(18000); // demora de 30 minutos entre envíos

Serial.print("Temperatura: "); // muestra texto
Serial.print(str_temperatura); // muestra valor de la variable de temperatura
Serial.print(" Humedad Ambiente: "); // muestra texto
Serial.println(str_humedad); // muestra valor de la variable humedad ambiente
Serial.print(" Humedad Suelo: "); // muestra texto
Serial.println(str_humedadsuelo); // muestra valor de la variable humedad ambiente
Serial.println();
}

```

```

#include <Wire.h> // Incluye la sección Wire

#Receptor Prototipo final

#include <SPI.h> // incluye libreria SPI para comunicacion con el modulo

#include <RH_NRF24.h> // incluye la seccion NRF24 de la libreria RadioHead

LiquidCrystal_I2C lcd (0x3F,16,2); //Inicialización de la variable lcd

RH_NRF24 nrf24; // crea objeto con valores por defecto para bus SPI

    // y pin digital numero 8 para CE

String str_datos; // string para almacenar valores separados por coma

String str_temperatura; // string para almacenar valor de temperatura

String str_humedad; // string para almacenar valor de humedad ambiente

String str_humedadsuelo; // string para almacenar valor de humedad del suelo

int hums; // int para almacenar la humedad del suelo

void setup() {

nrf24.setPALevel(RF24_PA_MAX);

nrf24.SetDataRate(RF24_2MBPS);

Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps

if (!nrf24.init()) // si falla inicializacion de modulo muestra texto

    Serial.println("fallo de inicialización");

if (!nrf24.setChannel(2)) // si falla establecer canal muestra texto

    Serial.println("fallo en establecer canal de conexión");

if (!nrf24.setRF(RH_NRF24::DataRate250kbps, RH_NRF24::TransmitPower0dBm)) // si falla
opciones

```

```

Serial.println("fallo en opciones RF");          // RF muestra texto

Serial.println("Conexion Exitosa"); // texto para no comenzar con ventana vacia

delay(2000); // tiempo entre la siguiente consulta

Serial.println("Receptor Iniciado"); // texto para no comenzar con ventana vacia
}

void loop(){

  uint8_t buf[11]; // (tamaño) buffer de 10 posiciones

  uint8_t buflen = sizeof(buf); // obtiene longitud del buffer

  int tamano = str_datos.length(); // almacenar el tamaño del string

  if (nrf24.recv(buf, &buflen)) // si hay informacion valida disponible
  {

    str_datos = String((char*)buf); // almacena en str_datos datos recibidos

    for (int i = 0; i < tamano; i++) { // bucle recorre str_datos desde el inicio

      if (str_datos.substring(i, i+1) == ",") { // si en el indice hay una coma

        str_temperatura = str_datos.substring(0, i); // obtiene desde indice 0 hasta una posicion
anterior

        str_humedad = str_datos.substring(i+1, i+3); // obtiene desde indice posterior a la coma

        str_humedadsuelo = str_datos.substring(tamano-2, tamano); // obtiene los valores finales

        //hums = int(str_humedadsuelo); // convertir el valor de humedad del suelo en entero

        break; // hasta el final del string y sale del bucle

      }


    }

  }

  Serial.print("Temperatura: "); // muestra texto

```

```
Serial.print(str_temperatura); // muestra valor de la variable de temperatura  
Serial.print(" Humedad Ambiente: "); // muestra texto  
Serial.print(str_humedad); // muestra valor de la variable humedad ambiente  
Serial.print(" Humedad Suelo: "); // muestra texto  
Serial.println(str_humedadsuelo); // muestra valor de la variable humedad suelo  
    Serial.print("Datos: "); // muestra texto de todos los datos traidos  
Serial.println(str_datos); // muestra el valor de todos los datos obtenidos  
    } }
```

	FORMATO RAE
	RESUMEN ANALÍTICO ESPECIALIZADO - RAE
1. Información general	
Tema	Sistema de comunicación para cultivos
Título del documento	Desarrollo de prototipo de un sistema de comunicación para datos de sensores en cultivos.
Tipo de documento	Proyecto Aplicado
Fuente Bibliográfica	Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI) Ingeniería Electrónica
Autor (es)	Daniel Alfonso Estupiñán Murillo Andrés David Suárez Gómez (Asesor)
Palabras clave	Radiofrecuencia, sistema de comunicación, falta de cobertura, cultivos.
Año	2024
2. Resumen	
<p>El presente trabajo consiste en crear un prototipo de un sistema de comunicación para el envío de datos de sensores en cultivos de maíz por medio de radiofrecuencia, esto con el fin de validar los parámetros de humedad del suelo, temperatura y humedad relativa. Este prototipo surge frente a la problemática de falta de cobertura o señal celular en las zonas rurales, en especial en la zona rural de San Gil, en la vereda Versalles y a la falta de soluciones de bajo costo que tengan en cuenta las variables de distancia y falta de cobertura de señal celular. El proyecto tendrá un diseño experimental ya que se realizarán experimentos de campo que serán: pruebas de alcance y cobertura, análisis de interferencia, consumo de energía y vida útil de la batería, análisis de latencia y velocidad de transmisión y lectura de sensores y a la par con esto se realizará la búsqueda de toda la documentación necesaria para complementar las pruebas realizadas y realizar el respectivo análisis de la información obtenida. El proyecto tendrá un enfoque metodológico cuantitativo pues las pruebas de campo se documentarán, los datos se obtienen por observación, medición y documentación de mediciones, se utilizan instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables en estudios previos.</p>	
3. Descripción del problema de investigación	
<p>La agricultura, además de ser un trabajo arduo, es un negocio necesario para el bien de todas las personas ya que se encarga de llevar a las plazas de mercado y a los hogares los productos necesarios para el consumo humano, de ahí que, en la zona rural de San Gil, en la vereda Versalles, hacienda Santa Elena se cuenta con algunos cultivos de maíz. En esta ubicación hay</p>	

carencia de señal telefónica móvil y fija por lo que no se tiene una buena comunicación debido a la falta de antenas y a que la geografía es bastante apartada debido a la reserva natural encontrada allí, la cual impide la llegada de cualquier tipo de señal.

A pesar de las condiciones geográficas y climatológicas, permitir monitorear de forma eficiente las condiciones de cada cultivo reducirá gastos en tiempo del desplazamiento de las personas hasta la zona a realizar el riego, optimizar la cantidad de agua que se añade a la plantación y aumentar la producción del cultivo, por este motivo se hace importante el desarrollo de un prototipo de comunicación para datos de sensores en cultivos de maíz que solucione esta problemática de forma eficiente y un costo bajo y que impacte en el mejoramiento de los procesos de producción agrícola, ayude a los campesinos a implementar técnicas que fortalezcan los tiempos y procesos de los cultivos y así generar condiciones óptimas para la germinación rápida de los cultivos.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general:

Desarrollar un prototipo de un sistema de comunicación para el envío de datos de sensores en cultivos de maíz.

4.2. Objetivos específicos:

Diseñar el sistema de conexiones del sistema transmisor y del receptor.

Realizar la programación del microcontrolador para realizar el envío de las variables.

Verificar el funcionamiento del prototipo desarrollado por medio de experimentos establecidos.

Analizar los datos los experimentos y resultados obtenidos.

5. Principales referentes teóricos y conceptuales

Chaparro Mesa, J. E., Barrera Lombana, N., & León Socha, F. A. (2020). Módulo Terminal Remoto, para la adquisición de datos, monitoreo y control de procesos Agroindustriales - AgricultIC. *Revista chilena de ingeniería*, 245-264.

Cohen-Manrique, C., Burbano-Bustos, A., Salgado-Ordosgoitia, R., & Merlano-Porto, R. (2020). Control de riego en cultivos de ahuyama en Sincelejo, Sucre (Colombia) gestionados a través del Internet de las Cosas. *Información tecnológica*, 79-88.

Conejeros Molina, A., Hueichaqueo Pichunman, C., Martinez-Jimenez, B., & Placeres Remior, A. (2021). Monitoreo de calidad del agua en sistema de agua potable rural. *RIELAC*, 60-70.

EFE. (09 de 08 de 2018). *Webs temáticas*. Obtenido de Chilenos crean un sistema de comunicación por radio ante un colapso en emergencias:

<https://www.efe.com/efe/cono-sur/tecnologia/chilenos-crean-un-sistema-de-comunicacion-por-radio-ante-colapso-en-emergencias/50000765-3716087>

Frackiewicz, M. (17 de 07 de 2023). *Módulo de radiofrecuencia (RFM)*. Exploración de las aplicaciones y ventajas de los módulos de radiofrecuencia en la tecnología moderna: <https://ts2.space/es/modulo-de-radiofrecuencia-rfm/>

- Gagliardi, T. (2018). Análisis de la Comunicación de Radio Frecuencia con Módulos nRF24L01. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Gutierrez-Lopera, J. E., Toloza-Rangel, J. A., Soto-Vergel, Á. J., López-Bustamante, O. A., & Guevara-Ibarra, D. (2021). Sistema integrado de monitoreo inalámbrico de variables agroambientales en un cultivo de tomate para la generación de mapas de intensidad. *Revista UIS Ingenierías*, 163-180.
- Hernán Alarcón, Á., Arias, G., & Díaz, C. (2018). Sistema de control automático de variables climáticas para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubiertas. *Ingeniería Solidaria*, 12-25.
- Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F: McGRAW-HILL.
- Mamani, M., Villalobos, M., & Herrera, R. (2017). Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. *Revista chilena de ingeniería*, 599-618.
- Maniac. (16 de 05 de 2021). *Driver for nRF24L01(+) 2.4GHz Wireless Transceiver*. Obtenido de <https://maniacbug.github.io/RF24/classRF24.html#aeb9920e7a95699748b003c4a839b0814>
- Mata Solís, L. D. (21 de 05 de 2019). *El enfoque cuantitativo de investigación*. Investigación: <https://investigaliacr.com/investigacion/el-enfoque-cuantitativo-de-investigacion/#:~:text=Metodo%20B3gicamente%20el%20enfoque%20cuantitativo%20de,de%20recolecti%20n%20de%20datos%20estad%20ADsticos>.
- Moya Quimbita, M. A. (2018). Evaluación de pasarela LoRa/LoRaWAN en entornos urbanos. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Muñoz, J., Sáez, Y., García, A., Chang, I., & Montes, H. (16 de 11 de 2017). *ESTEC Conference Proceedings*. Obtenido de Utilización de la Comunicación por Radiofrecuencia para la Detección de Vehículos en Movimiento: <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/1503/3572#info>
- Orozco, O., & Llano Ramírez, G. (2015). Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 83-102.
- Ossa Duquea, S. I. (2017). Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos. *Vector*, 51-60.
- Plagron. (22 de 01 de 2020). *Control de humedad para plantas que crecen en interiores*. Control de humedad: <https://www.plagron.com/es/aficion/temas/humedad#:~:text=Las%20plantas%20crecen%20bien%20s%20lo,aparici%20n%20de%20moho%20y%20hongos>.
- Rodríguez Sotelo, J. L., López Londoño, A., Vega Botero, C. A., & Flórez Hurtado, D. (2017). Sistema de monitoreo y control remoto usando IOT para un regulador de presión. *Scientia et Technica Año XXII*, 122-130.

- Romero Amondaray, L., Piña Figueredo, F. M., & Goire Castilla, M. M. (2018). Red de sensores inalámbricos para las casas de cultivos protegidos “San José”. *Revista de ingeniería electrónica, Automática y comunicaciones.*, 16-26.
- Saavedra García, H. A., & Mendoza Vallecillo, E. (2021). Prototipo de un sistema inteligente de monitoreo de hidrante. *Tecnología en Marcha*, 17-22.
- Sáenz Esteban, R. (2018). *Estudio de los parámetros principales de la tecnología LoRa para el despliegue de redes e implementación de servicios IoT en la CAV-EAE*. San Sebastián: Universidad del país Vasco.
- Sánchez Escobar, S. (2016). Análisis de un sistema de comunicación inalámbrica en zona rural en el departamento de Caldas. Manizales: SENA Caldas.
- Trinchet Varela, C., Trinchet Soler, R., Aleyda Chachón, R., & Giles Méndez, F. (18 de 12 de 2018). *La experimentación*. Obtenido de paso final y determinante para validar el proceso de investigación científica en medicina:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pi.d=S1024-94352008001200013
- Universidad de Antioquia. (12 de 05 de 2020). *Innovación*. Agricultura de precisión:
https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/extension/portafoliotecnologico/articulos/Agricultura_de_precision
- Yara. (18 de 01 de 2019). *Principios agronómicos*. Obtenido de Nutrición vegetal:
<https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/maiz/principios-agronomicos/#:~:text=La%20temperatura%20m%C3%ADnima%20para%20germinaci%C3%B3n,y%20en%20suelos%20m%C3%A1s%20pesados.>

6. Contenido

El trabajo se estructura se la siguiente manera:

Capítulo 1. Antecedentes y motivación, planteamiento del problema y objetivos.

Capítulo 2. Marco conceptual, sistemas de comunicación en la agricultura.

Capítulo 3. Medición de variables, arquitectura del sistema, integración de sensores, validación de lectura de sensores, transmisión de datos, procesamiento y análisis de datos.

Capítulo 4. Configuración de hardware y software, despliegue de sensores, pruebas.

Capítulo 5. Recogida y análisis de datos, programación, evaluación del rendimiento del sistema, retos y limitaciones.

Capítulo 6: Resumen y resultados, conclusiones.

Capítulo 7. Referencias y apéndices.

7. Metodología

Tendrá un enfoque metodológico cuantitativo pues las pruebas de campo se documentarán, los datos se obtienen por observación, medición y documentación de mediciones, se utilizan instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables en estudios previos o se generan nuevos basados en la revisión de la literatura y se prueban y ajustan, las preguntas o ítems utilizados son específicos.

Inicialmente, se hace un recorrido por las opciones de variables a medir en los cultivos. Una vez definidas, se hace un recorrido por las diferentes opciones de sensores y dispositivos de comunicación que satisfagan la falta de cobertura de señal celular, se valida la literatura, se realiza la programación y se crea el prototipo al cuál se le realizan las respectivas pruebas para validar su adecuado funcionamiento.

8. Resultados

Los sensores usados poseen una fiable lectura de datos pues tiene un promedio de error del 2% comparado con sensores especializados usados para la medición de las mismas variables. La distancia máxima adecuada para el funcionamiento del prototipo es de 35 metros entre el transmisor y el receptor en terrenos donde no haya obstáculos entre los dos puntos. Se realizó la optimización de la programación del prototipo donde se cambiaron algunos parámetros que trae por defecto el dispositivo y esto ayudó a mejorar la distancia máxima ideal pues pasa de 35 metros a 45 – 50 metros. El prototipo tiene una latencia de 1,15 segundos con una velocidad de puede variar entre 2,5 Kbps a 2 Mbps. Además, cuenta con un promedio de error de 3% sin obstáculos de por medio entre receptor y transmisor y de 6% con algunos obstáculos de por medio en distancias menores a 60 metros.

Con un envío de los datos cada 30 minutos se obtiene un promedio de consumo eléctrico de 0.27 v/h, por lo tanto, una batería de 9 voltios tendría una duración aproximada de 33 horas continuas de vida útil, esto para el transmisor. La alimentación del receptor será por el computador ya que estará conectado a este para mostrar los datos recibidos por medio del puerto serie de Arduino. El prototipo creado, gracias al recubrimiento que posee, soporta condiciones climáticas como lluvia y sol, lo que le posiciona a este prototipo como una alternativa fiable en las distintas condiciones climáticas.

9. Conclusiones

Al tener una distancia óptima de conexión de hasta 50 metros este prototipo ayuda a la medición de variables de temperatura en el suelo, humedad y temperatura ambiente lo que permite a los agricultores a validar el estado del cultivo y así tomar acciones respecto al mismo.

Como posee un 2% de error en las lecturas de las variables, este prototipo y sus sensores se posición como una buena alternativa de bajo costo para la medición de las variables anteriormente mencionadas.

Es importante mencionar que al poder medir estas variables ayudará a los agricultores a reducir gastos como en la compra de nuevas semillas porque se dañan o no nacen, en disminuir el uso de agua, pues se hace un regadío inteligente, solo cuando sea necesario.