



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Propuesta tecnológica, previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS
EMPLEANDO LORA Y TECNOLOGÍA IIOT EN EL MONITOREO Y
CONTROL AUTOMÁTICO DE RIEGO EN INVERNADEROS DE
ORQUÍDEAS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO”**

AUTOR

CÉSAR ANDRÉS PÉREZ TULCANAZA

TUTOR

ING. CARLOS ALBERTO SALDAÑA ENDERICA

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Península de Santa Elena UPSE por estos años de aprendizaje y apostar por la innovación en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. A mi tutor Ing. Carlos Saldaña, MSc por acompañarme en el camino hacia mi titulación. De igual manera agradezco al director de carrera Ing. José Sánchez, MSc y al decano de la facultad Ing. Washington Torres, MSc.

César Andrés Pérez Tulcanaza

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi familia, amigos y docentes quienes me han ayudado a formarme profesionalmente. Aunque el camino fue más largo de lo que pensé, todos ellos me acompañaron de principio a fin, ya sea con palabras de aliento o con acciones. A todos ellos, gracias.

César Andrés Pérez Tulcanaza

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: “**IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS EMPLEANDO LORA Y TECNOLOGÍA IIOT EN EL MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE RIEGO EN INVERNADEROS DE ORQUÍDEAS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO**”, presentado por el estudiante César Andrés Pérez Tulcanaza, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, lo apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

Se adjunta como anexos los reportes generados por la plataforma COMPILATIO que reportó **8%** de plagio del documento final de tesis.



Ing. Carlos Alberto Saldaña Enderica, MSc.
Docente tutor

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Washington Torres Guin, Mgtr.
DECANO DE LA FACULTAD

Ing. José Sánchez Aquino, Mgtr.
DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Junior Figueroa Olmedo, Mgtr.
DOCENTE DEL ÁREA

Ing. Carlos Saldaña Enderica, Mgtr.
DOCENTE TUTOR

Ab. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIA GENERAL

DECLARACIÓN DEL AUTOR

César Andrés Pérez Tulcanaza, egresado de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, declaro que toda la responsabilidad de la investigación realizada del presente trabajo de titulación es de mi pertenencia y la parte intelectual de la misma le corresponde a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



César Andrés Pérez Tulcanaza

RESUMEN

El trabajo de titulación presenta el diseño e implementación de una red de comunicación de sensores inalámbricos basada en tecnología LoRa e Internet Industrial de las Cosas (IIoT) para el monitoreo y control automático del riego en invernaderos de orquídeas. El proyecto surge ante la necesidad de tener un sistema de recolección de datos críticos como temperatura y humedad del suelo en tiempo real de manera inalámbrica, dando enfoque a evaluar la conectividad de la red de comunicación de sensores inalámbricos.

La propuesta integra sensores ambientales conectados a nodos ESP32 con módulos LoRa, los cuales transmiten información a una estación central compuesta por una Raspberry Pi y un PLC, encargados del procesamiento de datos y la toma de decisiones automáticas. Además, se desarrolla una interfaz HMI que permite la visualización en tiempo real de las variables medidas y el ajuste de parámetros de riego.

La metodología empleada combina investigación documental, descriptiva, experimental y aplicada, permitiendo validar el sistema en un entorno de laboratorio. Finalmente, el estudio concluye que la tecnología LoRa ofrece un alcance adecuado, bajo consumo energético y tiempos de respuesta aceptables frente a otras tecnologías inalámbricas.

PALABRAS CLAVES: LoRa, IIoT, Riego automático, Sensores inalámbricos, Monitoreo Ambiental, Agricultura de precisión.

ABSTRACT

This thesis presents the design and implementation of a wireless sensor network based on LoRa and Industrial Internet of Things (IIoT) technology for the monitoring and automatic control of irrigation in orchid greenhouses. The project arose from the need for a system to wirelessly collect critical data such as soil temperature and moisture in real time, focusing on evaluating the connectivity of the wireless sensor network.

The proposal integrates environmental sensors connected to ESP32 nodes with LoRa modules, which transmit information to a central station composed of a Raspberry Pi and a PLC, responsible for data processing and automatic decision-making. Additionally, an HMI interface is developed that allows for the real-time visualization of measured variables and the adjustment of irrigation parameters.

The methodology employed combines documentary, descriptive, experimental, and applied research, allowing for the validation of the system in a laboratory environment. Finally, the study concludes that LoRa technology offers adequate range, low energy consumption, and acceptable response times compared to other wireless technologies.

KEYWORDS: LoRa, IIoT, Automatic Irrigation, Wireless Sensors, Environmental Monitoring, Precision Agriculture.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iv
TRIBUNAL DE GRADO	v
DECLARACIÓN DEL AUTOR	vi
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
CAPÍTULO I	15
1.1 Antecedentes.	15
1.2 Descripción del proyecto.....	17
1.3 Objetivos del proyecto.	18
1.3.1 Objetivo principal.	18
1.3.2 Objetivos específicos.....	18
1.4 Justificación.....	19
1.5 Alcance del proyecto.....	20
1.6 Metodología.	21
1.6.1 Investigación descriptiva.	21
1.6.2 Investigación documental.	21
1.6.3 Investigación experimental.	21
1.6.4 Investigación aplicada.	22
1.7 Resultados esperados.....	22
CAPÍTULO II	24
2.1 Marco contextual.....	24
2.2 Marco conceptual.	25
2.2.1 Agricultura inteligente y tecnología IIoT.....	25
2.2.2 Redes de sensores inalámbricos (WSN) en la agricultura.....	26
2.2.3 Tecnología LoRa en redes de sensores inalámbricos.....	29
2.2.4 Monitoreo y control automático de riego en invernaderos.....	30
2.2.5 Infraestructura del sistema de monitoreo y control IIoT en invernaderos.....	31

2.2.6 Mejora de la productividad en el cultivo de orquídeas.	33
2.2.7 Equipos y tecnologías a utilizar.	34
2.2.8 Simulación y evaluación de sistemas de comunicación IIoT.	39
2.3 Marco teórico.	42
CAPÍTULO III.....	44
3.1 Componentes físicos de la propuesta.	44
ESP32.	44
LILYGO TTGO LoRa32.	45
Raspberry Pi 4.....	46
PLC S7-1200.....	47
HMI (Interfaz Hombre-Máquina).	48
Sensor de temperatura DHT22.....	50
3.2 Componentes lógicos de la propuesta.	51
Node Red.	51
MariaDB.	51
TIA Portal.	51
IDE Arduino.	52
3.3 Desarrollo de la propuesta.	52
3.3.1 Diseño de un nodo de la WSN.	53
Diseño de la placa PCB.....	54
Visualización 3D.....	55
Esquema de conexión para el nodo emisor y el nodo receptor de la WSN.....	56
Código de programación para el LoRa32 emisor.....	56
Código de programación para el LoRa32 receptor.	57
3.3.2 Configuración de Node-Red.	58
Creación de la base de datos.	60
Extraer datos de la Base de datos.....	61
3.3.3 Configuración de TIA Portal V16.....	62
Creación del bloque de datos.	64
Creación de la tabla de observación.....	64
Creación de la tabla de variables.....	65
Creación del bloque de función.....	65
Configuración de la comunicación del PLC con el HMI.	66
3.3.4 Configuración del HMI.....	67

3.4 Parametrización y caracterización del proyecto.....	67
CAPÍTULO IV	69
4.1 Resultados.	69
4.1.1 Implementación del entorno de pruebas.	69
4.1.2 Medición de la intensidad de señal (RSSI).	70
4.1.3 Comparación entre LoRa y WiFi en sistemas automáticos de riego inalámbricos.....	71
4.1.4 Evaluación de tiempo de respuesta del sistema.	71
4.1.5 Evaluación de precisión de los sensores.	72
4.1.6 Linealidad de un sistema caracterizado experimentalmente.	74
CONCLUSIONES.....	76
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de sensores para monitoreo agrícola	26
Tabla 2 Retos y limitaciones de las WSN en ambientes agrícolas	28
Tabla 3 Características del ESP32 y el módulo LoRa.....	36
Tabla 4 Métodos para evaluar el desempeño de redes inalámbricas	41
Tabla 5 Características principales del ESP32	45
Tabla 6 Características principales de la Raspberry Pi 4.....	46
Tabla 7 Características principales del PLC.....	47
Tabla 8 Características principales del HMI	49
Tabla 9 Medición de intensidad de señal en dBm (RSSI)	70
Tabla 10 Comparación entre tecnologías inalámbricas	71
Tabla 11 Tabla de cálculo de tiempos de respuesta.....	72
Tabla 12 Tabla de evaluación de precisión del sensor de temperatura.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura del proyecto (Elaboración propia).	44
Figura 2. Conectividad entre ESP32 y Raspberry Pi 4.	46
Figura 3. Conectividad entre Raspberry Pi 4 y PLC.	48
Figura 4. Conectividad entre PLC y HMI.	50
Figura 5. Diseño de un nodo LoRa32.	53
Figura 6. Diseño de la placa PCB.	54
Figura 7. Diseño final de la placa PCB.	54
Figura 8. Visualización en 3D del diseño de la placa PCB.	55
Figura 9. Diseño en 3D de los componentes.	55
Figura 10. Esquema de conexión de los nodos de la WSN.	56
Figura 11. Diagrama de flujo código LoRa emisor.	57
Figura 12. Diagrama de flujo código LoRa receptor.	58
Figura 13. Flujo para creación de valores simulados.	59
Figura 14. Flujo de bloque de comunicación Modbus.	59
Figura 15. Flujo para insertar valores a la base de datos.	60
Figura 16. Creación de la base de datos.	60
Figura 17. Creación de credenciales y privilegios.	61
Figura 18. Creación de tabla de variables.	61
Figura 19. Flujo para extraer valores de la base de datos.	62
Figura 20. Configuración de bloque S7 out.	62
Figura 21. Selección de dispositivo PLC en TIA Portal.	63
Figura 22. Configuración de dirección IP del PLC.	63
Figura 23. Creación de bloque de datos en TIA Portal.	64
Figura 24. Creación de tabla de observación en TIA Portal.	64
Figura 25. Creación de tabla de variables en TIA Portal.	65
Figura 26. Programación ladder en el bloque de función.	66
Figura 27. Configuración de conectividad entre PLC y HMI.	67
Figura 28. Diseño y configuración del HMI.	67
Figura 29. Implementación del entorno de pruebas.	69
Figura 30. Gráfico de intensidad de señal en dBm (RSSI).	70
Figura 31. Gráfico del análisis de tiempos de respuesta del sistema.	72
Figura 32. Prueba de validación de valores medidos por el sensor.	73
Figura 33. Gráfico de evaluación de precisión del sensor de temperatura.	74
Figura 34. Linealidad de un sistema caracterizado experimentalmente.	74

CAPÍTULO I

1.1 Antecedentes.

El proyecto de desarrollar un sistema de riego automático para invernaderos de orquídeas utilizando LoRa y tecnologías IIoT es un ejemplo destacado de cómo la tecnología puede transformar la agricultura, particularmente en la gestión de cultivos como las orquídeas [1]. La agricultura de precisión, una tendencia emergente en los últimos años, ha revolucionado la manera en que se gestionan los cultivos al permitir un monitoreo en tiempo real a través de sensores conectados a redes inalámbricas [2].

LoRa (Long Range), una tecnología de comunicación de baja potencia y largo alcance, se presenta como una solución ideal para la transmisión de datos en áreas rurales o regiones con conectividad limitada [3]. Su capacidad para operar con un bajo consumo energético es primordial para la gestión adecuada en entornos donde la infraestructura de red es deficiente, permitiendo una vigilancia constante de las condiciones ambientales sin requerir una conexión de alta capacidad [4].

En Australia se implementó un sistema de riego inteligente para los viñedos del Valle de Barossa [5]. Este proyecto, liderado por el centro de investigación Agriculture Victoria, utilizó sensores IIoT para monitorear en tiempo real parámetros como la humedad del suelo, la temperatura y la evapotranspiración, utilizando redes LoRa para transmitir datos a más de 10 kilómetros de distancia. El sistema permitió reducir el consumo de agua en un 25 % y mejorar la calidad del cultivo sin necesidad de costosa infraestructura de comunicación.

La tecnología LoRa, además de proporcionar una cobertura amplia y confiable, es particularmente eficiente en términos de consumo energético, lo que resulta fundamental en invernaderos grandes o en áreas donde las redes tradicionales podrían no ser viables [6]. El proyecto, llevado a cabo por la Universidad Federal de Mato Grosso en colaboración con Embrapa (Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria) [7], utilizó tecnologías IIoT y LoRa para monitorear factores clave como la humedad del suelo, la temperatura y la presencia de plagas. Los sensores distribuidos en los campos de soja transmitían datos a largas distancias utilizando redes LoRa, lo que permitía a los agricultores recibir información en tiempo real sobre las condiciones de los cultivos, incluso en áreas rurales con baja conectividad. Se logró una reducción en el uso de pesticidas y fertilizantes, optimizando el rendimiento del cultivo y mejorando la sostenibilidad ambiental.

En Ecuador, se han implementado tecnologías IIoT y LoRa en varios proyectos relacionados con la agricultura de precisión, uno de ellos es el “Proyecto de Monitoreo de Cultivos” desarrollado por la Escuela Politécnica Nacional en colaboración con el Ministerio de Agricultura y Ganadería. Este proyecto, iniciado en 2019, busca incorporar sensores IIoT en cultivos de maíz y hortalizas en la provincia de Pichincha [8]. Los sensores permiten el monitoreo en tiempo real de variables como la humedad del suelo, la temperatura y la radiación solar.

La implementación de tecnologías IIoT y LoRa en la agricultura no solo se limita a cultivos de maíz y hortalizas, sino que también abre nuevas posibilidades para el manejo de plantas más delicadas, como las orquídeas. Al aprovechar la infraestructura desarrollada los agricultores pueden adaptar las soluciones tecnológicas a las necesidades específicas de estos cultivos especializados. Las orquídeas, conocidas por su delicadeza y exigencias específicas en cuanto a sus condiciones de crecimiento, presentan un caso particularmente interesante para la aplicación de esta tecnología. Estas plantas requieren un ambiente altamente controlado, donde factores como la humedad del suelo, la temperatura y la luminosidad deben ser monitoreados con precisión [9].

Los sensores ambientales instalados en el sistema de riego automático son capaces de medir estos parámetros cruciales y ajustar el riego de manera automática en función de los datos recolectados [10]. Permite un monitoreo del sistema de riego a través de plataformas IIoT, lo que proporciona una conveniencia sin precedentes al permitir la programación y el ajuste del riego desde una interfaz HMI [11]. Esta tecnología también puede ser escalable hacia el monitoreo en dispositivos móviles, incluso cuando el usuario se encuentra en ubicaciones distantes [12].

Un desafío significativo en la implementación de sistemas de riego automático es la integración de múltiples sensores y la transmisión de datos en tiempo real [13]. Sin embargo, los avances en inteligencia artificial ofrecen soluciones innovadoras al permitir la predicción de las necesidades de riego basadas en el historial climático y del suelo. Esta capacidad de personalizar el riego para cada cultivo en función de datos precisos y actualizados representa un cambio fundamental en la gestión de invernaderos. La integración de modelos de inteligencia artificial mejora la eficiencia del riego y permite una adaptación continua a las

condiciones cambiantes, promoviendo una gestión más efectiva y sostenible [14].

El desarrollo de sistemas de riego automático que integran LoRa y tecnologías IIoT no solo automatiza el riego, sino que también facilita una gestión integral de otros recursos como fertilizantes y energía [15]. La implementación de estas tecnologías representa un avance significativo en la forma en que gestionamos los invernaderos, proporcionando herramientas que antes se consideraban futuristas y que ahora están disponibles para transformar la agricultura de manera eficaz y sostenible [16].

Este proyecto no solo proporciona una solución práctica para la gestión eficiente del riego en cultivos delicados como las orquídeas, sino que también abre nuevas oportunidades para la investigación y el desarrollo en el campo de la tecnología agrícola. En el laboratorio de FACSISTEL, se pueden explorar aplicaciones adicionales de la tecnología IIoT y LoRa en el monitoreo y control de otros parámetros ambientales críticos, así como en la optimización de sistemas de riego y manejo de recursos.

La integración de estos sistemas permitirá llevar a cabo estudios detallados sobre la interacción entre diferentes variables ambientales y su impacto en el crecimiento de las plantas, facilitando la creación de modelos predictivos más precisos. Además, el proyecto ofrece un escenario real para la prueba y validación de nuevas tecnologías y metodologías, promoviendo una investigación continua que puede contribuir a avances significativos en la agricultura de precisión y la sostenibilidad.

1.2 Descripción del proyecto.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo implementar una red de comunicación de sensores inalámbricos que permita el monitoreo y control automático del riego en invernaderos de orquídeas, integrando sensores ambientales con PLC, Raspberry PI y HMI mediante tecnología IIoT (Internet Industrial de las Cosas). Este proyecto se enfoca en mejorar la eficiencia en el manejo de cultivos delicados, como las orquídeas, donde un control preciso de las variables ambientales es esencial para su correcto desarrollo. El uso de la tecnología LoRa (Long Range) para la transmisión de datos ofrece una solución innovadora al permitir la conectividad en áreas rurales o con infraestructuras limitadas, optimizando el uso de recursos y reduciendo el consumo energético.

A través del desarrollo de una red de comunicación de sensores inalámbricos, se implementará el protocolo LoRa para transmitir la información recogida por los sensores ambientales hacia una estación central de control. El PLC será el encargado de gestionar los datos en tiempo real y tomar decisiones automáticas sobre el riego, basadas en parámetros clave como la humedad del suelo y la temperatura del ambiente. Además, se desarrollará una interfaz HMI (Human-Machine Interface) que permitirá a los usuarios monitorear las condiciones ambientales, posibilitando ajustes en los parámetros de riego, lo que proporciona una mayor flexibilidad y control.

El proyecto será sometido a diversas pruebas en un ambiente controlado con el fin de evaluar su funcionalidad y comprobar la efectividad del sistema de comunicación inalámbrica. Estas simulaciones validarán la eficiencia del sistema en condiciones reales, y además permitirán detectar posibles áreas de mejora en la transmisión de datos y en la capacidad de respuesta de la automatización del riego. De esta manera, el trabajo contribuirá al desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas aplicables a la agricultura de precisión, promoviendo prácticas más sostenibles y eficientes en la gestión de recursos agrícolas.

1.3 Objetivos del proyecto.

1.3.1 Objetivo principal.

- Desarrollar una red de comunicación de sensores inalámbricos para el monitoreo y control automático de riego en invernaderos de orquídeas utilizando LoRa y tecnología IIoT.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Implementar un sistema de adquisición de datos con sensores para recoger información del ambiente y del suelo en tiempo real como la humedad y la temperatura en un entorno controlado que simule las condiciones ambientales en invernaderos de orquídeas.
- Integrar el protocolo de comunicación LoRa y tecnología IIoT para la transmisión de información obtenida de los sensores a una estación central de control utilizando PLC y Raspberry PI para el procesamiento y análisis de datos.
- Desarrollar una interfaz HMI que permita a los usuarios supervisar las condiciones ambientales, visualizar datos primordiales y ajustar los parámetros de riego en tiempo real basados en los datos recogidos.

- Simular diferentes condiciones ambientales y de suelo que afectan a los invernaderos de orquídeas en el laboratorio para evaluar la funcionalidad del sistema en la regulación automática del riego dentro de un ambiente controlado.

1.4 Justificación.

Este trabajo radica en la necesidad de optimizar los procesos de riego en invernaderos, particularmente en cultivos que requieren un control ambiental preciso, como las orquídeas. El riego manual o basado en sistemas tradicionales suele ser ineficiente, lo que conlleva a un uso excesivo de agua y recursos, así como a la posibilidad de errores humanos que pueden afectar negativamente la salud de las plantas. Con el desarrollo de un sistema automatizado que emplea sensores ambientales inalámbricos y tecnologías avanzadas como LoRa e IIoT, es posible lograr una gestión mucho más eficiente del riego, ajustando las cantidades de agua en función de las condiciones reales del entorno en tiempo real. Esto no solo permite ahorrar agua y energía, sino que también economiza los costos de implementación y mantenimiento de un sistema cableado. Además, optimiza el crecimiento de las plantas, garantizando que reciban las condiciones necesarias de manera precisa y oportuna.

La tecnología LoRa, que es altamente eficiente en términos de consumo energético y alcance de transmisión, representa una solución ideal para comunicación inalámbrica en áreas rurales o regiones con infraestructura de red limitada, teniendo en cuenta que un sistema cableado representaría costos elevados de instalación en base al terreno y mantenimientos constantes, para lo cual se propone una solución al tener un sistema que mida las variables críticas del cultivo de manera inalámbrica.

Al implementar un sistema que integre LoRa con una interfaz HMI, los usuarios podrán monitorear los parámetros del riego en tiempo real. Este nivel de automatización no solo mejora la productividad y la sostenibilidad en la agricultura, sino que también sienta las bases para futuras investigaciones en el campo de la agricultura de precisión, facilitando el desarrollo de soluciones tecnológicas aplicables a una amplia gama de cultivos y escenarios agrícolas.

1.5 Alcance del proyecto.

El alcance detallado del proyecto, alineado con cada uno de los cuatro objetivos específicos, se muestra a continuación:

En lo que respecta al desarrollo de una red de comunicación de sensores inalámbricos para la adquisición de datos, se implementará una red de comunicación de sensores inalámbricos que integre LoRa en un entorno controlado que simule un invernadero de cultivo de orquídeas, configurar los sensores para medir variables críticas como la temperatura, la humedad del suelo, y la luminosidad, esenciales para el crecimiento óptimo de las orquídeas y establecer la transmisión de los datos recolectados hacia un PLC utilizando la tecnología LoRa, asegurando la integridad de los datos y que se transmitan de manera eficiente.

Para la implementación del protocolo de comunicación LoRa y tecnología IIoT con PLC, Raspberry PI y HMI, se utilizará un PLC para recibir la información de los sensores y ejecutar acciones de control en base a los parámetros recibidos, programar un Raspberry PI para procesar los datos obtenidos, realizar un análisis previo y enviar la información procesada al HMI, configurar el HMI para visualizar la información en tiempo real y poder tomar decisiones en base a los datos recibidos, además de automatizar respuestas a condiciones predeterminadas en entornos controlados de agricultura de precisión.

En la etapa de simulación de escenarios ambientales en laboratorio, se simulará diferentes condiciones en los parámetros medidos, forzando valores en las variables climáticas del sistema y evaluar de forma experimental el comportamiento del sistema mediante métricas de transmisión de datos, potencia de señal y latencia, documentar los resultados de las simulaciones para analizar el rendimiento y realizar ajustes futuros en la comunicación inalámbrica del sistema de monitoreo y control automático de riego.

Para el desarrollo de una interfaz HMI para el monitoreo y control, se diseñará y programará una interfaz HMI que permita a los usuarios supervisar en tiempo real las condiciones ambientales del invernadero de orquídeas, implementar notificaciones y alertas automáticas para informar a los usuarios sobre cualquier anomalía detectada por el sistema en las condiciones del invernadero.

1.6 Metodología.

La metodología del proyecto se organizará en diversas etapas conectadas entre sí, cada una con metas claras y actividades específicas, que facilitarán la consecución de los resultados deseados.

1.6.1 Investigación descriptiva.

Este enfoque se aplicará en las fases iniciales del proyecto para identificar y describir los sistemas de riego existentes, así como las tecnologías de comunicación que se utilizan en la agricultura de precisión. A través de la observación y el análisis de casos previos, se podrá obtener un panorama claro sobre las prácticas actuales en el manejo de cultivos delicados, como las orquídeas. Esta información servirá como base para comprender las características y necesidades específicas de los invernaderos, lo que permitirá diseñar un sistema más efectivo y adaptado a sus requisitos.

1.6.2 Investigación documental.

Se llevará a cabo una exhaustiva revisión de la literatura relacionada con la implementación de tecnologías IIoT y LoRa en la agricultura. Este análisis incluirá la consulta de artículos académicos, tesis y proyectos de investigación que aborden temas similares. El objetivo de esta metodología es recopilar información relevante y actualizada que respalde el diseño y la simulación del sistema, así como identificar mejores prácticas y lecciones aprendidas de proyectos anteriores. Esto no solo enriquecerá el marco teórico del proyecto, sino que también proporcionará un contexto sólido para la implementación.

1.6.3 Investigación experimental.

En este proyecto, se procederá a implementar un sistema de comunicación inalámbrica en un entorno controlado (simulación) de cultivo de orquídeas en invernaderos con el fin de monitorear variables ambientales importantes como la temperatura, la humedad del suelo y la luminosidad. Los sensores, basados en la tecnología LoRa, enviarán los datos a un servidor central para su análisis en tiempo real utilizando IIoT. A lo largo de los experimentos, se evaluará el desempeño del sistema en cuanto a la precisión de los datos obtenidos, el alcance de la señal y la capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales. Al simular el sistema, se evaluará su rendimiento antes de implementarlo en campo, lo que garantizará su efectividad en la optimización de los recursos agrícolas y la sostenibilidad del cultivo. Los

resultados obtenidos proporcionarán información útil para determinar la viabilidad del sistema en aplicaciones agrícolas reales, identificando posibles ajustes o mejoras que optimicen su rendimiento y funcionalidad en condiciones de campo abierto.

1.6.4 Investigación aplicada.

En esta fase, se procederá a la implementación del prototipo de una red de comunicación de sensores inalámbricos utilizados para monitorear variables ambientales en tiempo real. Esta metodología se centra en aplicar los conocimientos adquiridos de las investigaciones descriptivas y documentales para resolver problemas prácticos. Se incluirá la instalación de sensores, el establecimiento de la red LoRa y la creación de la interfaz HMI para el monitoreo y control automático del sistema. Además, se realizarán pruebas para evaluar la funcionalidad del sistema de comunicación inalámbrica en un entorno controlado (laboratorio).

1.7 Resultados esperados.

Los resultados esperados alineados con cada uno de los objetivos específicos del proyecto son los siguientes:

En el desarrollo de una red de comunicación de sensores inalámbricos para la adquisición de datos, se desea obtener una precisión en la recolección de datos, es decir, los sensores ambientales deben ser capaces de capturar datos en tiempo real sobre la humedad del suelo y la temperatura, asegurando mediciones precisas y consistentes. También la transmisión eficaz de datos que significa que los datos recopilados deben ser transmitidos de manera eficiente utilizando la tecnología LoRa, sin pérdidas ni errores significativos, incluso en áreas rurales con baja conectividad.

Para la implementación del protocolo de comunicación LoRa y tecnología IIoT con PLC, Raspberry PI y HMI, se espera que la implementación del protocolo LoRa y la infraestructura IIoT permita una conectividad estable y el monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales en el invernadero. Para esto los sistemas PLC, Raspberry PI y HMI deben integrarse correctamente permitiendo una excelente comunicación de todos los componentes, además de tener una transmisión continua, es decir, la transmisión de datos desde los sensores hasta la estación central debe garantizar la disponibilidad de información precisa para que el sistema sea capaz de responder automáticamente disminuyendo la

necesidad de un ajuste manual.

Para el desarrollo de una interfaz HMI para el monitoreo y control en tiempo real, esta debe ser intuitiva y accesible para los usuarios, permitiendo el monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales presentes en un invernadero de orquídeas, además los usuarios deben poder recibir alertas automáticas sobre cualquier condición crítica desde la interfaz HMI como niveles altos o bajos de humedad del suelo o temperatura.

CAPÍTULO II

2.1 Marco contextual.

En la agricultura moderna, los sistemas de monitoreo y control automático representan una optimización clave para mejorar la productividad y sostenibilidad en los cultivos, particularmente en entornos controlados como los invernaderos. En América Latina, el sector agrícola ha comenzado a integrar tecnologías de automatización y sistemas de monitoreo avanzados, aunque todavía se estima que menos del 40% de los agricultores utilizan alguna forma de tecnología de monitoreo ambiental en sus instalaciones [17]. En Ecuador, esta cifra es incluso menor, ya que la mayoría de los productores agrícolas, especialmente los pequeños y medianos, dependen de métodos de riego tradicionales y carecen de sistemas automatizados para el control de sus cultivos.

La tecnología de redes de sensores inalámbricos (WSN) junto con la tecnología IIoT ha permitido una evolución significativa en el manejo de variables críticas para el crecimiento de cultivos sensibles, como las orquídeas, que requieren condiciones ambientales precisas de temperatura, humedad y luminosidad [18]. La tecnología LoRa, en particular, ha demostrado ser efectiva en entornos agrícolas debido a su bajo consumo energético y capacidad de comunicación de largo alcance, lo que permite que los sensores distribuidos a lo largo de un invernadero puedan enviar datos en tiempo real a una estación central de monitoreo.

A nivel local, algunas instituciones educativas e iniciativas de investigación en Ecuador han comenzado a explorar las aplicaciones de sistemas de monitoreo basados en IIoT para la agricultura, con el fin de promover una agricultura más inteligente y sostenible. Universidades como la Universidad Estatal Península de Santa Elena están desarrollando proyectos que integran sensores y protocolos de comunicación inalámbrica para investigar su efectividad en diferentes cultivos bajo condiciones controladas [19].

El uso de una red de sensores LoRa aplicada a un sistema de monitoreo y control automático de riego en invernaderos de orquídeas tiene el propósito de mejorar la eficiencia en el uso de recursos como el agua y la energía, y optimizar las condiciones de cultivo de las orquídeas para incrementar la productividad y calidad de las flores [20]. A través del análisis de los datos obtenidos de los sensores y el control preciso del riego, se espera que este sistema pueda contribuir a establecer bases para una agricultura de precisión en el país.

Este proyecto se desarrollará en el laboratorio de investigación de la Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, donde se busca aprovechar los recursos académicos y tecnológicos de la institución para impulsar la investigación en tecnologías emergentes. Los beneficiarios directos de esta investigación serán los estudiantes de la facultad, quienes tendrán la oportunidad de participar activamente en el desarrollo y la implementación del sistema, fortaleciendo sus conocimientos y habilidades en áreas como IoT, telecomunicaciones y automatización aplicada a la agricultura.

2.2 Marco conceptual.

2.2.1 Agricultura inteligente y tecnología IIoT.

La agricultura inteligente se refiere a la aplicación de tecnologías avanzadas para optimizar las prácticas agrícolas, con el objetivo de incrementar la productividad, reducir el uso de recursos y mejorar la sostenibilidad del cultivo [21]. Este concepto incluye la recopilación y análisis de datos en tiempo real mediante sensores, drones, software especializado, y sistemas de comunicación. Estos dispositivos permiten a los agricultores tomar decisiones informadas sobre riego, fertilización y protección de cultivos, asegurando que cada etapa del proceso esté optimizada para obtener el máximo rendimiento. La agricultura inteligente es especialmente beneficiosa en cultivos de alto valor y en ambientes controlados, como los invernaderos, donde la precisión es clave para mantener las condiciones ideales de crecimiento [22].

El Internet Industrial de las Cosas (IIoT) es una red de dispositivos interconectados que recopilan, procesan y transmiten datos en tiempo real, permitiendo una gestión inteligente y autónoma de los sistemas [23]. En agricultura, el IIoT facilita el monitoreo continuo de variables ambientales como humedad del suelo, temperatura, niveles de luz y concentración de nutrientes, lo cual es esencial para la gestión eficiente del agua y los fertilizantes. Los sistemas IIoT permiten a los agricultores automatizar el riego, detectar posibles problemas de cultivo antes de que se conviertan en crisis y optimizar el uso de insumos de manera que se minimicen los costos y se maximicen los resultados [24]. Las aplicaciones incluyen desde el control automático de riego hasta la detección de plagas y enfermedades mediante la observación de patrones anómalos en los datos recolectados.

El cultivo de orquídeas requiere de condiciones ambientales estrictas para prosperar, ya que son plantas sensibles a variaciones de temperatura, humedad y luz. La tecnología IIoT

es particularmente valiosa para este tipo de cultivo, pues permite monitorear y ajustar los parámetros de forma precisa y en tiempo real. Esto garantiza un ambiente óptimo, minimiza el riesgo de enfermedades causadas por condiciones inadecuadas y permite un uso eficiente del agua y la energía [25]. Al aplicar un sistema IIoT en el riego de orquídeas, es posible realizar ajustes automáticos y puntuales que aseguren el desarrollo saludable de las plantas, mejorando tanto la calidad como la cantidad de producción. Además, la recopilación de datos históricos sobre el rendimiento del cultivo puede proporcionar valiosa información para mejorar los métodos de cultivo a largo plazo.

2.2.2 Redes de sensores inalámbricos (WSN) en la agricultura.

Las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN, por sus siglas en inglés) son sistemas compuestos por múltiples nodos interconectados de forma inalámbrica, los cuales están diseñados para monitorear y transmitir datos específicos del entorno en tiempo real [26]. Cada nodo dentro de la red generalmente contiene uno o varios sensores, un transceptor, una fuente de energía y un procesador. Estos nodos trabajan de manera coordinada para recoger información y enviarla a un nodo central o estación base, donde los datos son procesados y analizados para facilitar la toma de decisiones [27]. En el contexto agrícola, las WSN permiten la supervisión continua de factores como la temperatura, humedad del suelo, nivel de radiación solar y calidad del aire, los cuales son fundamentales para el manejo de cultivos sensibles y de alto valor como las orquídeas.

En la agricultura moderna, los sensores juegan un papel fundamental en la recopilación de datos ambientales y del estado del suelo y las plantas [28]. Estos dispositivos permiten un monitoreo constante y preciso, mejorando la toma de decisiones y optimizando los recursos.

Tabla 1. Tipos de sensores para monitoreo agrícola

<i>Tipo de Sensor</i>	<i>Función Principal</i>	<i>Ejemplo de Sensores</i>	<i>Aplicaciones</i>
<i>Humedad del Suelo</i>	Mide el contenido de agua en el suelo.	Capacitivo, Tensiómetro	Determina cuándo y cuánto regar; mejora la conservación de agua.
<i>Temperatura</i>	Registra la temperatura ambiente o del suelo.	DS18B20, DHT22	Monitoreo de condiciones climáticas críticas; optimización del desarrollo del cultivo.

<i>Humedad Relativa</i>	Detecta el nivel de humedad en el aire.	DHT22	Prevención de enfermedades fúngicas; control de la humedad en invernaderos.
<i>Luz (Radiación Solar)</i>	Mide la intensidad de luz solar o PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa).	Fotómetro, Piranómetro	Optimización de la iluminación en invernaderos; monitoreo de necesidades de sombra.
<i>pH del Suelo</i>	Evalúa el nivel de acidez o alcalinidad del suelo.	Sensores de pH electroquímicos	Correcciones en el pH para mejorar la absorción de nutrientes.
<i>Conductividad Eléctrica</i>	Mide la concentración de sales en el suelo o agua de riego.	Sensores de CE	Control de salinidad; monitoreo en sistemas de fertirrigación.
<i>CO₂</i>	Detecta la concentración de dióxido de carbono en el aire.	Sensores NDIR	Optimización de niveles de CO ₂ en invernaderos para mejorar la fotosíntesis.
<i>Viento</i>	Mide la velocidad y dirección del viento.	Anemómetro	Evaluación de riesgos de erosión; determinación del momento ideal para aplicar productos químicos.
<i>Presión</i>	Mide la presión en sistemas de riego.	Sensores piezorresistivos	Detección de fugas; aseguramiento de una distribución uniforme del agua.
<i>Nivel de Agua</i>	Monitorea la cantidad de agua en depósitos o sistemas de almacenamiento.	Sensores ultrasónicos	Prevención de agotamiento de recursos de agua; monitoreo de niveles en tanques de almacenamiento.

Las aplicaciones de las WSN en la agricultura son diversas y han demostrado ser una herramienta esencial para el monitoreo de cultivos en tiempo real [29]. En el caso específico de la agricultura de invernadero, las WSN permiten la creación de mapas de microclimas dentro

del espacio de cultivo, proporcionando datos que pueden usarse para ajustar el riego, la ventilación y la iluminación en zonas específicas del invernadero, las WSN permiten implementar un sistema de alerta temprana, que notifica a los agricultores sobre cambios bruscos en las condiciones ambientales que podrían afectar el cultivo de orquídeas [30]. Esta capacidad de respuesta rápida es clave para reducir el desperdicio de agua y energía y para mejorar la eficiencia en la producción, lo cual es fundamental para la sostenibilidad y productividad agrícola.

Las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN) representan una solución clave para el monitoreo y control de variables en ambientes agrícolas, mejorando la eficiencia y productividad de los cultivos [31]. Sin embargo, su implementación y operación en el sector agrícola enfrentan una serie de retos y limitaciones que pueden afectar su efectividad y sostenibilidad.

Tabla 2. Retos y limitaciones de las WSN en ambientes agrícolas

<i>Categoría</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ejemplo de Impacto</i>
<i>1. Desafíos Ambientales</i>	Las condiciones extremas en ambientes agrícolas (calor, humedad, lluvia, polvo) pueden dañar los sensores y nodos.	Corrosión en componentes electrónicos por alta humedad.
<i>2. Consumo de Energía</i>	Los sensores y nodos requieren energía constante, lo que puede ser un desafío en áreas remotas.	Reemplazo frecuente de baterías en sistemas aislados.
<i>3. Cobertura de Red</i>	Limitaciones en el alcance de la señal debido a la geografía, vegetación densa o grandes extensiones.	Pérdida de datos en áreas con árboles o invernaderos grandes.
<i>4. Interferencias de Señal</i>	Otras redes inalámbricas o dispositivos cercanos pueden generar interferencias y calidad degradar la de la señal.	Pérdida de comunicación en granjas cercanas a redes Wi-Fi.
<i>5. Robustez del Hardware</i>	Los dispositivos deben ser duraderos para soportar impactos físicos o condiciones de campo.	Fallas en nodos después de una tormenta o impactos mecánicos.
<i>6. Gestión de Datos</i>	El procesamiento de grandes volúmenes de datos generados por sensores puede ser complejo y costoso.	Retrasos en el análisis de datos en tiempo real.

7. Seguridad de los Datos	Las redes inalámbricas son vulnerables a accesos no autorizados o ciberataques.	Riesgo de manipulación de datos críticos de sensores.
8. Costos de Implementación	Los costos iniciales de instalación, hardware y mantenimiento pueden ser elevados	Restricción en pequeñas explotaciones agrícolas.
9. Mantenimiento	Requieren monitoreo constante para asegurar la funcionalidad de sensores, nodos y redes.	Fallas no detectadas en sensores clave que afectan el sistema.
10. Escalabilidad	Incrementar el número de nodos para cubrir áreas más grandes puede ser complejo e incrementar los costos.	Limitaciones en la cobertura de grandes plantaciones.

2.2.3 Tecnología LoRa en redes de sensores inalámbricos.

La tecnología LoRa (Long Range) es una solución de comunicación inalámbrica de baja potencia y largo alcance, que opera en el espectro de frecuencias sub-GHz. Su tecnología de modulación de espectro ensanchado permite a los dispositivos enviar y recibir datos a largas distancias (hasta 15 km en zonas rurales y 5 km en áreas urbanas) mientras consumen muy poca energía, lo que la convierte en una opción ideal para aplicaciones que requieren comunicación a larga distancia y que dependen de baterías [32]. A diferencia de otras tecnologías de comunicación, LoRa está optimizada para la transmisión de datos a baja tasa de bits, lo cual es adecuado para el monitoreo y control de variables ambientales en la agricultura.

LoRaWAN es el protocolo de red que define la arquitectura y la comunicación para dispositivos que utilizan la tecnología LoRa [33]. Esta arquitectura incluye tres componentes principales: los nodos de sensores, las puertas de enlace (gateways) y el servidor de red. Los nodos, que contienen los sensores, envían los datos a través de las puertas de enlace, las cuales actúan como intermediarios que reciben y transmiten la información hacia un servidor central, donde los datos son procesados y almacenados [34]. LoRaWAN también implementa funciones de seguridad, como la autenticación de dispositivos y la encriptación de los datos transmitidos, garantizando que la información recolectada esté protegida y que solo el servidor autorizado pueda procesarla.

Las ventajas de LoRa en el ámbito agrícola incluyen su largo alcance, bajo consumo de energía, y su capacidad para operar en condiciones remotas sin infraestructura de comunicación costosa [35]. LoRa es especialmente útil en zonas agrícolas amplias o de difícil

acceso, donde no se dispone de redes Wi-Fi o cobertura celular. Además, su capacidad para transmitir datos a través de barreras físicas permite una cobertura eficiente en ambientes como los invernaderos, donde las estructuras suelen bloquear otras señales.

Sin embargo, LoRa también tiene algunas limitaciones. Su baja tasa de transmisión de datos limita la cantidad de información que se puede enviar, y su susceptibilidad a interferencias en áreas muy congestionadas puede afectar su desempeño [36]. A pesar de estas limitaciones, LoRa sigue siendo una buena opción para sistemas agrícolas que no requieren transmisión de grandes volúmenes de datos, como para este proyecto, el monitoreo de variables como la humedad del suelo, la temperatura y la luminosidad.

La tecnología LoRa tiene un impacto significativo en el control de ambientes controlados como los invernaderos [37]. En el cultivo de orquídeas, donde los parámetros de humedad, temperatura y luz deben mantenerse dentro de un rango óptimo, LoRa permite una comunicación confiable entre los sensores ubicados en diferentes áreas del invernadero y el sistema central de control. Esto hace posible monitorear y ajustar las condiciones del invernadero en tiempo real. Además, la tecnología LoRa permite implementar un sistema de riego automatizado, donde los sensores de humedad del suelo pueden activar el riego únicamente cuando es necesario, optimizando el uso de agua y reduciendo los costos de operación [38]. Esta capacidad de gestión remota y en tiempo real mejora la productividad y calidad del cultivo de orquídeas al mantener un ambiente óptimo de crecimiento.

2.2.4 Monitoreo y control automático de riego en invernaderos.

Los sistemas de riego en invernaderos están diseñados para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos en un ambiente controlado, asegurando que cada planta reciba la cantidad exacta de agua necesaria para su desarrollo óptimo [39]. Existen diversos métodos de riego utilizados en los invernaderos, como el riego por goteo, por aspersión y por nebulización. Cada uno de estos sistemas puede ser seleccionado en función de las características específicas del cultivo, las condiciones del suelo, y la disponibilidad de recursos [40]. En el cultivo de orquídeas, el riego por goteo es una de las opciones más adecuadas, ya que permite una entrega precisa y controlada del agua, reduciendo el riesgo de enfermedades que pueden generarse por un exceso de humedad en el entorno.

Para mantener un ambiente ideal en el invernadero, es fundamental el monitoreo constante de parámetros críticos como la humedad del suelo, la temperatura, la humedad relativa del aire y los niveles de luz [41]. Estos factores influyen directamente en el crecimiento y la salud de las orquídeas, por lo que mantenerlos dentro de los rangos óptimos es esencial para garantizar una producción de alta calidad. La integración de sensores ambientales que transmiten datos en tiempo real permite a los sistemas de riego ajustar automáticamente el suministro de agua según las condiciones actuales, evitando tanto el estrés hídrico como el exceso de agua, los cuales pueden afectar negativamente a las plantas.

El control automático de riego utiliza la información proporcionada por los sensores para gestionar el sistema de riego sin intervención humana constante. Con la ayuda de algoritmos de control preprogramados, el sistema puede determinar cuándo y cuánta agua suministrar a las plantas, basándose en las mediciones de humedad del suelo y otros parámetros relevantes [42]. Este enfoque permite un riego eficiente y preciso, ajustado a las necesidades diarias del cultivo. Además, el control automático reduce el desperdicio de agua y energía, y garantiza que las orquídeas crezcan en condiciones óptimas en todo momento, independientemente de las variaciones ambientales externas [43].

El uso de control automático en el riego tiene un impacto positivo directo en la productividad del cultivo de orquídeas. Al asegurar que las plantas reciban siempre el nivel adecuado de agua y nutrientes, se promueve un crecimiento saludable, una menor incidencia de enfermedades y una reducción en los costos de mantenimiento y recursos [44]. Este tipo de sistema no solo optimiza el rendimiento y la calidad de las plantas, sino que también permite a los agricultores gestionar sus cultivos de manera más sostenible y eficiente [45]. En términos económicos, el control automático de riego puede reducir significativamente los costos asociados con el uso de agua y energía, al tiempo que aumenta la productividad al reducir el riesgo de pérdidas y mejorar la calidad del cultivo final.

2.2.5 Infraestructura del sistema de monitoreo y control IIoT en invernaderos.

La infraestructura de un sistema de monitoreo y control IIoT en invernaderos está compuesta por sensores, dispositivos de transmisión de datos, nodos de procesamiento y actuadores, los cuales trabajan en conjunto para recopilar y gestionar información ambiental y operativa [46]. Los sensores miden parámetros críticos como la temperatura, la humedad, la luz y la humedad del suelo, mientras que los dispositivos de transmisión, como los módulos

LoRa, envían los datos hacia una estación central [47]. Los invernaderos, los actuadores son responsables de activar los sistemas de riego o ventilación según las instrucciones emitidas por el sistema de control, basándose en la información recibida de los sensores.

La interfaz Hombre-Máquina (HMI) es fundamental para permitir que los operadores supervisen y controlen el sistema de riego y monitoreo de forma intuitiva. La HMI proporciona un tablero visual donde se muestran en tiempo real los datos de los sensores y el estado de los sistemas de riego y ventilación [48]. Esto facilita a los operadores la toma de decisiones, ya que pueden ajustar manualmente los parámetros del sistema o permitir que el sistema opere automáticamente dentro de los límites establecidos. En invernaderos de orquídeas, una HMI puede incluir gráficos, alertas y controles específicos que ayudan a garantizar que los parámetros ambientales permanezcan dentro de los rangos óptimos para el cultivo [49].

El almacenamiento y análisis de datos en la nube es una de las grandes ventajas de los sistemas IIoT, ya que permite la recopilación, procesamiento y almacenamiento de grandes volúmenes de datos generados por los sensores en el invernadero [50]. A través de la nube, los datos históricos pueden analizarse para detectar patrones, optimizar el riego y predecir el comportamiento del cultivo en diferentes condiciones climáticas. En el caso de los invernaderos, el almacenamiento en la nube facilita el acceso remoto a los datos desde cualquier ubicación, permitiendo a los agricultores supervisar y ajustar sus sistemas de riego de forma remota [51]. Además, los datos en la nube pueden integrarse con modelos de aprendizaje automático para optimizar aún más el rendimiento del cultivo.

La seguridad de los datos es un aspecto crítico en los sistemas IIoT, ya que estos dispositivos suelen estar conectados a redes abiertas y son vulnerables a ataques cibernéticos. En el contexto de un invernadero, la protección de los datos y la integridad del sistema de monitoreo son esenciales para garantizar un funcionamiento continuo y seguro [52]. Las medidas de seguridad incluyen la encriptación de datos durante la transmisión, la autenticación de dispositivos y la implementación de firewalls para proteger los datos almacenados en la nube. Esto asegura que la información ambiental y operativa de los invernaderos esté protegida contra accesos no autorizados y ciberamenazas que podrían comprometer la productividad del cultivo de orquídeas [53].

2.2.6 Mejora de la productividad en el cultivo de orquídeas.

El cultivo de orquídeas requiere un manejo preciso de diversos factores ambientales para maximizar la productividad y la calidad de las flores. Entre los factores más críticos se encuentran la temperatura, la humedad relativa del aire, la luz y la humedad del suelo [54]. Las orquídeas, al ser plantas sensibles a los cambios en estas variables, requieren un ambiente controlado y constante. La temperatura debe encontrarse dentro de un rango específico que es entre 18 y 20 grados centígrados para el riego del cultivo de orquídeas con el fin de obtener el mejor contenido de oxígeno y la mejor absorción por parte de las raíces, si se riega la planta con una temperatura superior a los 22 grados centígrados se reduce rápidamente el oxígeno disuelto y aumenta el riesgo de enfermedad en las raíces. La humedad del suelo debe ser alta, el rango ideal está entre el 40% y el 70% de humedad, si este valor es excesivo puede generar problemas como la proliferación de hongos y como resultado la raíz empieza a pudrirse. Además, las orquídeas requieren una luz adecuada, pero no directa, y el riego debe ajustarse a las necesidades específicas de la planta, evitando tanto la falta de agua como el encharcamiento [55]. La integración de sensores en un sistema automatizado de monitoreo y control facilita la supervisión constante de estos factores, asegurando que se mantengan dentro de los límites ideales.

El monitoreo y control en tiempo real de las condiciones ambientales tiene un impacto directo en la productividad de las orquídeas [56]. Un sistema automatizado que controle la temperatura, la humedad y el riego, en función de los datos recabados por los sensores, permite ajustar los parámetros del ambiente para que siempre se encuentren dentro de los niveles óptimos. Este tipo de intervención no solo mejora el crecimiento de las plantas, sino que también reduce el estrés causado por condiciones subóptimas, lo que se traduce en una mayor calidad y cantidad de flores. Además, el control automático de riego, en particular, evita problemas comunes como el riego excesivo o insuficiente, que pueden afectar el desarrollo de las raíces y el vigor de las plantas [48]. Como resultado, los agricultores pueden aumentar su producción, mejorar la salud de las plantas y optimizar el uso de recursos como el agua, contribuyendo a una mayor sostenibilidad en la operación del invernadero.

Numerosos estudios de caso han demostrado cómo la implementación de sistemas de monitoreo y control automáticos en cultivos similares, como el de flores y otros cultivos ornamentales, ha mejorado la productividad [57]. Por ejemplo, un estudio realizado en un invernadero de flores en Colombia demostró que la automatización del sistema de riego, con

base en sensores de humedad y temperatura, resultó en un incremento de hasta un 20% en la producción de flores, mientras que los costos operativos se redujeron significativamente. De manera similar, en invernaderos de tomate, el uso de tecnologías IIoT ha mostrado mejoras en la gestión de los recursos, lo que ha permitido aumentar el rendimiento del cultivo sin necesidad de ampliar el área cultivada [58].

Actualmente no existen tantos estudios específicamente sobre el cultivo de orquídeas, se han obtenido resultados positivos al aplicar tecnologías de monitoreo en invernaderos que cultivan plantas ornamentales de alto valor comercial [59]. Estos ejemplos evidencian el potencial de las soluciones basadas en IIoT para optimizar la producción en sectores agrícolas especializados, como el cultivo de orquídeas, mejorando la eficiencia y reduciendo los riesgos asociados con la gestión manual de los sistemas de riego y otros parámetros críticos.

2.2.7 Equipos y tecnologías a utilizar.

En este apartado se describen los equipos y tecnologías a utilizar para el siguiente capítulo que conlleva el desarrollo del proyecto, estos equipos fueron elegidos considerando su eficiencia y su bajo costo.

PLC: funcionalidad y aplicaciones en sistemas de control.

Los Controladores Lógicos Programables (PLC) son dispositivos electrónicos que juegan un papel esencial en la automatización industrial. Están diseñados para recibir entradas de sensores, procesar la información según un programa específico y emitir señales de control a actuadores [60]. Esta capacidad los hace ideales para aplicaciones que requieren alta fiabilidad y tiempo de respuesta en tiempo real, como la gestión de sistemas de riego en invernaderos. Un PLC puede integrarse con otros equipos y sensores para garantizar un monitoreo constante de los parámetros ambientales, activando o desactivando bombas y válvulas según sea necesario para mantener el control de riego [61].

Los PLCs permiten automatizar procesos que optimizan el uso de recursos y mejoran la eficiencia de producción [35]. Por ejemplo, un sistema de riego automatizado controlado por un PLC puede ajustar la cantidad de agua proporcionada a las plantas en función de datos en tiempo real obtenidos de sensores de humedad y temperatura. Esta integración no solo asegura un uso eficiente del agua, sino que también promueve un entorno más saludable

para el crecimiento de las plantas.

El uso de PLCs en proyectos de IIoT (Internet Industrial de las Cosas) implica la integración de hardware y software que permitan la comunicación entre el controlador y una interfaz de usuario [28]. De esta manera, los operadores pueden monitorear y ajustar los parámetros de los sistemas de riego, mejorando la capacidad de respuesta y la supervisión. Los PLCs también pueden conectarse a la nube para el almacenamiento y análisis de datos, facilitando la creación de reportes y la implementación de algoritmos de control predictivo.

Raspberry Pi 4: características y usos en la automatización.

La Raspberry Pi 4 es una de las plataformas de desarrollo más versátiles y accesibles para proyectos de automatización. Su capacidad de procesamiento y conectividad, que incluye puertos USB, HDMI, y una conexión de red Wi-Fi, la hace adecuada para ser la unidad de control central en sistemas de monitoreo [62]. Este dispositivo puede manejar múltiples tareas simultáneamente, como la recopilación de datos de sensores, la gestión de la comunicación entre dispositivos y la ejecución de software de análisis.

En aplicaciones agrícolas, la Raspberry Pi 4 se usa para gestionar la recopilación y procesamiento de datos provenientes de los sensores. Este dispositivo permite ejecutar sistemas operativos completos y software que facilita la visualización de datos en tiempo real [35]. Además, la Raspberry Pi 4 puede actuar como un servidor de comunicación para coordinar la transmisión de datos entre diferentes nodos de la red, incluyendo los ESP32 con módulos LoRa y otros sensores.

Uno de los usos destacados de la Raspberry Pi 4 en la automatización de invernaderos es su capacidad para conectarse a interfaces HMI (Interfaz Hombre-Máquina). Estas interfaces permiten a los operadores visualizar la información de los sensores, ajustar los parámetros de los sistemas de riego y tomar decisiones informadas sobre el manejo del cultivo [63]. Su flexibilidad y bajo costo, la Raspberry Pi 4 es una herramienta poderosa que impulsa la adopción de soluciones de IIoT en la agricultura moderna.

ESP32 con módulo LoRa: comunicación y procesamiento en redes inalámbricas.

El ESP32 es un microcontrolador que ha ganado popularidad por su capacidad de combinar procesamiento de datos y conectividad inalámbrica a un costo asequible [64]. Cuando se asocia con un módulo LoRa, se convierte en una solución potente para redes de sensores inalámbricos en aplicaciones agrícolas. LoRa (Long Range) es una tecnología de comunicación de baja potencia y largo alcance, ideal para el monitoreo en áreas extensas como invernaderos y campos agrícolas.

El uso de ESP32 con LoRa permite la recolección y transmisión de datos de sensores de humedad y temperatura a una estación central sin necesidad de una infraestructura de red compleja. Esta solución es especialmente útil en zonas rurales o en invernaderos donde la conectividad por cable sería poco práctica o costosa [65]. Además, el bajo consumo energético de LoRa junto con la capacidad de procesamiento del ESP32 garantiza una operación eficiente y prolongada de los nodos de la red, lo cual es fundamental para la sostenibilidad de los sistemas automatizados.

La implementación de ESP32 con módulos LoRa se puede complementar con la integración de software que permita el análisis y visualización de datos. Esto posibilita el uso de algoritmos para la toma de decisiones en tiempo real y la activación automática de sistemas de riego o ventilación [66]. A continuación, se presenta una tabla con las características clave de los ESP32 y módulos LoRa:

Tabla 3. Características del ESP32 y el módulo LoRa

<i>Característica</i>	<i>ESP32</i>	<i>Módulo LoRa</i>
<i>Procesador</i>	Dual-core, 32-bit	No aplica
<i>Conectividad</i>	Wi-Fi, Bluetooth	Comunicación de largo alcance
<i>Consumo de energía</i>	Bajo	Muy bajo
<i>Rango de alcance</i>	Limitado (dependiente de la red)	Largo (hasta 15 km en exterior)
<i>Costo</i>	Bajo	Bajo

Sensor de humedad y temperatura: importancia en el monitoreo ambiental.

Los sensores de humedad y temperatura son esenciales para la medición precisa de las condiciones ambientales en la agricultura. Estos dispositivos proporcionan datos en tiempo real que permiten a los sistemas de automatización evaluar si las condiciones en el invernadero o campo son las óptimas para el crecimiento de las plantas [38]. Mediante estos sensores, se

puede mantener un control sobre la cantidad de agua que se aplica, ajustando la frecuencia y la duración del riego de acuerdo con las necesidades específicas de las plantas.

La integración de sensores de humedad y temperatura en un sistema de monitoreo permite la recopilación de datos constantes que se pueden utilizar para la generación de alertas automáticas y el análisis de tendencias [55]. Por ejemplo, si el sensor de humedad detecta niveles bajos, el sistema puede activar el riego automáticamente para evitar que las plantas se deshidraten. La precisión de estos sensores es crucial para evitar el desperdicio de agua y para asegurar que las plantas reciban la cantidad adecuada de riego.

Además, los sensores de humedad y temperatura desempeñan un papel importante en la optimización de la eficiencia de recursos en la agricultura de precisión. Estos dispositivos, junto con el procesamiento de datos en tiempo real, permiten ajustar las condiciones de cultivo de manera dinámica, lo que se traduce en un mejor rendimiento de los cultivos y un uso más responsable del agua y de otros recursos [58]. La tecnología de sensores es un pilar fundamental en la implementación de sistemas IIoT que buscan un equilibrio entre la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental.

Integración de hardware y software en sistemas automatizados.

La integración de hardware y software es la base para el funcionamiento de un sistema de monitoreo y control automatizado en la agricultura. Un sistema compuesto por un PLC, ESP32 con módulos LoRa y una Raspberry Pi 4 debe estar perfectamente coordinado para asegurar la recopilación, procesamiento y transmisión de datos de manera eficiente [67]. Los sensores de humedad y temperatura se conectan a los microcontroladores, que a su vez envían la información a la Raspberry Pi para su análisis y visualización.

El software que gestiona estos sistemas debe ser capaz de recibir datos de diferentes fuentes y procesarlos de forma coherente para generar respuestas automatizadas [68]. Las plataformas de software permiten la creación de interfaces de usuario para la supervisión en tiempo real y la configuración de alertas automáticas en caso de condiciones anormales. Esta integración también facilita el análisis histórico de los datos para la optimización de las estrategias de riego y la toma de decisiones informadas.

La conexión de estos elementos se realiza a través de protocolos de comunicación adecuados, como LoRa, que garantizan la transmisión de datos de larga distancia y bajo consumo. Esto es especialmente importante en aplicaciones agrícolas donde las áreas de monitoreo pueden ser extensas [69]. La tecnología IIoT permite a los agricultores gestionar de manera remota y eficiente las condiciones de cultivo, lo que mejora tanto la productividad como la sostenibilidad de los procesos agrícolas.

Bases de datos y herramientas para la gestión de información.

La gestión de información es un pilar fundamental en los sistemas inteligentes basados en la tecnología IIoT. Este apartado aborda los conceptos básicos de bases de datos, herramientas y lenguajes clave que permiten el almacenamiento, análisis y uso eficiente de los datos recolectados por sensores y dispositivos en aplicaciones de monitoreo y control.

Una base de datos es un conjunto organizado de datos almacenados electrónicamente que permite su fácil acceso, manipulación y actualización [28]. Estas son esenciales para gestionar grandes volúmenes de información generados por sensores en sistemas automatizados.

Los componentes principales de una base de datos incluyen la información que se almacena, como lecturas de sensores, el esquema que define cómo se organizan los datos (tablas, columnas y relaciones), el software que permite almacenar, consultar y administrar datos, como MariaDB o MySQL, y la herramienta que se utiliza para interactuar con los datos, como SQL. Los tipos de bases de datos más comunes son MariaDB y JSON.

SQL (Structured Query Language): lenguaje para el manejo de bases de datos relacionales.

SQL es el lenguaje estándar para gestionar bases de datos relacionales [70]. Este permite ejecutar comandos para realizar tareas como, por ejemplo, definir estructuras para el almacenamiento de datos, añadir registros en las tablas, recuperar información según criterios específicos, modificar o borrar registros existentes.

MariaDB es un sistema de gestión de bases de datos relacional, derivado de MySQL, conocido por su rendimiento, seguridad y facilidad de uso [71]. Es ideal para aplicaciones IIoT debido a sus características como la escalabilidad, código abierto, soporte para integraciones y rendimiento optimizado. En un sistema de monitoreo agrícola, MariaDB puede almacenar datos como humedad del suelo, temperatura y luminosidad, permitiendo

consultas rápidas para decisiones automatizadas.

Node-RED: programación visual para la integración de sensores y bases de datos.

Node-RED es una herramienta de programación visual diseñada para conectar dispositivos y servicios mediante flujos [72]. Utiliza nodos gráficos para integrar sensores, bases de datos y otros componentes de un sistema IIoT.

Entre las características principales de Node-RED tenemos su interfaz visual que permite construir flujos sin necesidad de codificación avanzada, es compatible con protocolos MQTT, HTTP y bases de datos como MariaDB, además es ideal para prototipos y pruebas de sistemas en laboratorios. Node-RED simplifica la integración de datos en tiempo real, permitiendo una gestión eficiente en aplicaciones agrícolas.

Almacenamiento y procesamiento de datos en tiempo real para sistemas IIoT.

El almacenamiento y procesamiento en tiempo real son cruciales para tomar decisiones inmediatas en sistemas IIoT [73]. Estas capacidades permiten un monitoreo continuo para verificar constantemente parámetros críticos como temperatura y humedad, de esta manera poder responder de manera inmediata a eventos, como activar riego ante baja humedad del suelo, incluso poder obtener un análisis predictivo identificando las tendencias en los datos para optimizar procesos. En un sistema agrícola inteligente, estas tecnologías trabajan juntas para garantizar el control eficiente del riego, maximizando la productividad y optimizando el uso de recursos.

2.2.8 Simulación y evaluación de sistemas de comunicación IIoT.

Las herramientas de simulación para sistemas inalámbricos son esenciales en el diseño, análisis y optimización de redes de comunicación, particularmente en el ámbito de la tecnología IIoT (Internet Industrial de las Cosas) [74]. Estas herramientas permiten modelar y evaluar el comportamiento de las redes inalámbricas en condiciones controladas antes de la implementación física, lo que ayuda a identificar posibles problemas y a optimizar el rendimiento [75]. Utilizar simuladores en lugar de realizar pruebas en el entorno real es una estrategia más económica y eficiente, ya que permite experimentar con diferentes configuraciones, protocolos y escenarios sin necesidad de un despliegue físico costoso y prolongado.

Estas herramientas permiten la creación de modelos personalizados de redes, donde los desarrolladores pueden simular algoritmos de comunicación, analizar la eficiencia de transmisión y evaluar otros parámetros de rendimiento de la red. Además, proporcionan un entorno controlado donde se pueden estudiar los efectos de diferentes condiciones en la red, como la interferencia de señal, el alcance de comunicación y la topología de la red [76]. Con la capacidad de ajustar y modificar los elementos de la red en tiempo real, los diseñadores pueden encontrar soluciones óptimas y anticiparse a los posibles desafíos antes de llevar a cabo la implementación física.

El uso de herramientas de simulación para sistemas inalámbricos permite evaluar diversos aspectos del rendimiento, como la latencia, la pérdida de paquetes, la eficiencia de transmisión y la cobertura [45]. Además, se puede analizar la interacción entre los distintos componentes de la red y cómo estos responden a variables ambientales. Este enfoque asegura que los sistemas de comunicación diseñados sean eficientes, confiables y adecuados para cumplir con los objetivos de monitoreo y control en entornos como invernaderos y otras instalaciones industriales. La simulación ofrece una ventaja clave al facilitar la identificación de mejoras antes de la construcción de un sistema real, optimizando así el proceso de diseño y reducción de costos.

La evaluación del desempeño de las redes inalámbricas es un proceso esencial para garantizar la eficacia y la confiabilidad de los sistemas IIoT [77]. Los métodos de evaluación incluyen pruebas de latencia, tasa de pérdida de paquetes, eficiencia de la transmisión y cobertura. La latencia se refiere al tiempo que tarda un paquete de datos en viajar desde el sensor hasta el punto de control, y es fundamental para la respuesta en tiempo real de sistemas automatizados, como el monitoreo y control de riego en invernaderos. Las pruebas de latencia permiten determinar si el sistema puede responder de manera oportuna a las condiciones cambiantes del entorno.

Otro aspecto importante en la evaluación del desempeño de las redes inalámbricas es la tasa de pérdida de paquetes, que se refiere al porcentaje de paquetes que no se entregan de un punto a otro. Una alta tasa de pérdida de paquetes puede indicar interferencia en la señal o problemas de cobertura, afectando la precisión del monitoreo y control [78]. Por lo tanto, es esencial realizar simulaciones que ayuden a identificar áreas donde la señal se debilita y hacer los ajustes necesarios, como la mejora de la ubicación de los nodos de sensores o la

implementación de repetidores de señal.

La eficiencia de la transmisión y la cobertura son también factores clave a evaluar. La eficiencia de la transmisión mide la cantidad de datos útiles enviados en comparación con el total de datos transmitidos, mientras que la cobertura se refiere al área geográfica que abarca la red [79]. Las simulaciones permiten a los desarrolladores probar distintas configuraciones de la red para optimizar la cobertura y la eficiencia energética, lo cual es crucial en aplicaciones agrícolas donde el uso de energía debe minimizarse para reducir costos y proteger el medio ambiente.

Tabla 4. Métodos para evaluar el desempeño de redes inalámbricas

Método de Evaluación	Descripción	Importancia
Latencia	Tiempo de transmisión de paquetes de datos desde el sensor al punto de control.	Asegura respuesta en tiempo real para la regulación automática.
Tasa de pérdida de paquetes	Porcentaje de paquetes que no llegan a destino.	Indica la calidad de la señal y la necesidad de optimización.
Eficiencia de transmisión	Proporción de datos útiles transmitidos.	Aumenta la capacidad de la red y reduce el consumo de energía.
Cobertura	Área geográfica abarcada por la red de sensores.	Determina la extensión del sistema y su efectividad en grandes espacios.

La tabla presenta los métodos clave utilizados para evaluar el desempeño de las redes inalámbricas en sistemas de monitoreo y control, destacando su importancia para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable.

Los escenarios de simulación en invernaderos son fundamentales para probar la viabilidad de los sistemas de monitoreo y control automático antes de su implementación en condiciones reales [80]. En estos escenarios, se modelan diferentes condiciones ambientales, como cambios en la temperatura, la humedad y la iluminación, para evaluar cómo el sistema responde a estos factores. Las simulaciones ayudan a prever la respuesta de los sensores y actuadores, así como a ajustar los algoritmos de control para garantizar una operación eficiente y precisa.

Utilizando herramientas digitales, los desarrolladores pueden crear simulaciones que imitan la estructura y el comportamiento de un invernadero real. Esto incluye la distribución de los sensores en diferentes puntos estratégicos para optimizar la cobertura y la recolección de datos [81]. Los escenarios pueden incluir cambios en las condiciones meteorológicas y la variación de los niveles de agua y nutrientes, permitiendo evaluar el desempeño del sistema

bajo diferentes circunstancias. Esta etapa es clave para identificar fallas potenciales, mejorar la cobertura de la red y asegurar que los dispositivos de monitoreo mantengan la precisión y confiabilidad requeridas.

Los resultados de estas simulaciones pueden utilizarse para ajustar la ubicación de los sensores, la potencia de transmisión y los algoritmos de control de riego. También ayudan a optimizar la energía consumida por los dispositivos, asegurando una operación eficiente y una vida útil prolongada de los componentes [82]. La capacidad de probar estos escenarios en un entorno controlado antes de la implementación física reduce los riesgos de fallas y mejora la adaptabilidad del sistema a las condiciones reales de los invernaderos.

2.3 Marco teórico.

Para el desarrollo del presente proyecto, se revisaron investigaciones y documentos científicos que proporcionan una base conceptual sobre la tecnología de comunicación inalámbrica aplicada a la agricultura, con énfasis en el uso de LoRa y la tecnología IIoT. Estos estudios permiten comprender los principios subyacentes y las aplicaciones de los sistemas de monitoreo y control de riego automatizado.

El artículo “Wireless Sensor Networks for Smart Agriculture: Design and Challenges” de Patel y Kumar, publicado en el *Journal of Agricultural Engineering* en 2020, explora los retos y las oportunidades de aplicar redes de sensores inalámbricos (WSN) en la agricultura inteligente [83]. El estudio enfatiza la importancia de utilizar tecnologías de comunicación de bajo consumo, como LoRa, para facilitar el monitoreo de condiciones ambientales en tiempo real y mejorar la gestión de recursos. Los autores destacan cómo la implementación de estas redes ayuda a optimizar el uso de agua, contribuyendo a una agricultura más sostenible y eficiente. Sin embargo, se abordan desafíos como la cobertura de red en áreas extensas y la gestión de la latencia de los datos.

En la investigación “LoRa and LoRaWAN for the Internet of Things: An Overview”, realizada por Alvarado y García, publicada en 2021 en la revista *IoT and Communication Technology*, se ofrece un análisis exhaustivo de la tecnología LoRa y su protocolo LoRaWAN [84]. Este trabajo expone cómo la capacidad de LoRa para transmitir datos a largas distancias con un consumo de energía reducido es una ventaja significativa para aplicaciones de IIoT en agricultura. Los autores demuestran cómo LoRaWAN permite la implementación de redes de área amplia que son esenciales para la transmisión de datos de

sensores dispersos en invernaderos y campos agrícolas. No obstante, se subraya la necesidad de estrategias adecuadas para asegurar la calidad de la señal y la mínima pérdida de paquetes.

El estudio titulado “Application of IIoT in Precision Agriculture: Enhancing Crop Monitoring and Control” por Lee y Chang, publicado en *Journal of Precision Agriculture* en 2022, analiza cómo la tecnología IIoT se integra en sistemas agrícolas avanzados para mejorar la supervisión y el control de cultivos [85]. La investigación destaca la interconexión de sensores, actuadores y plataformas de análisis de datos que permiten automatizar el riego y otras prácticas agrícolas, basándose en parámetros ambientales monitorizados en tiempo real. Se observa que, si bien los sistemas IIoT ofrecen un alto nivel de automatización y optimización de recursos, enfrentan limitaciones en términos de costos iniciales y la complejidad de la integración de múltiples dispositivos.

En el ámbito latinoamericano, el artículo “A Comprehensive Review of IoT and Smart Irrigation Systems for Sustainable Agriculture” realizado por Rodríguez y López, publicado en la revista *Tecnología y Agricultura* en 2021, revisa estudios sobre la implementación de sistemas de riego inteligente y el papel de IoT en su desarrollo [86]. Este estudio demuestra que la adopción de tecnologías IoT en la agricultura de América Latina está en crecimiento, con un enfoque en sistemas de riego que usan sensores para medir la humedad y temperatura del suelo y transmitir los datos a través de redes LoRa. La investigación concluye que estos sistemas pueden mejorar significativamente la eficiencia del uso del agua, aunque se enfrenta a problemas relacionados con la interoperabilidad de los dispositivos y la resistencia a condiciones ambientales adversas.

El artículo “Evaluation of Low-Power Wide-Area Networks (LPWAN) for Agricultural Monitoring” por Martínez y Sánchez, publicado en 2020 en la revista *Agricultural Technology*, evalúa la viabilidad de las redes LPWAN, como LoRa, en aplicaciones de monitoreo agrícola [87]. Los autores destacan que las redes permiten la transmisión de grandes cantidades de datos a baja velocidad, especialmente adecuadas para el monitoreo de variables como la humedad y temperatura. Los sensores no requieren actualizaciones constantes, sin embargo, señalan la necesidad de técnicas avanzadas en gestión de energía y protocolos de comunicación para maximizar la duración de la batería de los sensores.

CAPÍTULO III

3.1 Componentes físicos de la propuesta.

En el capítulo 3, luego de describir los distintos modelos y características de los dispositivos a utilizar en este proyecto, se procede a seleccionar los elementos específicos que cumplan con los requerimientos de la propuesta y se adapten de mejor manera al territorio que envuelve un invernadero de orquídeas, donde se desea llevar a cabo su aplicación.

Para poder llevar a cabo este proyecto y cumplir con la comunicación inalámbrica de los sensores, se utilizarán los siguientes dispositivos:

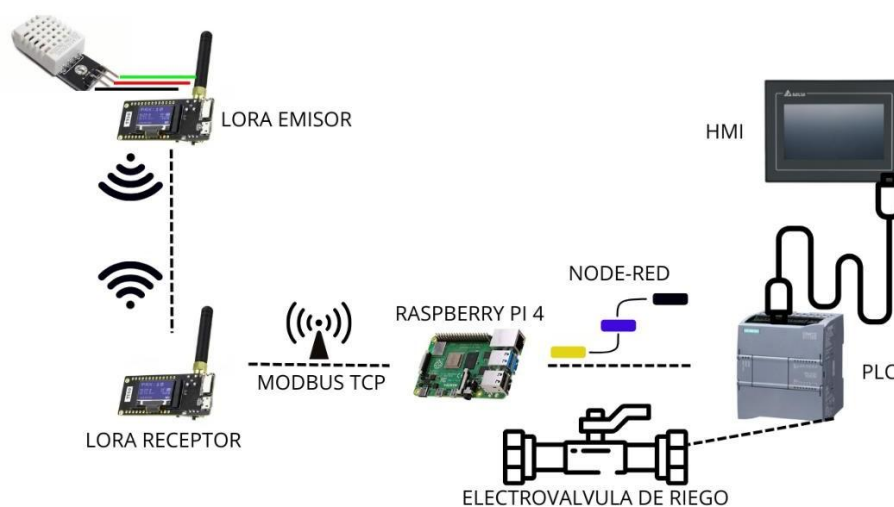


Figura 1. Arquitectura del proyecto (Elaboración propia).

- ESP 32 con LoRa.
- Raspberry Pi 4.
- PLC S7 1200.
- Delta HMI.

ESP32.

El ESP32 es un microcontrolador de alto rendimiento y alta versatilidad, diseñado específicamente para optimizar el desarrollo de dispositivos IoT mediante su integración de un procesador de doble núcleo, interfaces Wi-Fi, Bluetooth y una variedad de periféricos esenciales. Gracias a su robustez en el manejo de operaciones complejas y su capacidad de ofrecer conectividad avanzada, el ESP32 es ampliamente utilizado en proyectos de automatización y sistemas de monitoreo, adaptándose a diversas escalas de implementación [64].

En la siguiente tabla se definen las principales características que tomamos en cuenta para la selección de este dispositivo para nuestro proyecto [65]:

Tabla 5. Características principales del ESP32

<i>Características</i>	
<i>Dispositivo</i>	ESP32
<i>Conectividad</i>	WIFI, Bluetooth, SPI, I2C
<i>Microcontrolador</i>	Doble núcleo de 32 bits con velocidad de 160MHz
<i>Memoria ram</i>	520 KB
<i>Alimentación</i>	2.2 a 3.6 V
<i>Consumo de corriente</i>	80 mA (promedio). 225mA máximo

Para conformar la red de comunicación de sensores inalámbricos, debe existir al menos dos nodos, un emisor y un receptor. El emisor estará conectado a un sensor del que necesitamos obtener datos, y el receptor recibirá esta información por medio de protocolos de comunicación LoRaWAN, para posteriormente transmitirlos por medio de WiFi a la Raspberry Pi 4.

LILYGO TTGO LoRa32.

WiFi LoRa 32 es una placa de desarrollo de IoT e IIoT clásica diseñada y producida por Heltec Automation, es la mejor opción para ciudades inteligentes, granjas, hogares, control industrial, seguridad del hogar, lectura de medidores inalámbricos y desarrolladores de IoT. Conexiones de red integradas WiFi, LoRa y Bluetooth, antena metálica de resorte dedicada de 2.4GHz para Wi-Fi y Bluetooth, interfaz IPEX (UFL) reservada para el uso de LoRa [66].

Entre sus principales características tenemos:

- MCU: ESP32.
- Chip serial USB: CH9102F.
- Voltaje de funcionamiento: 1,8V- 3,7 V.
- Corriente aceptable: 10mA- 14 mA.
- Frecuencia de funcionamiento: 433/868M/915MHz.
- Potencia transmisora: + 20dBm.
- Error de frecuencia: +/-15KHz.
- Formulario interfaz: SPI.

- Temperatura de funcionamiento: -40°C- +85°C.
- Tasa de datos: 1,2 K- 300Kbps @ FSK, 0.018K- 37,5.

Raspberry Pi 4.

Luego de mencionar varios controladores, se ha decidido utilizar para este proyecto la Raspberry Pi 4 como servidor OPC-UA ya que cuenta con un procesador quad-core de 64 bits de alto rendimiento, también posee hasta 8GB de RAM, LAN inalámbrica de banda dual 2.4 / 5.0 GHz, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, USB 3.0 y PoE. La conexión inalámbrica de doble banda y el Bluetooth tienen una certificación especial que facilita su uso en productos finales. Esto reduce las pruebas necesarias, lo que ayuda a ahorrar en costos. Esta tarjeta fue seleccionada considerando las necesidades de futuras generaciones que deseen emplear diferentes protocolos de comunicación con estos equipos [62].

A continuación, en la siguiente tabla se exponen los datos a tomar en cuenta para la selección de este dispositivo en nuestra propuesta [35]:

Tabla 6. Características principales de la Raspberry Pi 4

<i>Características</i>	
Dispositivo	RASPBERRY PI 4
Conectividad	Interfaz Ethernet Gigabit, conectividad Wi-Fi 802.11ac incorporada, tecnología Bluetooth 5.0.
Procesador	Procesador: Broadcom BCM2711, Cortex-A72 de cuatro núcleos (ARM v8) SoC de 64 bits a 1,5 GHz
Memoria ram	Disponibilidad de 2 GB, 4 GB o 8 GB de memoria LPDDR4
GPIO	40 pines GPIO para conexión de sensores y componentes electrónicos
Almacenamiento	Compatible con Micro SD
Puertos usb	4 puertos USB, con 2 puertos USB 3.0 y 2 puertos USB 2.0
Puertos de video	2 puertos micro HDMI con soporte para resoluciones 4K
Sistema operativo	Compatible con Raspberry Pi OS (Linux), Ubuntu, Windows IoT y otros sistemas operativos
Alimentación	Mediante puerto USB-C (5V, 3A)

La comunicación entre la Raspberry Pi 4 y el nodo receptor conformado por el ESP32 con módulo LoRa, será mediante Modbus TCP, que es un protocolo de comunicación industrial que permite intercambiar datos entre dispositivos a través de redes Ethernet o Wi-Fi.

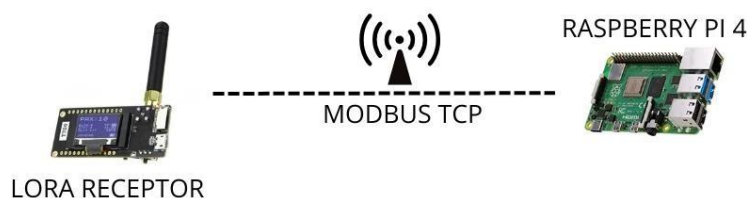


Figura 2. Conectividad entre ESP32 y Raspberry Pi 4

PLC S7-1200.

El controlador lógico programable (PLC) SIMATIC S7-1200, desarrollado por Siemens, es un dispositivo compacto y modular diseñado especialmente para aplicaciones de automatización en proyectos de pequeña y mediana escala. Este equipo es ampliamente valorado en la industria debido a su capacidad para gestionar procesos complejos de forma eficiente y flexible [60].

Sus principales funciones incluyen la supervisión y el control de sistemas automatizados, como en este caso el monitoreo y control del riego automático en invernaderos de orquídeas, lo que coloca a este equipo como uno de los ideales y más robustos para la aplicación mencionada en territorio [28].

El S7-1200 opera mediante la supervisión continua de las señales de entrada provenientes de dispositivos como sensores, interruptores y botones conectados al sistema. Basándose en estas señales, la CPU (unidad central de procesamiento) ejecuta las instrucciones programadas para analizar los datos y generar señales de salida que controlan elementos como motores, válvulas, luces piloto y otros actuadores [61].

Para la realización de este proyecto es necesario que el PLC controle la apertura y cierre de una electroválvula y así gestionar de una manera eficiente el riego automático de un invernadero de orquídeas, evitando el desperdicio de recursos hídricos. Todo esto con la información obtenida de nuestra WSN (red de comunicación de sensores inalámbricos).

Este procedimiento permite una comunicación bidireccional precisa y en tiempo real entre el PLC y los componentes del sistema, lo cual es esencial para mantener la estabilidad y la eficiencia en el debido proceso.

En referencia a este dispositivo se detallan abajo las principales características que señalan al PLC S7-1200 como la unidad central de control ideal para este proyecto [35]:

Tabla 7. Características principales del PLC

Características	
Dispositivo	PLC S7-1200.
Memoria	Dependiendo del modelo, la capacidad de memoria puede alcanzar hasta 125KB de memoria de trabajo y 4MB de almacenamiento.

Entradas / salidas	Entradas y salidas digitales y analógicas integradas, con la capacidad de ampliación a través de módulos adicionales.
Protocolos de comunicación	Admite la implementación de diversos protocolos, tales como PROFINET y Modbus TCP/IP, lo que favorece su integración con otros equipos en redes industriales LPDDR4.
Conectividad	Integrado Puerto Ethernet, con capacidad de admitir redes industriales y sistemas de control distribuidos.
Programación	El software TIA Portal proporciona herramientas avanzadas para el desarrollo, la simulación y el diagnóstico de programas.
Seguridad	Incluye funciones básicas de seguridad, tales como protección de acceso y administración de usuarios a través del TIA Portal.
Aplicaciones	Apropiado para el control de maquinaria, la automatización de procesos industriales y los sistemas de monitoreo y control en tiempo real.
Modularidad	El dispositivo es un PLC (Controlador Lógico Programable) modular que permite la incorporación de módulos de expansión para el manejo de entradas/salidas digitales, analógicas y módulos de comunicación.

Para la comunicación entre la Raspberry Pi 4 y el PLC S7-1200 usaremos un software o componente lógico de este proyecto llamado Node-Red. Más adelante revisaremos la instalación de Node-Red en la Raspberry Pi 4 y la correcta configuración para poder comunicar estos dos elementos del proyecto.

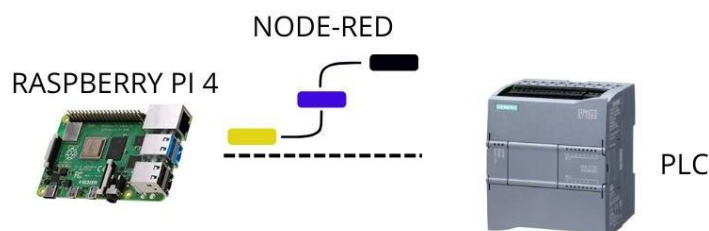


Figura 3. Conectividad entre Raspberry Pi 4 y PLC.

HMI (Interfaz Hombre-Máquina).

Una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es un dispositivo que permite a las personas comunicarse con las máquinas, sirviendo como una herramienta para supervisar, controlar y visualizar procesos industriales o sistemas automatizados. En términos más simples, una HMI no solo muestra cómo están funcionando los sistemas, sino que también permite a los operadores hacer cambios y reaccionar rápidamente ante cualquier situación que se presente en tiempo real [48].

El HMI incluye componentes tanto de hardware como de software:

El hardware se trata de equipos como pantallas táctiles, computadoras industriales o paneles de control, creados especialmente para trabajar en lugares con condiciones difíciles.

Estos dispositivos son resistentes y están hechos para funcionar sin problemas incluso en ambientes con polvo, vibraciones o temperaturas muy altas o bajas.

El software son programas que permiten mostrar datos en tiempo real con gráficos, interactuar con el sistema y personalizar la forma en que se ve la interfaz. El software convierte la información de las máquinas en gráficos y alertas claras para que los operadores las entiendan fácilmente.

Se detalla en la siguiente tabla las principales características que influyeron en la selección del dispositivo para este proyecto [49]:

Tabla 8. Características principales del HMI

Características	
Dispositivo	HMI (Interfaz Hombre-Máquina).
Registro de datos	Recoge y guarda datos históricos, lo que sirve para evaluar cómo ha funcionado el sistema, identificar patrones y prevenir problemas que se repitan.
Control de procesos	Permite a los operadores cambiar directamente cosas como los parámetros cruciales de riego, dependiendo de la decisión del operador.
Visualización de datos	Muestra la información de manera clara y sencilla mediante gráficos, diagramas y otros elementos visuales, lo que hace más fácil tomar decisiones basadas en los datos.
Gestión de alarmas y eventos	Envía alertas cuando los parámetros del sistema pasan los límites establecidos o cuando ocurre un error. Además, guarda estos eventos para analizarlos después.
Monitoreo en tiempo real	Da información al momento sobre cómo está funcionando el sistema o la máquina, como los datos de los sensores, la eficiencia y las alertas de errores o problemas.

El PLC actúa como el controlador central en un sistema automatizado, gestionando todos los aspectos del proceso conforme a su programación. No obstante, el PLC requiere una interfaz para la transmisión y recepción de datos entre el sistema y los operadores humanos, función que es proporcionada por la HMI.



Figura 4. Conectividad entre PLC y HMI.

Tanto los dispositivos HMI como los PLC disponen de puertos de comunicación o ranuras para módulos de expansión, los cuales facilitan la interconexión a través de protocolos de comunicación estándar, tales como Ethernet, Profibus o Modbus.

Sensor de temperatura DHT22.

El sensor de temperatura DHT22 integra un termistor para medir el aire circundante y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Es un sensor digital de buen rendimiento y bajo costo [38]. Utilizado en aplicaciones de control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más. Por ello, es el sensor adecuado para la aplicación de un riego automático en invernaderos de orquídeas.

Especificaciones técnicas [55]:

- Voltaje de Operación: 3V - 6V DC.
- Rango de medición de temperatura: -40°C a 80 °C.
- Precisión de medición de temperatura: $<\pm 0.5$ °C.
- Resolución Temperatura: 0.1°C.
- Tiempo de sensado: 2s.
- Interface digital: Single-bus (bidireccional).

3.2 Componentes lógicos de la propuesta.

A continuación, se describen los componentes lógicos utilizados en este trabajo (software).

Node Red.

Node-RED es una plataforma de desarrollo que se basa en flujos visuales para conectar dispositivos, servicios y aplicaciones. Su propósito es facilitar la creación de aplicaciones para Internet de las Cosas (IoT) y sistemas de automatización, permitiendo a los usuarios diseñar flujos de trabajo mediante una interfaz gráfica en línea. Emplea JavaScript como lenguaje de programación y se apoya en la flexibilidad de Node.js, lo que le permite integrar y gestionar en tiempo real múltiples fuentes de datos y servicios [72].

Node-RED dispone de una gran colección de nodos preconfigurados que facilitan la ejecución de tareas comunes, como, por ejemplo, conectarse a dispositivos físicos (sensores, actuadores), integrarse con APIs web, realizar transformaciones de datos, y comunicar servicios en la nube como MQTT, HTTP, Modbus, entre otros.

Los flujos representan las interconexiones lógicas entre nodos, definiendo el tránsito de los datos. Un flujo puede estar compuesto por múltiples nodos encadenados que procesan los datos de manera secuencial [73]. Entre las principales ventajas de Node-Red tenemos la facilidad de uso, la escalabilidad, ecosistema activo, compatibilidad multiplataforma.

MariaDB.

MariaDB es un programa de código abierto que sirve para guardar, organizar y manejar mucha información de manera fácil y eficiente.

Licencia de código abierto y gratuito: MariaDB es un programa gratis que cualquiera puede usar, cambiar y compartir sin costo, gracias a su licencia GPL. Por eso, es una alternativa confiable y fácil de usar frente a otros programas de bases de datos que son de pago [70].

Compatibilidad con MySQL: MariaDB está basado en MySQL y funciona de manera similar, usando los mismos comandos, funciones y APIs. Por eso, es muy fácil pasar de MySQL a MariaDB sin tener que hacer grandes cambios en el código o la configuración [71].

TIA Portal.

El TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) es un software diseñado por

Siemens que sirve para programar, configurar y diagnosticar dispositivos de automatización, como, por ejemplo, controladores lógicos programables (PLCs), sistemas de control distribuidos (DCS), sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA), paneles de operador (HMI) [88].

1. Dispositivos.
2. Hardware.
3. Vista general dispositivos.
4. Catálogo de hardware.
5. Vista detallada.
6. Propiedades de los dispositivos.
7. Información.

IDE Arduino.

El software libre son programas cuyo código está disponible para que cualquiera pueda usarlos y cambiarlos. Arduino tiene una plataforma llamada Arduino IDE, que es un entorno de programación donde cualquier persona puede crear aplicaciones para las placas Arduino y darles diferentes usos [90].

Utilizaremos Arduino para programar los nodos de nuestra WSN (red de comunicación de sensores inalámbricos), crearemos un código para el LoRa emisor y un código para el LoRa receptor, de esta manera podremos transmitir los datos recolectados por los sensores utilizando protocolos de comunicación LoRaWAN.

3.3 Desarrollo de la propuesta.

Se va a describir a continuación el desarrollo del proyecto, tomando como referencia información proporcionada por la hacienda “Roses Yasuní”, sobre las dimensiones de los invernaderos de orquídeas, y sobre las variables principales a tomar en cuenta dado el limitado alcance de este proyecto, para esto vamos a comenzar por los nodos que conforman la WSN (red de sensores inalámbricos), luego se procederá a ver la programación de las tarjetas ESP32 con el software Arduino, posteriormente se realizará la configuración de Node-Red en la Raspberry Pi 4 para comunicarla con el PLC, y finalmente se realizará la conexión del PLC con el HMI que sería la parte final del proyecto, donde el usuario final u operador va a monitorear el sistema del control automático del riego en invernadero de orquídeas.

3.3.1 Diseño de un nodo de la WSN.

Durante el desarrollo del circuito, se inició con la creación del componente LORA32 en el software Proteus. Esto permitió realizar una simulación del comportamiento del módulo en un entorno virtual previo a la implementación física. Al diseñar dicho componente, se prestó especial atención a la correcta conexión de los pines, asegurando que cada uno se alineara con las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante.

Una vez que el componente LORA32 fue configurado en Proteus, se integró en el circuito. Se realizó la conexión de los pines de alimentación (VCC) y tierra (GND) del LORA32 a la fuente de energía, que en este caso es una batería de 9V. Este paso fue esencial para garantizar que el módulo recibiera el voltaje adecuado para su operación correcta.

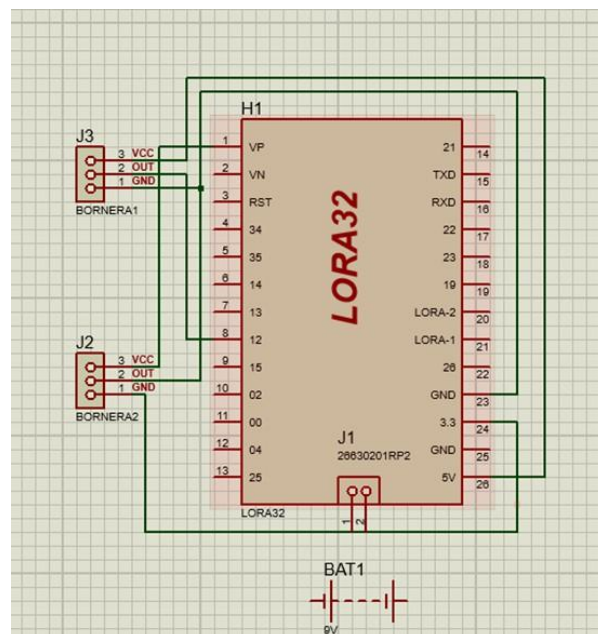


Figura 5. Diseño de un nodo LoRa32.

A continuación, se hizo un enfoque en los pines de comunicación. Se estableció la conexión mediante los pines TXD y RXD, lo que permitió que el módulo LORA32 pudiera enviar y recibir datos de otros dispositivos. Este paso es fundamental para la comunicación en tiempo real dentro del sistema de sensores propuesto. También se añadió borneras (J1 y J2), lo que facilitó las conexiones y permitió posibles futuras expansiones del sistema. Además, se incorporó un botón de reset para poder reiniciar el módulo cuando fuera necesario, lo cual resultaría útil durante las fases de pruebas.

Diseño de la placa PCB.

El proceso de diseño de la PCB empezó con la transformación del esquema eléctrico a un formato compatible para la fabricación de la placa. Para asegurar que no hubiese errores eléctricos, se utilizó la herramienta de verificación de Proteus antes de continuar. Tras la validación, se creó un diseño inicial de la PCB basado en las conexiones del esquema, proporcionando una visualización clara de cómo se dispondrían los componentes.

En cuanto a la disposición de los pines, se respetó una distancia de 2.5 mm entre ellos, según las especificaciones del fabricante. Esta medida es fundamental para evitar cortocircuitos y fortalecer la seguridad del diseño. Se puso especial énfasis en mantener la integridad de la señal en las rutas más importantes, garantizando una comunicación clara y sin interferencias.

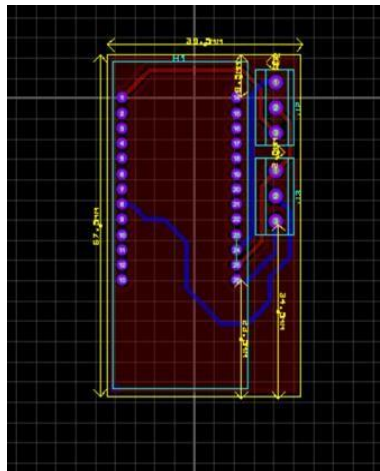


Figura 6. Diseño de la placa PCB.

Finalmente, se ejecutó el auto-routing y se trazaron manualmente las rutas entre los 10 pines, respetando las normas de diseño de PCB y garantizando la correcta implementación de las conexiones.

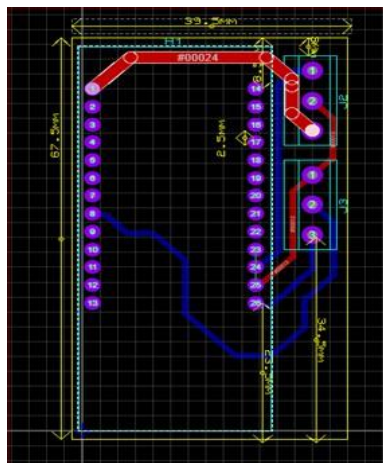


Figura 7. Diseño final de la placa PCB.

Visualización 3D.

Una vez finalizado el diseño de la PCB, se procedió a la visualización en 3D en Proteus. Utilizando esta herramienta, se generó un modelo tridimensional de la placa, lo que facilitó una mejor comprensión del diseño final. Debido a que algunos componentes no disponían de modelos 3D en la biblioteca de Proteus, se optó por importar archivos en formato STEP, lo que permitió integrar estos elementos al modelo.

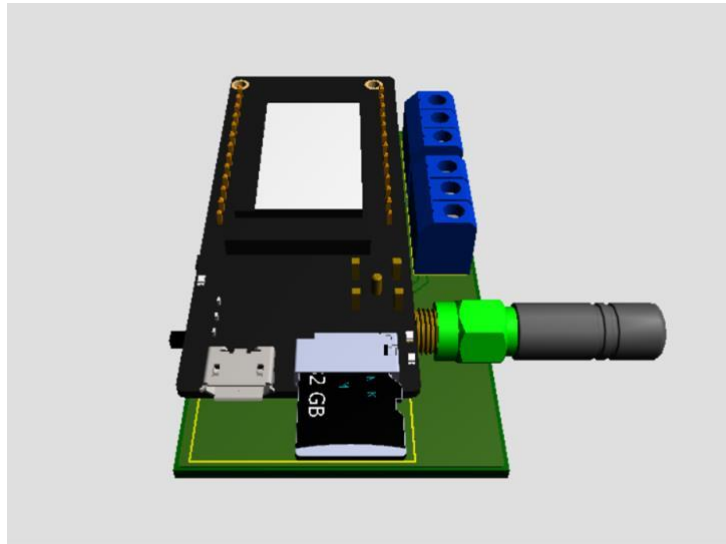


Figura 8. Visualización en 3D del diseño de la placa PCB.

Ajustar la posición de los componentes fue clave para asegurarse de que todos los pines coincidieran con los agujeros de la PCB. Después de comprobar que todo estaba bien alineado, se exportó el modelo en formato STEP para usarlo más adelante.

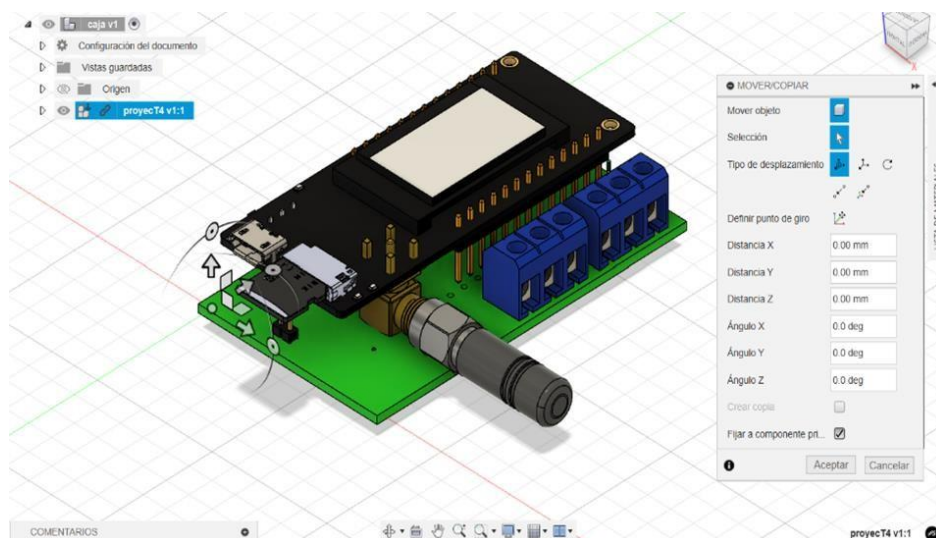


Figura 9. Diseño en 3D de los componentes.

Esquema de conexión para el nodo emisor y el nodo receptor de la WSN.

Para el desarrollo del sistema de monitoreo y control inalámbrico, se debe iniciar con la simulación de los componentes y su interacción en el software Proteus. Seleccioné esta herramienta debido a su capacidad para realizar simulaciones precisas de circuitos electrónicos, lo que facilitó la ejecución de pruebas preliminares sin necesidad de realizar implementaciones físicas. Además, se optó por Proteus por su compatibilidad con el microcontrolador ESP32, los sensores y la tecnología LoRa, que son elementos fundamentales del sistema propuesto. Antes de iniciar la simulación, fue necesario incorporar manualmente las librerías de componentes que no estaban presentes de manera predeterminada en Proteus, como el ESP32 y los módulos de sensores. Para ello, se deben descargar los archivos hex y idx desde fuentes confiables, como el repositorio de ArduinoLover (2021). Estos archivos fueron añadidos a la carpeta de librerías de Proteus, lo que permitió su integración y disponibilidad en el entorno de simulación.

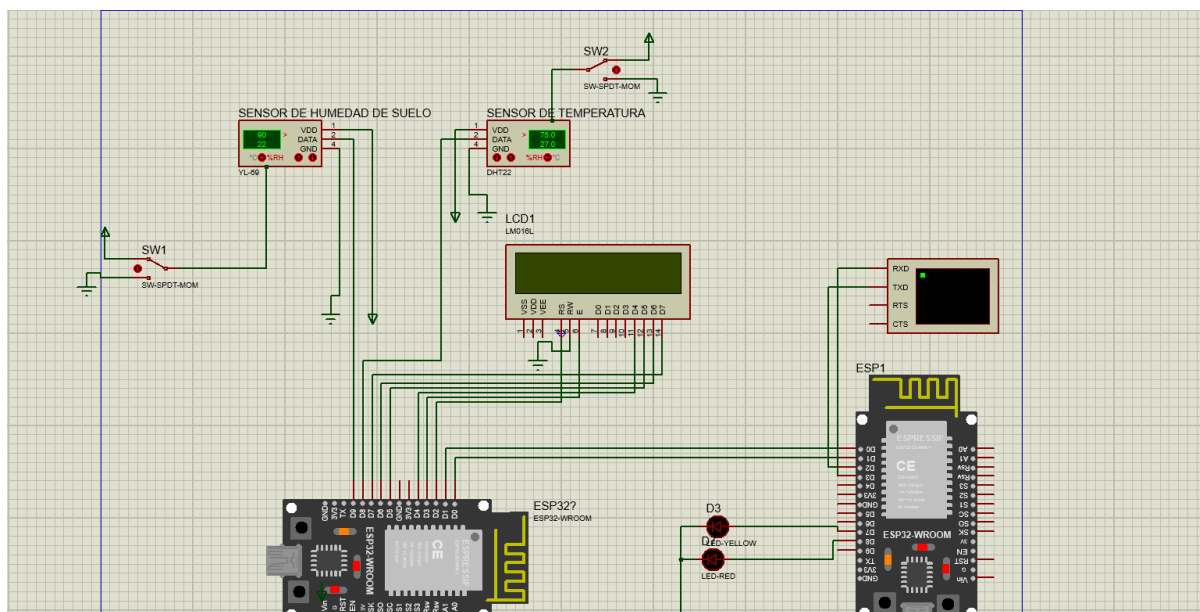


Figura 10. Esquema de conexión de los nodos de la WSN.

Código de programación para el LoRa32 emisor.

Para el LoRa32 emisor de este proyecto se presenta el siguiente diagrama de flujo que expresa una deducción lógica de la estructura de la programación, donde el nodo emisor lee los datos obtenidos del sensor DHT22, procesa estos datos y los envía mediante comunicación LoRa hacia el nodo receptor:

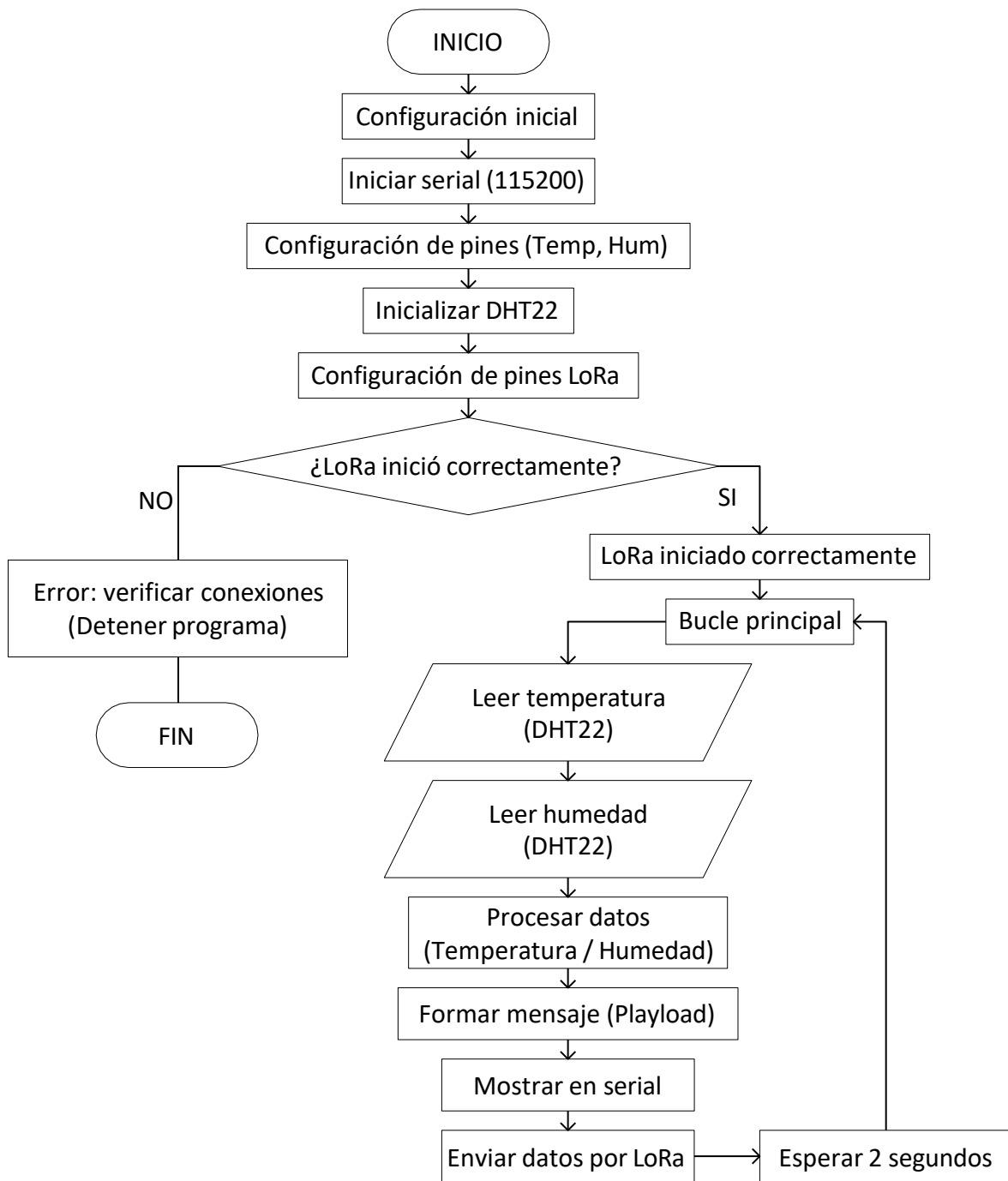


Figura 11. Diagrama de flujo código LoRa emisor.

Código de programación para el LoRa32 receptor.

Para el LoRa32 receptor de este proyecto se detalla el siguiente diagrama de flujo que expresa un resumen lógico de la estructura del código de programación, donde el nodo receptor de la WSN extrae los datos recibidos del nodo emisor, procesa estos datos y los registra en una tarea Modbus, esto sirve posteriormente para enlazar estos datos registrado en un flujo de Node-Red mediante conectividad Modbus TCP:

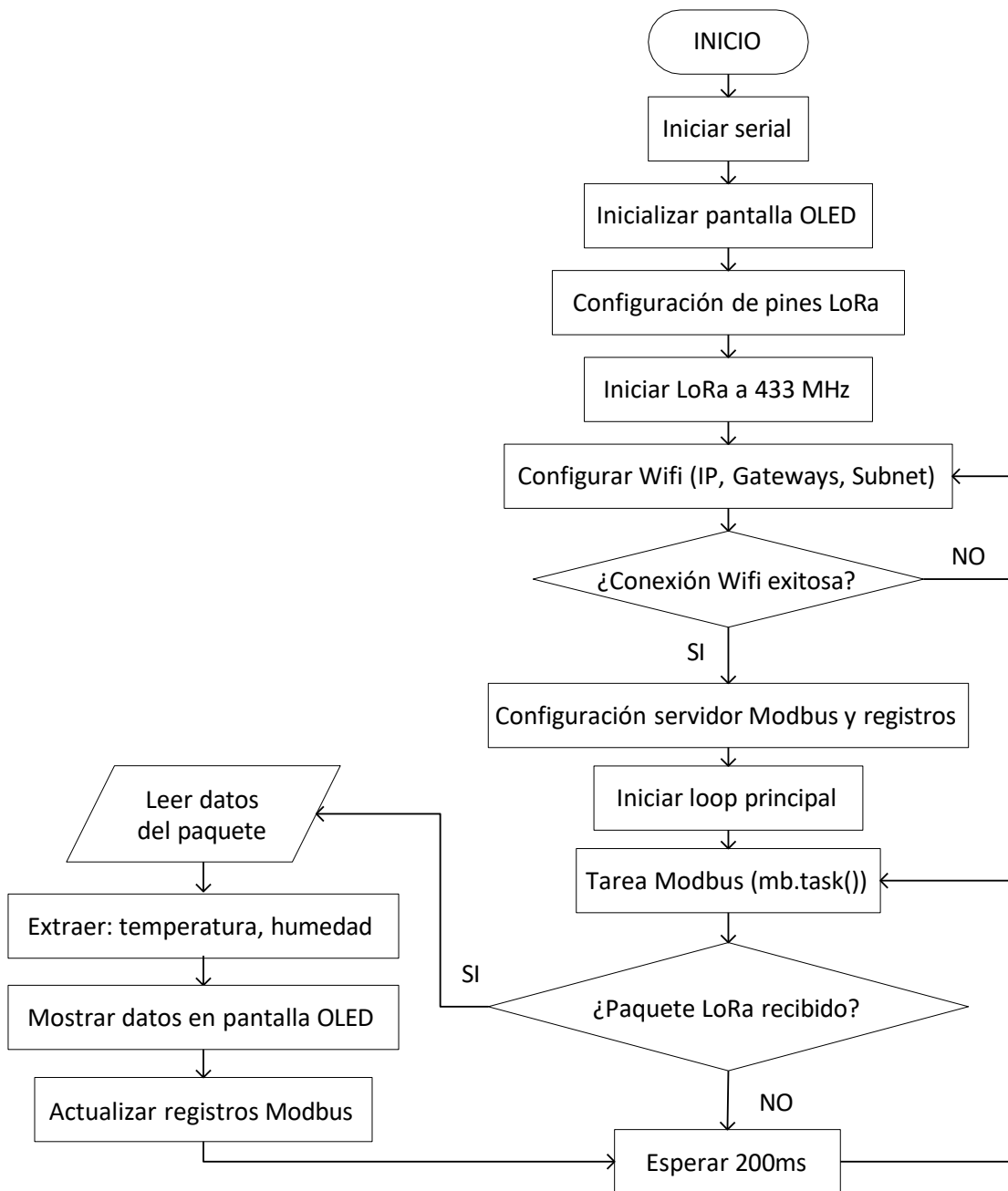


Figura 12. Diagrama de flujo código LoRa receptor.

3.3.2 Configuración de Node-Red.

Inicialmente, es imprescindible instalar el software Node-Red en el ordenador, o en este caso para el proyecto propuesto en la Raspberry PI 4. Con el programa ya instalado se iniciará con la configuración del flujo, el primer paso es instalar en Node-Red las librerías que serán necesarias, para ello en el apartado del administrador de paletas se debe buscar e instalar las siguientes librerías:

- node-red-contrib-s7
- node-red-node-mysql

- node-red-contrib-modbus

Se procede a configurar el flujo donde declararemos las variables que van a involucrarse en el desarrollo del proyecto, para efecto de la simulación, el primer bloque es para insertar manualmente valores o regular intervalos, a continuación, un bloque de función en el que vamos a declarar las variables y a programar con un código para que se generen valores aleatorios entre 0 y 100, se tomará en cuenta números enteros sin decimales, y se les asignará ese valor a las variables.

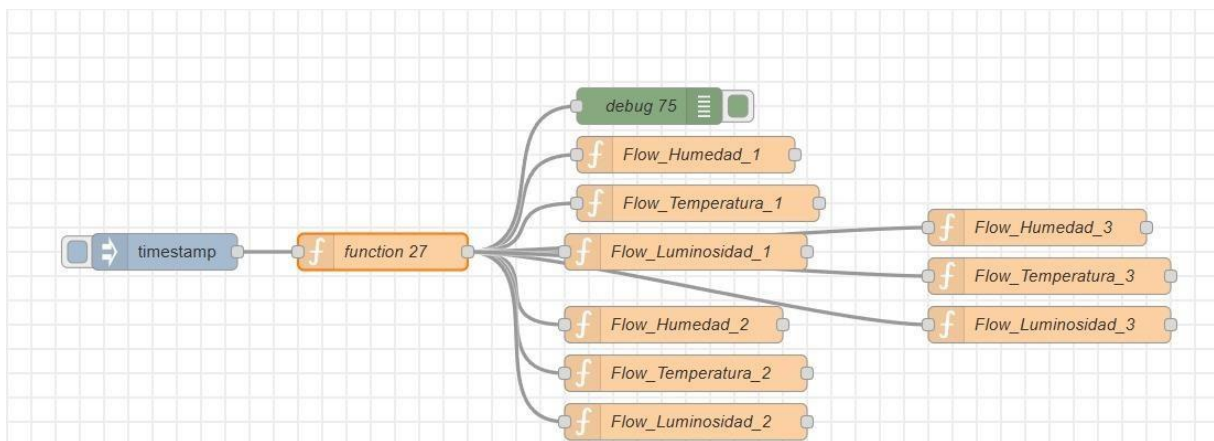


Figura 13. Flujo para creación de valores simulados.

Las variables a medir en este proyecto son la humedad del suelo, la temperatura del ambiente en el invernadero y la luminosidad que corresponde a la luz solar que llega al invernadero.

Para obtener los datos que se envían desde el LoRa32 receptor en Node-red es necesario utilizar bloque de comunicación Modbus, el cual se debe configurar con la dirección IP a la que el LoRa32 esté enviando la información, de esta manera recibir el dato para proceder a insertarlo en la base de datos.

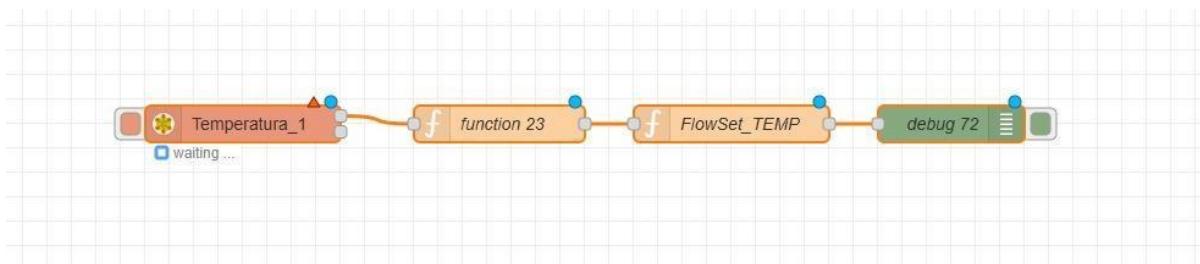


Figura 14. Flujo de bloque de comunicación Modbus.

Se genera el siguiente flujo para insertar datos a la base de datos, cuyo nombre será “Orquidea”, se genera un bloque para eliminar datos, y el ultimo bloque para leer los datos ingresados a la base de datos.

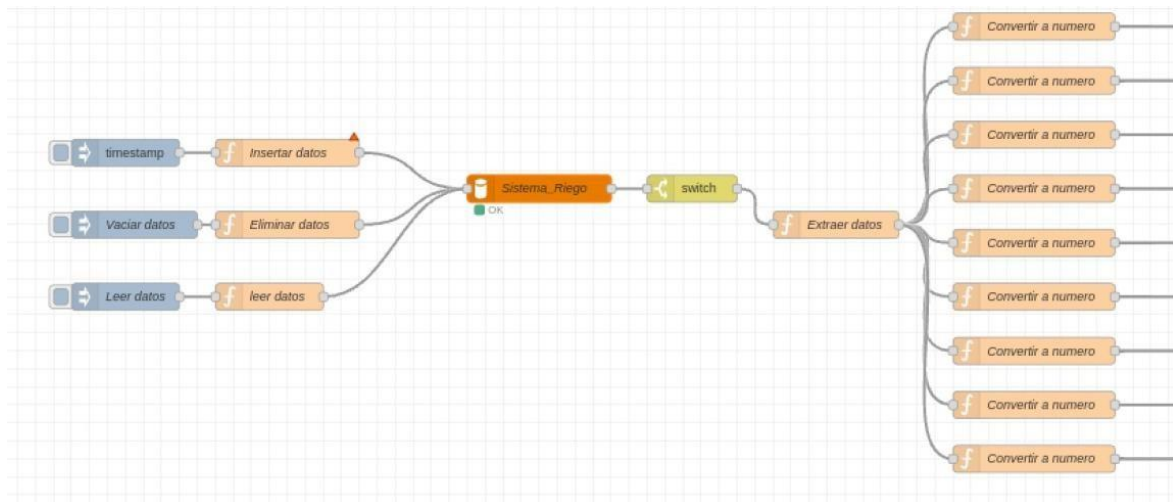


Figura 15. Flujo para insertar valores a la base de datos.

Creación de la base de datos.

Para crear la base de datos en MariaDB, primero abrimos el apartado mysql en el cmd de la Raspberry PI 4, una vez dentro de MariaDB, se escribe la siguiente línea de código para crear la base de datos: “create database Orquidea”.

```
auto@raspberrypi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
auto@raspberrypi:~$ sudo mysql -u root -p -h localhost  
Enter password:  
Welcome to the MariaDB monitor. Commands end with ; or \g.  
Your MariaDB connection id is 32  
Server version: 10.11.6-MariaDB-0+deb12u1 Debian 12  
  
Copyright (c) 2000, 2018, Oracle, MariaDB Corporation Ab and others.  
Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.  
MariaDB [(none)]> create database Orquidea
```

Figura 16. Creación de la base de datos.

Luego tenemos que crear el usuario y la contraseña, y también hay que darle los privilegios necesarios a la base de datos, con las líneas de código que se muestran en la siguiente imagen:

```

auto@raspberrypi: ~
Archivo Editar Pestañas Ayuda
Enter password:
Welcome to the MariaDB monitor. Commands end with ; or \g.
Your MariaDB connection id is 32
Server version: 10.11.6-MariaDB-0+deb12u1 Debian 12

Copyright (c) 2000, 2018, Oracle, MariaDB Corporation Ab and others.

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.

MariaDB [(none)]> create database Orquidea;
Query OK, 1 row affected (0.001 sec)

MariaDB [(none)]> use database Orquidea;
ERROR 1049 (42000): Unknown database 'database'
MariaDB [(none)]> use Orquidea;
Database changed
MariaDB [Orquidea]> CREATE USER 'cesarperez'@'localhost' IDENTIFIED BY 'cesarperez';
Query OK, 0 rows affected (0.005 sec)

MariaDB [Orquidea]> GRANT ALL PRIVILEGES ON Orquidea.* TO 'cesarperez'@'localhost';
Query OK, 0 rows affected (0.004 sec)

MariaDB [Orquidea]> █

```

Figura 17. Creación de credenciales y privilegios.

Finalmente, creamos la tabla de datos, que tendrá de nombre “Riego”, se ejecuta con la línea de código “create table Riego (variables)”.

```

auto@raspberrypi: ~
Archivo Editar Pestañas Ayuda
Temperatura_1 float, S_Luminosidad_1 float, S_Humedad_2 float, S_Temperatura_2 float, S_Luminosidad_2 float, S_Humedad_3 float, S_Temperatura_3 float, S_Luminosidad_3 float);
Query OK, 0 rows affected (0.022 sec)

MariaDB [Orquidea]> describe Riego;
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Field          | Type          | Null | Key | Default          | Extra          |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| item           | int(11)       | NO   | PRI | NULL             | auto_increment |
| fecha          | timestamp    | YES  |     | current_timestamp() |               |
| S_Humedad_1    | float        | YES  |     | NULL             |               |
| S_Temperatura_1 | float        | YES  |     | NULL             |               |
| S_Luminosidad_1 | float        | YES  |     | NULL             |               |
| S_Humedad_2    | float        | YES  |     | NULL             |               |
| S_Temperatura_2 | float        | YES  |     | NULL             |               |
| S_Luminosidad_2 | float        | YES  |     | NULL             |               |
| S_Humedad_3    | float        | YES  |     | NULL             |               |
| S_Temperatura_3 | float        | YES  |     | NULL             |               |
| S_Luminosidad_3 | float        | YES  |     | NULL             |               |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
11 rows in set (0.003 sec)

MariaDB [Orquidea]> █

```

Figura 18. Creación de tabla de variables.

Extraer datos de la Base de datos.

Para extraer los datos de la base de datos “Orquidea” tenemos que configurar el guardado de los valores en el flujo y crear el mensaje para mostrar en el debug, Luego en bloques de función debemos escribir el código para convertir los datos de tipo string a número, que sería este tipo de dato el que se enviaría directo al PLC.

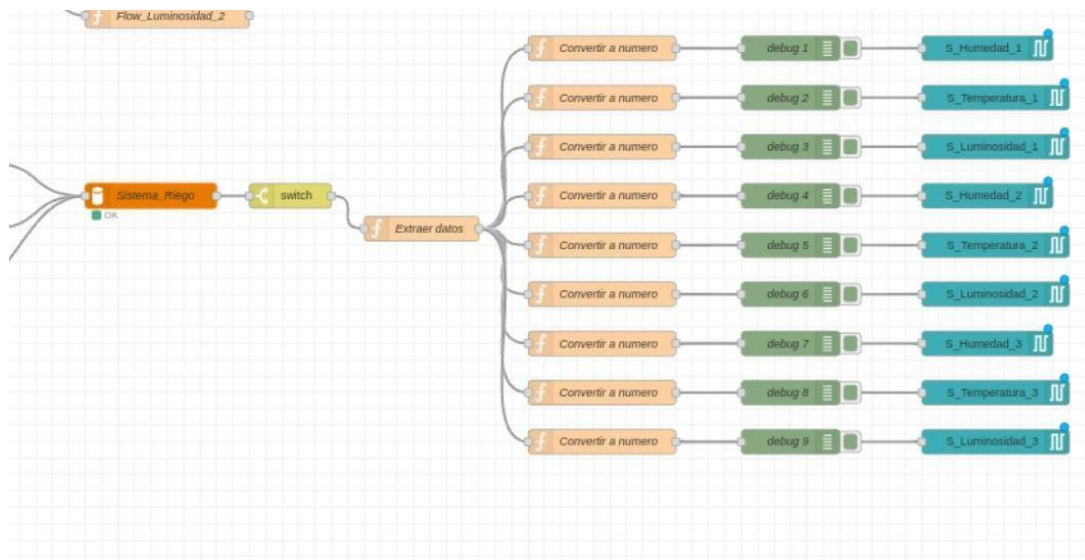


Figura 19. Flujo para extraer valores de la base de datos.

Los bloques “s7 out” son los que servirán para enviar los datos obtenidos hacia Tia Portal y sean cargados al PLC, estos bloques se configuran con conexión Ethernet, se coloca la dirección IP del módulo del PLC que está trabajando como se muestra en la siguiente imagen:

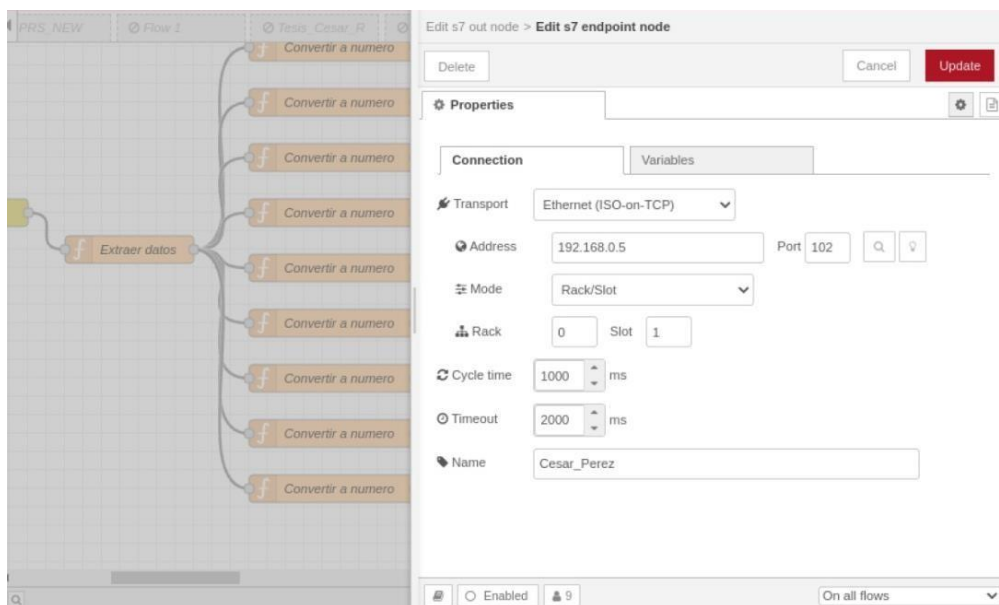


Figura 20. Configuración de bloque S7 out.

3.3.3 Configuración de TIA Portal V16.

Para empezar, debemos crear un nuevo proyecto, luego debemos agregar un nuevo dispositivo que sería el modelo del PLC que se encuentra en el laboratorio de electrónica y automatización de la UPSE, el dispositivo correcto es el indicado como “CPU 1212C

AC/DC/Rly”, mismo que se indica en la siguiente imagen:

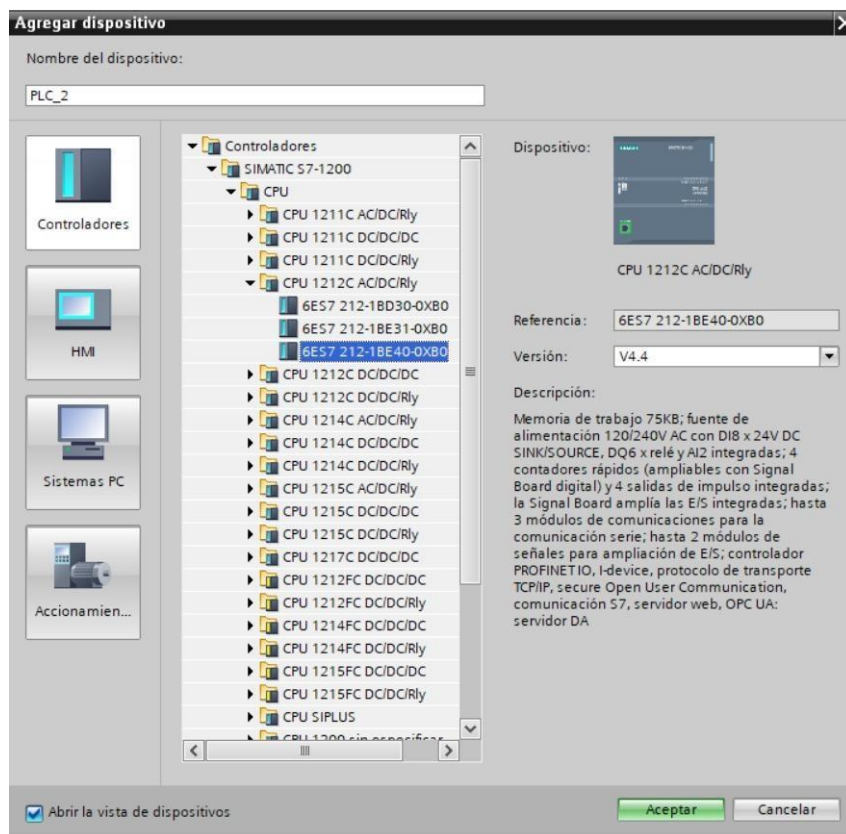


Figura 21. Selección de dispositivo PLC en TIA Portal.

Una vez agregado el dispositivo PLC, debemos dar doble click en el puerto Ethernet y dirigirse al apartado de las direcciones, para configurar la dirección IP del módulo PLC que vamos a usar del laboratorio.

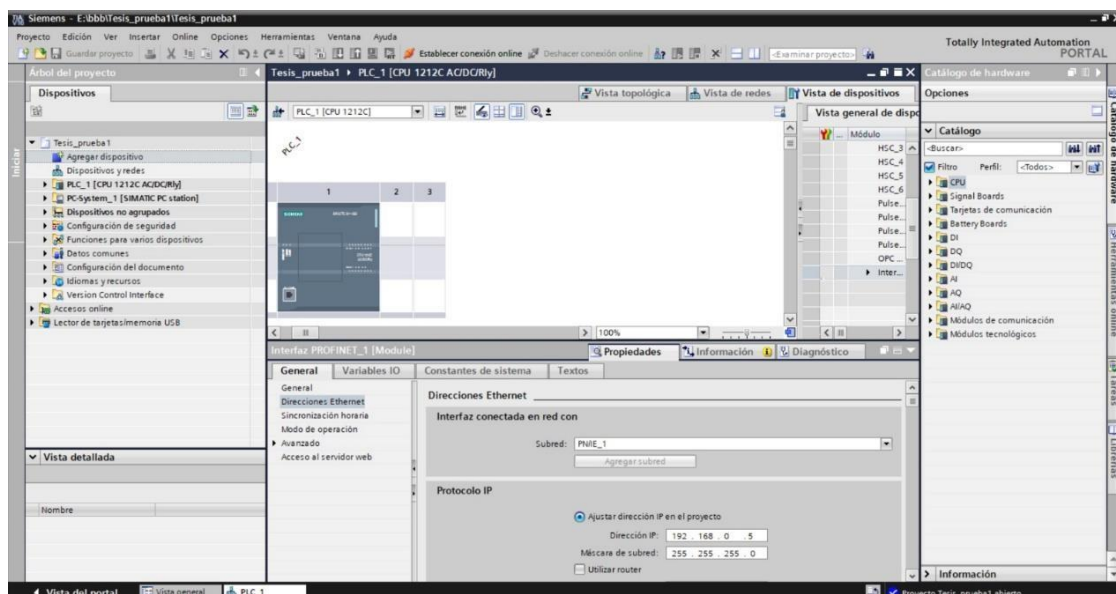


Figura 22. Configuración de dirección IP del PLC.

Creación del bloque de datos.

Se debe crear el bloque de datos dentro de TIA Portal, donde vamos a declarar todas las variables de este proyecto, las mismas que recibirán los datos enviados desde el Node-Red. A todas las variables debemos configurar el tipo de dato como “Real”.

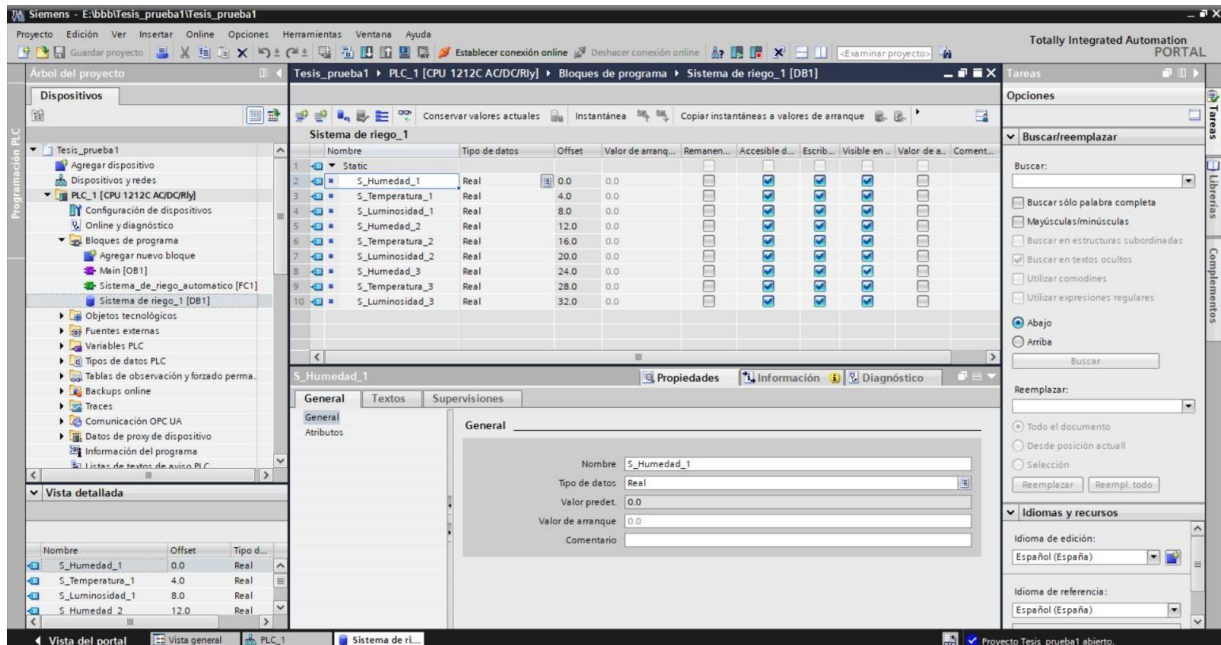


Figura 23. Creación de bloque de datos en TIA Portal.

Creación de la tabla de observación.

Es importante agregar todas las variables utilizadas para visualizar la dirección por ejemplo “%DB1.DB0”, esto nos servirá como referencia para configurar los bloques “s7 out” de node red según la tabla de equivalencia y que se puedan comunicar para transmitir los datos obtenidos de los sensores de la WSN.

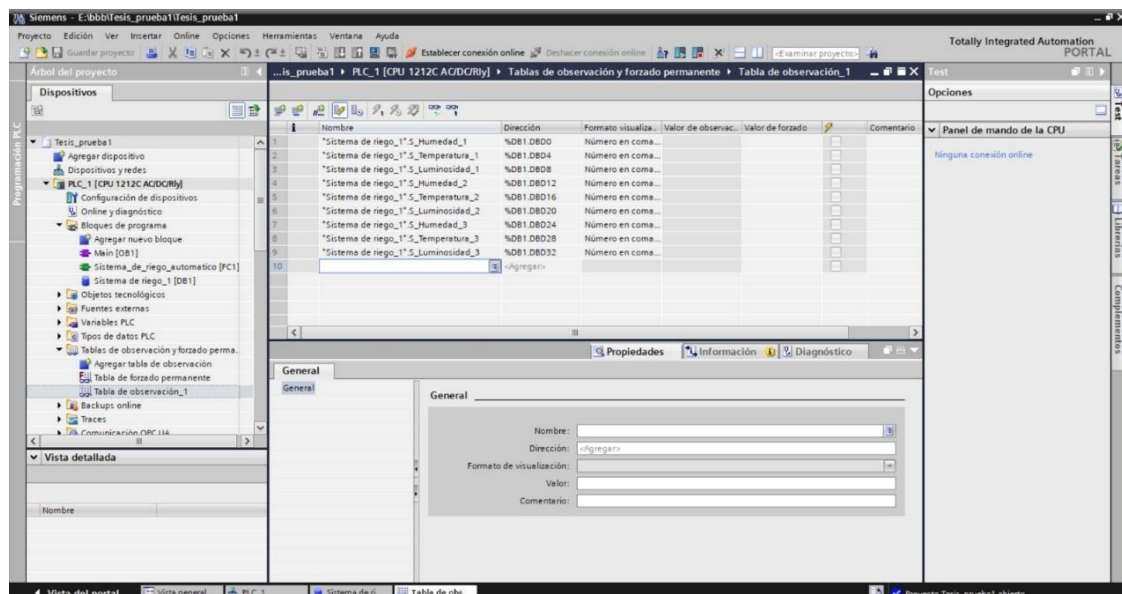


Figura 24. Creación de tabla de observación en TIA Portal.

Creación de la tabla de variables.

Debemos crear una tabla de variables en TIA Portal que nos permita guardar información como los datos de tipo real obtenidos de Node-Red, en esta tabla también debemos ingresar las variables que nos servirán como actuadores que en este caso para este proyecto serán luces indicadoras de riego, y también variables de memoria que nos servirán para guardar los datos y procesarlos en el programa que se va a cargar al PLC para el correcto funcionamiento del proyecto.

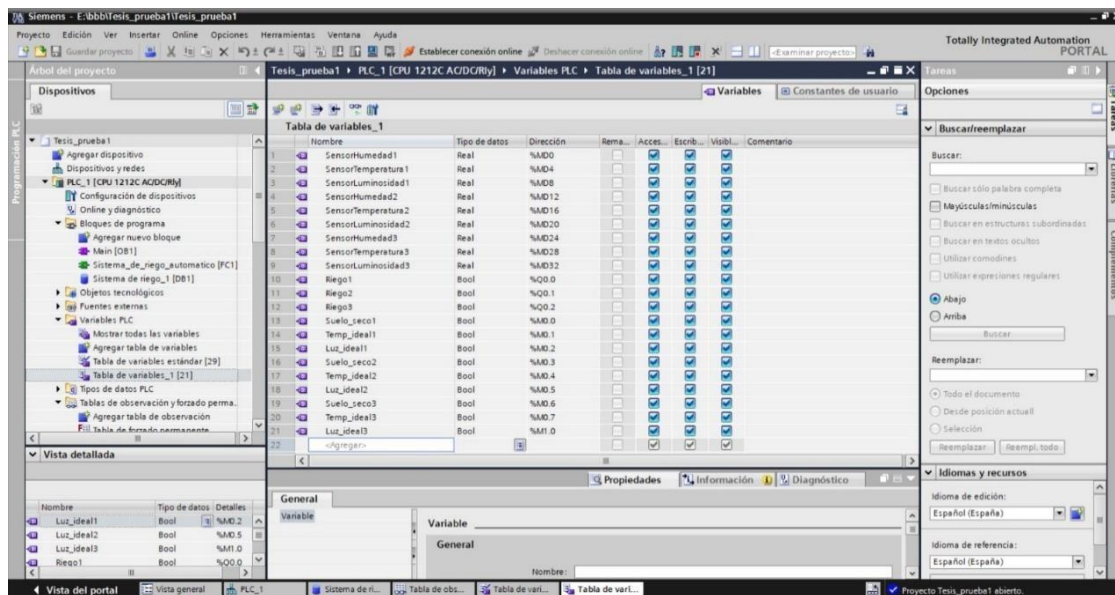


Figura 25. Creación de tabla de variables en TIA Portal.

Creación del bloque de función.

En esta parte vamos ya a programar en lenguaje Ladder, o también conocido como diagrama en escalera, que es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los sistemas de automatización industrial. Como en las escaleras, en cada segmento, se programa las diferentes sentencias de la lógica. En el primer segmento utilizamos el módulo de transferencia de datos “MOVE” para leer los datos de las variables que llegan de Node-Red y guardarlos en la variable correspondiente descrita en TIA Portal.

En el segundo segmento utilizamos un módulo de comparación “In_Range”, para comprar el valor real recibido y guardado en nuestra variable declarada, se configura un valor mínimo y un valor máximo, en caso de encontrarse dentro del rango definido se activará una bobina de memoria, la misma que nos ayudará a definir si el suelo del cultivo de orquídea en el invernadero necesita agua, y se activará el riego.

En el tercer segmento se valida el rango de los datos de humedad del suelo, la temperatura del ambiente y la luminosidad del invernadero, cuando las 3 variables se encuentren en su rango ideal se procederá con el riego de la tierra, asegurando de esta manera el adecuado uso de los recursos hídricos, generando un ahorro para la industria de flores, y al mantener este control mejorar la productividad de Orquídeas.

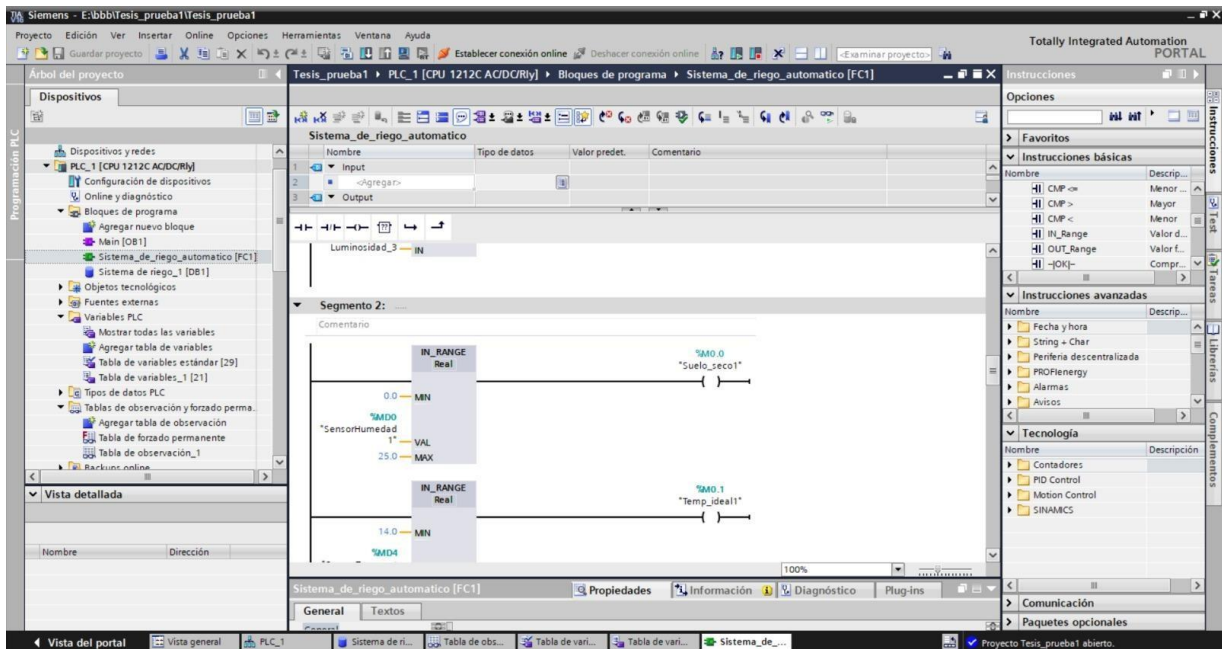


Figura 26. Programación ladder en el bloque de función.

Configuración de la comunicación del PLC con el HMI.

Primero se debe agregar un nuevo dispositivo que viene a ser el WinCC RT Professional, que se encuentra en el apartado de “SIMATIC HMI application”, una vez tengamos este dispositivo agregado, se debe proceder a añadir un módulo de comunicación IE general, al cual se le va a configurar la dirección IP del HMI que se encuentra en el laboratorio con el que se trabajará.

Finalmente, en la opción de dispositivos y redes, se realizará la conexión del PLC con el HMI como se muestra en la siguiente imagen:

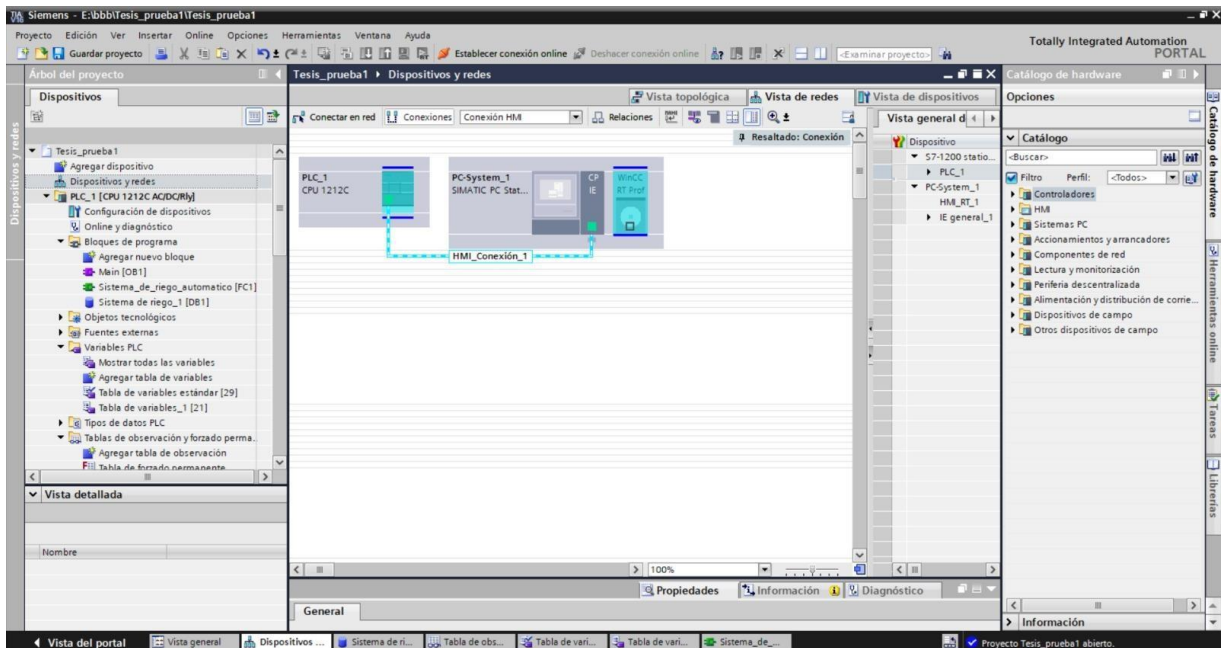


Figura 27. Configuración de conectividad entre PLC y HMI.

3.3.4 Configuración del HMI.

Para realizar la configuración del HMI, es necesario tener instalado en el ordenador el software DOPSoft, en el cual se elaborará el diseño de nuestra pantalla, la misma que será observada por el usuario u operador, donde se va a poder revisar los datos obtenidos de las variables principales que son la humedad del suelo, la temperatura del ambiente y la luminosidad del invernadero. Así como también se podrá visualizar cuando una válvula esté ejerciendo la acción de riego automático.

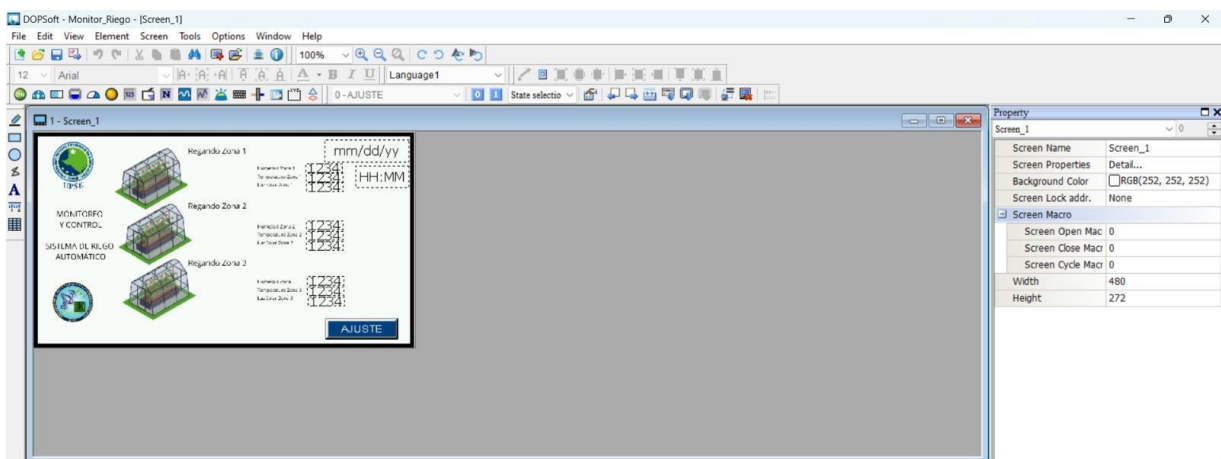


Figura 28. Diseño y configuración del HMI.

3.4 Parametrización y caracterización del proyecto.

Para evaluar la eficiencia de este proyecto se utilizará parametrización de las variables

principales que son la humedad del suelo, la temperatura y la luminosidad, de esta manera se tendrá un panorama claro en referencia a la precisión de los sensores utilizados al momento de obtener los datos de medición, es importante mencionar que los sensores deben tener un margen de error mínimo al obtener mencionados valores.

Para la caracterización de este proyecto se autenticará la transmisión de información inalámbrica mediante un análisis de potencia de señal y latencia, en el ámbito del riego automático se autenticará la diferencia que existe entre el uso de agua durante un riego manual y un riego controlado, de esta manera se evaluará el rendimiento del sistema verificando el impacto en la eficiencia del uso de recursos hídricos.

En el próximo capítulo donde se detallan los resultados del desarrollo del proyecto, se pondrá a prueba la parametrización y la caracterización del sistema automático de riego de orquídeas con comunicación inalámbrica, con el fin de determinar las conclusiones de este estudio.

CAPÍTULO IV

4.1 Resultados.

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos de las métricas claves para la evaluación del funcionamiento de la WSN en un sistema automático de riego de orquídeas, los parámetros específicos del sensor y los tiempos de respuesta, entre otros indicadores que forman parte fundamental en el análisis del correcto funcionamiento del proyecto propuesto para la aplicación planteada.

4.1.1 Implementación del entorno de pruebas.

En esta primera etapa se instalan los nodos de la WSN (nodo emisor y nodo receptor) distribuyéndolos en diferentes lugares de manera estratégica considerando la presencia de obstáculos o la ausencia de los mismos. Esta disposición permite simular las condiciones propias de un invernadero de orquídeas, asegurando que el sistema de monitoreo inalámbrico propuesto funcione de manera efectiva en un ambiente con limitaciones físicas que podrían influir en la señal y el rendimiento de los sensores. Finalmente se instaló un módulo de operación para la tecnología inalámbrica LoRa.

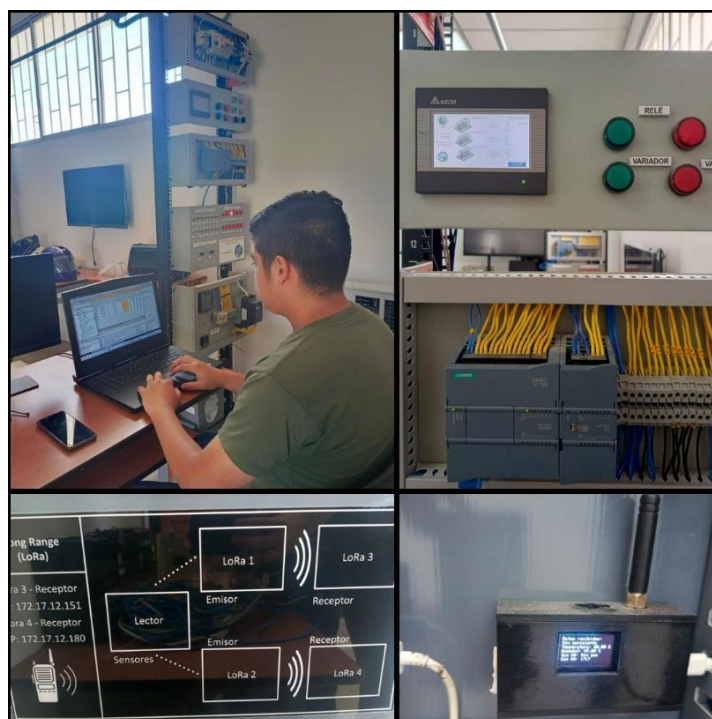


Figura 29. Implementación del entorno de pruebas.

4.1.2 Medición de la intensidad de señal (RSSI).

En esta segunda parte se registró la intensidad de la señal, medida en dBm (RSSI), en diversas distancias para evaluar la conectividad inalámbrica entre el nodo emisor y el nodo receptor de la WSN. De esta manera determinar la calidad de la señal en cada punto como referencia a colocarse en un invernadero. A partir de estos datos se identifica la distancia en la que los nodos tienen buena conectividad, de 0 a 1500 metros la transmisión de datos es efectiva, a partir de los 2000 metros se empieza a tener baja conectividad, este proceso es fundamental para optimizar las zonas donde se pueden instalar los sensores y garantizar una cobertura de señal sólida y continua dentro del invernadero de orquídeas.

Tabla 9. Medición de intensidad de señal en dBm (RSSI)

<i>Medición No.</i>	<i>RSSI (nivel de señal) sin obstáculo.</i>	<i>RSSI (nivel de señal) con obstáculo.</i>	<i>Distancia (metros)</i>
1	-28dBm	-39dBm	25m
2	-32dBm	-45dBm	50m
3	-45dBm	-62dBm	75m
4	-58dBm	-84dBm	100m
5	-64dBm	-85dBm	200m
6	-72dBm	-103dBm	300m
7	-75dBm	-105dBm	400m
8	-80dBm	-110dBm	500m
9	-85dBm	-120dBm	1000m
10	-91dBm	-130dBm	2000m

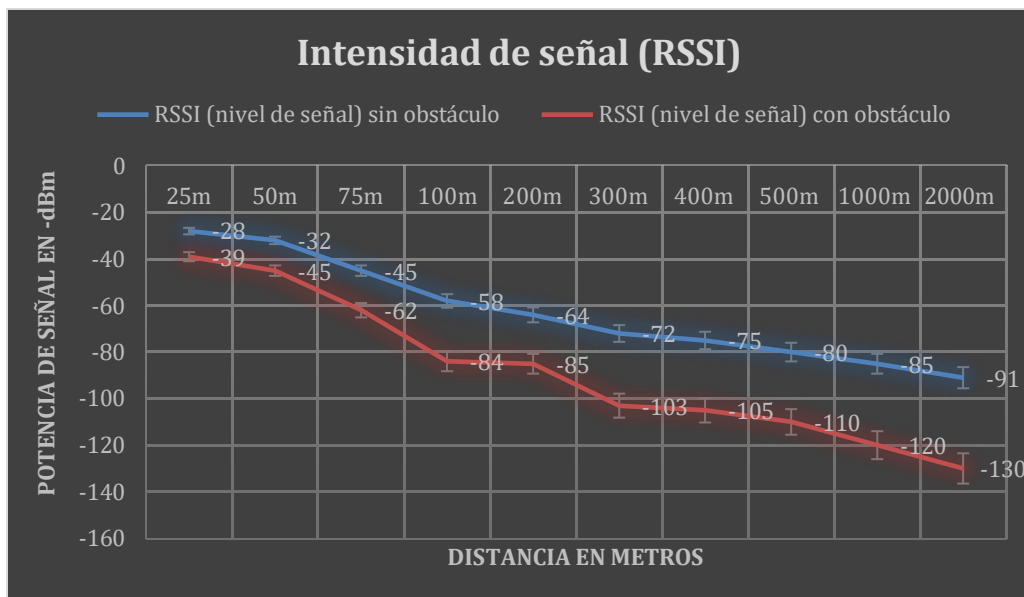


Figura 30. Gráfico de intensidad de señal en dBm (RSSI).

4.1.3 Comparación entre LoRa y WiFi en sistemas automáticos de riego inalámbricos.

En este proyecto donde se propone un sistema de comunicación inalámbrica para el monitoreo y control de un riego automático en invernadero de orquídeas, la tecnología LoRa es mejor que la tecnología wifi, debido a su amplio alcance, bajo consumo de energía, y capacidad para transmitir datos básicos como la lectura de sensores de humedad, temperatura y luminosidad, variables claves para el óptimo crecimiento de las orquídeas, en áreas extensas o remotas sin necesidad de infraestructura compleja [91].

LoRa se adapta de mejor manera a sistemas autónomos que operan con batería, a diferencia de wifi que consume más energía y depende de redes locales. A pesar de que wifi es ideal para transmitir datos de alta velocidad, como video, LoRa proporciona una solución óptima para sistemas de monitoreo con comunicación inalámbrica, con menor interferencia y una configuración menos compleja [92].

Estas características hacen que la tecnología LoRa para un sistema de comunicación inalámbrica de sensores o WSN sea la mejor opción, principalmente para la zona rural donde las conexiones wifi son limitadas o inviables [93].

Tabla 10. Comparación entre tecnologías inalámbricas

<i>Tipo</i>	<i>Distancia</i>	<i>Tasa Máxima</i>	<i>Consumo de energía</i>
<i>Bluetooth</i>	10 m	2 Mbps	Medio
<i>LoRa</i>	0 - 15000 m	600 Kbps	Muy Bajo
<i>Wifi</i>	0 - 60 m	54 Mbps	Alto
<i>ZigBee</i>	0 - 1500 m	250 Kbps	Bajo

4.1.4 Evaluación de tiempo de respuesta del sistema.

En esta cuarta etapa se registró el cálculo total del tiempo de respuesta del sistema, considerando el tiempo que tarda pasar la información desde el sensor instalado en el nodo emisor de la WSN hasta la estación central de control, para su monitoreo en tiempo real permitiendo el control del sistema de riego en un invernadero de orquídeas. Este tiempo de respuesta obtenido es ideal para la aplicación de este proyecto, debido a que en menos de un segundo el suelo no se seca, ni se humedece en exceso, esto permite tener un control constante y el tiempo de respuesta es muy favorable.

En la siguiente tabla se muestra el cálculo de los tiempos de respuesta separado por partes:

Tabla 11. Tabla de cálculo de tiempos de respuesta

Medición No.	Hora de la medición	T. L-L	T. L-R	T. R-PH	T. T
1	09:00	4ms	0.5seg	0.5seg	1.004seg
2	10:00	4ms	0.5seg	0.5seg	1.004seg
3	11:00	5ms	0.8seg	0.5seg	1.304seg
4	12:00	5ms	0.8seg	0.5seg	1.304seg
5	13:00	4ms	0.5seg	0.5seg	1.004seg
6	14:00	4ms	0.5seg	0.5seg	1.004seg
7	15:00	5ms	0.8seg	0.5seg	1.304seg
8	16:00	4ms	0.5seg	0.5seg	1.004seg
9	17:00	4ms	0.5seg	0.5seg	1.004seg
10	18:00	4ms	0.5seg	0.5seg	1.004seg

T. L-L = Tiempo de transmisión de datos entre LoRa emisor y LoRa receptor.

T. L-R = Tiempo de transmisión de datos entre LoRa receptor y la Raspberry Pi4

T. R-PH = Tiempo de transmisión de datos entre la Raspberry Pi4 y el PLC&HMI

T.T = Tiempo total de respuesta del sistema.

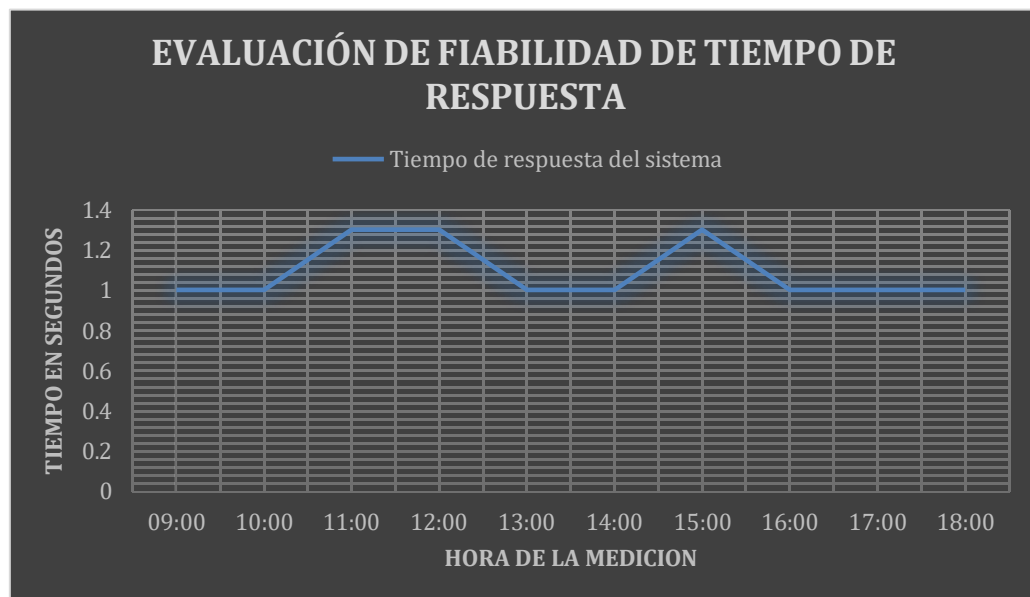


Figura 31. Gráfico del análisis de tiempos de respuesta del sistema.

4.1.5 Evaluación de precisión de los sensores.

En esta tercera etapa se examina el rendimiento del sensor de temperatura implementado en el nodo de la WSN en tiempo real en función de las métricas específicas para cada tipo de sensor. El objetivo es confirmar que el sensor de temperatura detecte de manera precisa las condiciones ambientales de temperatura dentro de un invernadero de orquídeas.

Los valores registrados se compararon con mediciones obtenidas de un pirómetro, instrumento de gama industrial, como se puede observar en la siguiente imagen:



Figura 32. Prueba de validación de valores medidos por el sensor.

Esta comparación permitió verificar la precisión del sensor en condiciones reales de monitoreo, asegurando la confiabilidad del sistema, los datos registrados se indican a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 12. Tabla de evaluación de precisión del sensor de temperatura

Medición No.	Hora de la medición	Valor medido por el sensor de la WSN	Valor medido por el pirómetro.
1	09:00	23.40°	23.00°
2	10:00	24.69°	24.60°
3	11:00	25.31°	25.30°
4	12:00	27.14°	27.10°
5	13:00	28.97°	29.00°
6	14:00	30.80°	30.80°
7	15:00	30.26°	30.30°
8	16:00	27.38°	27.40°
9	17:00	27.00°	27.00°
10	18:00	25.88°	25.80°

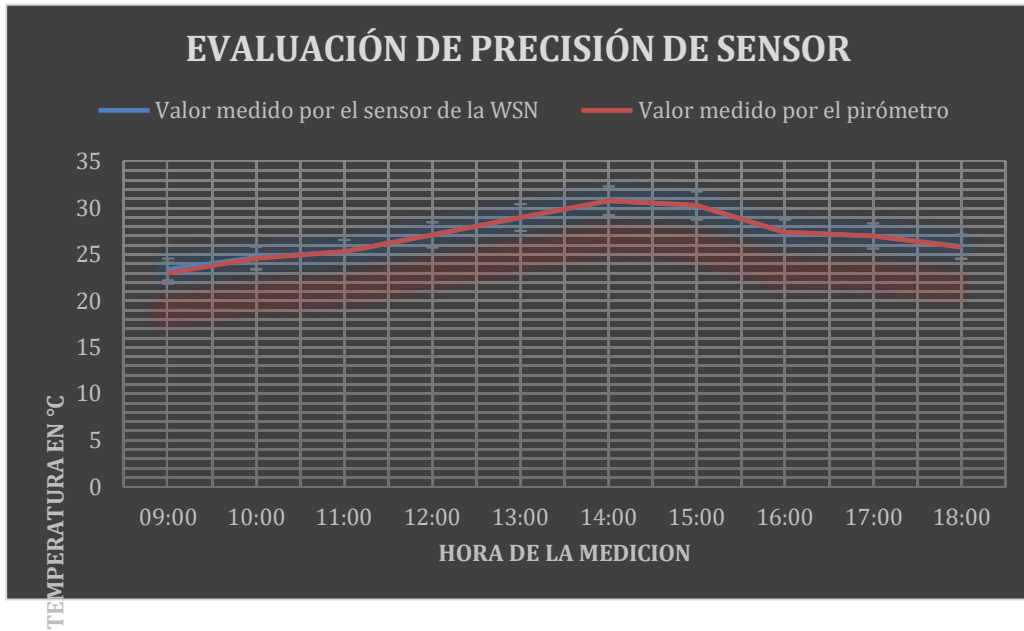


Figura 33. Gráfico de evaluación de precisión del sensor de temperatura.

4.1.6 Linealidad de un sistema caracterizado experimentalmente.

Se dispone de un sensor que permite medir la temperatura del ambiente con una magnitud, se realizó 10 medidas a lo largo de un día con intervalos de tiempo de 1 hora. Con la ayuda del software Matlab, se hizo el análisis de la linealidad:

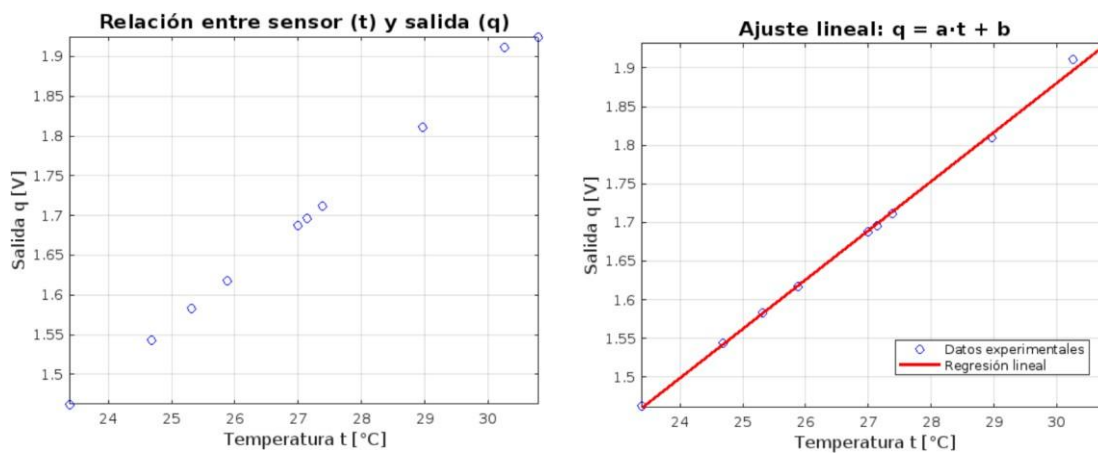


Figura 34. Linealidad de un sistema caracterizado experimentalmente.

Ecuación ajustada: $q = 0.9615 \cdot m + 1.0942$

Delta_linealidad = 0.1995

Porcentaje de linealidad = 3.99 % FSC

Delta_exactitud = 0.4000

Porcentaje de exactitud = 8.00%

Promedio $\bar{q} = -0.0130$

Desviación estándar $\sigma = 0.0706$

Umbral $U = 3\sigma = 0.2119$ Media

\bar{q} extrapolado = 4.1691

Desviación estándar $\sigma = 0.0821$

Umbral $U = 3\sigma = 0.2462$

Estos datos nos indican que el sensor utilizado en la experimentación trabaja de manera óptima enfocado a la aplicación de un sistema automático de riego de un invernadero, este sensor de temperatura no presenta una relación lineal directa entre el valor de la variable de proceso y la señal de salida. En sistemas de control y automatización es importante esto con el fin de reducir el error introducido por la no linealidad, lo que resulta en una medición más precisa.

CONCLUSIONES

- Se logró implementar un sistema funcional de adquisición de datos que permite recoger información en tiempo real, con la tecnología LoRa se obtuvo una cobertura amplia de al menos 1000 metros con buena conectividad sin obstáculos -85dBm, en presencia de obstáculos la potencia disminuye 40 decibeles llegando a los -120dBm, a partir de esta distancia se nota que hay pérdida de potencia en 20 decibeles incluso sin obstáculos, factor de conectividad que resulta confiable en un invernadero debido a que en los 1000 metros no existen pérdidas de datos.

- El tiempo de respuesta del sistema propuesto tiene un pico máximo de 1.304 segundos, sumando los 2 segundos que tarda en reenviar los datos en presencia de algún error o interferencia, nos da un total de 3.304 segundos, tiempo en el cual no se afecta el estado de la raíz de la planta tanto en riego excesivo, como en falta de riego, el tiempo de respuesta es aceptable tomando en cuenta el procesamiento de datos y la conectividad inalámbrica.

- Comparando el valor de temperatura medido con un pirómetro y el valor medido por el sensor DHT22, se obtuvo que el porcentaje de error del sensor DHT22 es de $\pm 0.29\%$, esto asegura la fiabilidad del valor recibido del sensor.

- La interfaz HMI desarrollada permitió una visualización clara y amigable de los datos registrados, brindando al usuario la capacidad de monitorear variables críticas y tomar decisiones inmediatas respecto al riego, cumpliendo con los principios de accesibilidad y control remoto en tiempo real.

- En el laboratorio se evidenció que el sistema es capaz de responder de forma automática y oportuna a los cambios de humedad y temperatura, activando el riego de manera eficiente según los parámetros establecidos, lo cual valida la viabilidad del sistema para su aplicación en entornos reales de producción de orquídeas.

RECOMENDACIONES

- Seleccionar adecuadamente el tipo de sensor y el módulo LoRa según la aplicación específica, considerando factores como el rango de transmisión, frecuencia de operación (433 MHz, 868 MHz, 915 MHz), y consumo energético.
- Optimizar el intervalo de muestreo ya que el sensor DHT22 no cambia sus lecturas rápidamente, se recomienda enviar datos cada 5–15 minutos, lo cual reduce el consumo de energía y congestión de red, esto no afecta en el tiempo de respuesta para su aplicación en sistemas automáticos de riego.
- Usar LoRa punto a punto si es una red pequeña, o LoRaWAN si se planea escalar a más sensores en distintas ubicaciones.
- Evaluar la densidad de nodos y su frecuencia de transmisión, para evitar congestión en la red y cumplir con la normativa ISO/IEC 27033-6

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. D. Lojano Angamarca y R. B. Méndez Vásquez, “Desarrollo de un sistema de monitoreo y rastreo de productos agrícolas utilizando IoT, caso de estudio cacao” Bachelor’s thesis, 2023.
- [2] J. G. Clemente Carriel, R. X. Haro Guerra y F. Moncayo, “Determinación de un modelo de propagación usando gradientes distancia-potencia en una zona agrícola y su aplicación en una parcela mediante el diseño de un prototipo de riego inteligente”, Doctoral dissertation, ESPOL. FIEC., 2021.
- [3] T. E. Gualpa Núñez, “Gestión de sistema de riego inteligente para el cuidado del parque Palomino Flores de la Ciudad de Baños de Agua Santa” Bachelor’s thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, 2020.
- [4] L. G. V. Molina y C. O. G. Molina, “Utilización de sensores IoT para la automatización de sistemas de riego”, *Dominio de las Ciencias*, vol. 9, no. 4, págs. 1731-1748, 2023.
- [5] J. Sánchez-Barriga Pons, *Solución IoT para análisis inteligente en la producción de uva*, 2019.
- [6] I. A. G. Torres, R. E. C. León, W. R. N. Espín y J. G. V. Andrade, “El Uso de la Inteligencia Artificial en un Invernadero”, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 8, no. 4, págs. 910-930, 2024.
- [7] U. F. d. M. G. Embrapa, *Aplicação de Tecnologias IoT e Redes LoRa no Monitoramento de Parâmetros Agrícolas na Soja, Proyecto Soja de Precisión, Brasil*, 2018.
- [8] E. P. Nacional y M. de Agricultura y Ganadería, *Proyecto de Monitoreo de Cultivos: Implementación de Tecnologías IoT y LoRa en la Agricultura de Precisión en Pichincha, Ecuador*, 2019.
- [9] W. O. Moreira Quiñonez y G. A. P. T. Rocano Chima, “Desarrollo de un sistema de riego inteligente para un cultivo de rosas basados en IoT”, Bachelor’s thesis, 2023.
- [10] C. V. Calle Sarmiento y A. E. Chacha Yumbla, “Diseño de un sistema para la supervisión de la nutrición del suelo en un cultivo de rosas basado en internet de las cosas”, Bachelor’s thesis, 2022.
- [11] C. Osorio Castillo, “Diseño e implementación de un sistema de ambiente controlado para el cultivo de cannabis”, Doctoral dissertation, Universidad Santo Tomás, 2022.

[12] C. A. Gordillo Gordillo, “Red de sensores inalámbricos bajo protocolo lora y gestión de procesos para la analítica de datos mediante meta sistema operativo para monitoreo ambiental en invernaderos”, Bachelor’s thesis, 2021.

[13] L. A. VERA POLANCO, “Prototipo de telecontrol para agricultura inteligente mediante IoT y tecnología inalámbrica”, Bachelor’s thesis, Jipijapa-Unesum, 2023.

[14] G. Zamitiz Cordoba, Sistema de monitoreo y control de variables ambientales a invernaderos utilizando tecnologías web, 2023.

[15] C. M. Flores Vargas, “Prototipo de invernadero vertical, aeropónico usando IoT y control de microclima”, Doctoral dissertation, 2020.

[16] A. D. Satuquina Congacha, “Sistema de control y monitoreo de riego, purificación de aire y fumigación para la plantación de tomate de riñón en invernaderos mediante dispositivos IoT en la agropecuaria San Miguel de Salcedo”, Bachelor’s thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, 2023.

[17] M.-E. Pérez-Pons, J. Parra Domínguez, J. M. Corchado Rodríguez, J. Queiroz, y P. Leitão, Aplicaciones tecnológicas para la agricultura sostenible: un trinomio. Ediciones Universidad de Salamanca (España), 2022. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://gredos.usal.es/handle/10366/149414>

[18] K. A. Sánchez Magallanes, «Ciberseguridad para mejorar el proceso de matrícula en una institución educativa, Lima, 2023», Repositorio Institucional - UCV, 2024, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/135111>

[19] A. O. Suárez et al., «Diseño de un sistema IIoT de un vivero para la formación de profesionales en competencias de la industria 4.0», EIEI ACOFI, sep. 2023, doi: 10.26507/paper.2943.

[20] M. A. López Reinoso y P. A. Montesdeoca Méndez, «Diseño de una arquitectura para seguridad de datos en las comunicaciones en redes basado en Industrial IoT», masterThesis, 2023. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26599>

[21] A. S. Garzón Pozo y K. V. Reyes Rosas, «Estudio de mecanismos de ciberseguridad para asegurar las comunicaciones en internet de las cosas industrial IoT.», masterThesis, 2023. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25103>

[22] B. G. Pila Challco, «Implementación de un sistema para mejorar el proceso matrículas y pagos en un centro de idiomas de la ciudad de Arequipa», Repositorio Institucional - UTP, 2024, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/9800>

[23] J. Á. Barriga Corchero, «Lenguaje específico del dominio para el diseño y ejecución de simulaciones de entornos IoT», doctoralThesis, 2024. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dehesa.unex.es:8443/handle/10662/21347>

[24] P. Barreiro Elorza, E. C. Correa Hernando, W. Dacosta Neto, y B. Diezma Iglesias, «Lo que hemos aprendido de la (re)evolución de las 4.0: agricultura, transporte e industria alimentaria», en IX Congreso CyTA/CESIA. Ayer, hoy y mañana de la ciencia y tecnología de los alimentos. | IX Congreso CyTA/CESIA | 17/05/2017-19/05/2017 | Madrid, España, Madrid, España: E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (UPM), 2017, p. 1. [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/46869/>

[25] P. Correa, C. Gutiérrez, A. Valencia-Arias, L. Acosta Agudelo, y M. Echeverri- Gutiérrez, «Tendencias en tecnologías convergentes en la industria 4.0: una revisión de literatura», Revista ION, vol. 36, jun. 2023, doi: 10.18273/revion.v36n2-2023006.

[26] Á. M. Rodríguez, J. C. Corrales, Á. M. Rodríguez, y J. C. Corrales, «Adaptación de una metaheurística evolutiva para generar árboles enrutadores en una red de sensores inalámbricos del contexto de la agricultura de precisión», Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 15, n.º 29, pp. 63-80, jul. 2016, doi: 10.22395/rium.v15n29a4.

[27] S. Medina, F. Romero, A. E. De Giusti, y F. G. Tinetti, «Análisis para despliegue de una red de sensores heterogénea», presentado en XXIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (La Plata, 2018)., 2018. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea].

Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73360>

[28] H. J. Espinoza Velasco, «Aplicación de una red de sensores inalámbricos (WNS) en una granja avícola para producción de precisión», bachelorThesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo, 2023. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/11506>

[29] W. M. Urbina Gamboa, «Arquitecturas System-on-Chip para Cyber Physical System Gateway en Smart Grid». Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/547392509.pdf>

[30] A. F. C. Salcedo, A. B. Martínez, y A. C. González, «Centro de Investigación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas», Visión electrónica, vol. 12, n.º 1, Art. n.º 1, may 2018, doi: 10.14483/22484728.13405.W. E. Heffel, «Ciberseguridad industrial en la distribución de energía eléctrica», dic. 2016 [En línea]. Disponible en: <https://rdu.iua.edu.ar/handle/123456789/1832>

[31] G. A. Jara Rodas y A. C. Martínez Muñoz, «Desarrollo de una plataforma de monitoreo y control utilizando los sistemas de comunicación del PLC IoT A8-E de Haiwell en el contexto de la Industria 4.0», bachelorThesis, 2024. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea].

Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28504>

[32] H. H. Forero Giraldo y D. C. Camberos Ortiz, «DESARROLLO DE UNA RED PUNTO A PUNTO CON TECNOLOGÍA LORA Y SERVIDOR WEB». Accedido: 16 de

diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en:

<https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/9f1bfa3a-64df-42be-ad7f-320185794054/content>

[33] M. A. Gaybor Murillo y M. D. Maridueña Chunga, «Diseño de un sistema de adquisición de datos de una red de sensores inalámbricos que miden variables oceanográficas en el perfil costanero de Santa Elena, usando tecnología LoRa», bachelorThesis, ESPOL.FIEC, 2017. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/44445>

[34] J. J. Mishqui Duchi, «Diseño de una infraestructura lógica para gestión de datos en la bodega de químicos Quimasa basado en internet de las cosas», bachelorThesis, 2023. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25035>

[35] E. J. Guaña Moya, «Diseño de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para monitorear parámetros relacionados con la agricultura», bachelorThesis, Quito, 2016., 2016. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16809>

[36] S. A. Velandia Arenas y A. M. Buitrago Anzola, «Diseño e implementación de un enlace punto-multipunto de comunicación inalámbrica con LORA para la transmisión de variables de proceso entre los sistemas de dosificación y enfriamiento de la planta pasteurizadora, con el fin de poder almacenar y monitorear la información de una base de datos en la nube bajo la arquitectura IIOT», ago. 2024, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/40072>

[37] J. R. Rodríguez Chicaiza y K. P. Ulcuango Llumiquinga, «Diseño e implementación de un sistema de automatización para el control de riego por goteo y monitoreo de temperatura en el invernadero “Clara Llumiquinga” sector de Patután provincia de Cotopaxi.», feb. 2018, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4528>

[38] H. V. Mora Magallanes y J. L. Rosas Pari, «Diseño, desarrollo e implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el control, monitoreo y

toma de decisiones aplicado en la agricultura de precisión basado en internet de las cosas (IOT). – Caso de estudio cultivo de frijol», 2019, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2294>

[39] O. Tejeda-Sartorius, «Estado de conservación de orquídeas silvestres (Orchidaceae)», *Agro Productividad*, vol. 10, n.º6, 2017, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1031>

[40] A. Damon, «estrategia para el rescate, conservación y aprovechamiento sustentable de las orquídeas (orchidaceae) en el sureste de México», *Agro Productividad*, vol. 10, n.º 6, 2017, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1035>

[41] V. Andrés, «Estudio de la Agricultura de Precisión Enfocado en la Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para el Monitoreo de Humedad y Temperatura en Cultivos – Caso de Estudio Hacienda Cabalinus Ubicada en la Provincia de Los Ríos», vol. 38, n.º 1, 2016.

[42] M. Reva, «Estudio de la eficacia agrícola de un gel inoculante micorrízico ultrapuro de última generación», *Study of the agricultural effectiveness of a last-generation ultrapure mycorrhizal gel inoculum*, 2022, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/23573>

[43] M. P. Langer, C. Leones Bazzi, y G. P. Lopez Sepulveda, «Estudio de tecnologías y protocolos de comunicación para redes de sensores inalámbricos aplicados a la agricultura: revisión bibliográfica», presentado en XII Congreso de AgroInformática (CAI 2020) - JAIIO 49 (Modalidad virtual), 2020. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/115668>

[44] J. I. V. Luna, M. A. L. Acosta, G. S. Guzmán, V. N. T. Vargas, F. J. S. Rangel, y J. F. C. Aceves, «Implantación de una Ipv4 para monitoreo de temperatura y humedad en un invernadero», *Pistas Educativas*, vol. 39, n.º 128, Art. n.º 128, feb. 2018, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/1134>

[45] N. J. Melo Paredes y W. A. Valverde Macao, «Implementación de un sistema de almacenamiento de la información, monitoreo y control aplicando el internet de las cosas, para la automatización de un invernadero», *bachelorThesis, Universidad Nacional de Chimborazo*, 2017, 2017. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4361>

[46] A. L. M. Cabezas, S. S. C. Menéndez, y J. L. M. Cabezas, «Implementación de un sistema telemático para monitorear y controlar invernaderos en un campus universitario, optimizando la agricultura sostenible», *Ciencia Huasteca Boletín Científico de la Escuela*

Superior de Huejutla, vol. 12, n.º 24, Art. n.º 24, jul. 2024, doi: 10.29057/esh.v12i24.12795.

[47] F. X. V. Barahona, P. J. J. Ayala, y M. A. C. Cabrera, «Sistema de monitoreo mediante una red de sensores utilizando tecnología de largo alcance (LoRa)», HOLOPRAXIS, vol. 8, n.º 2, Art. n.º 2, sep. 2024, doi: 10.61154/holopraxis.v8i2.3661.

[48] «Portal de Conocimiento: Prototipo de Sistema de Monitoreo y Control para Producción de Tomate en Invernadero». Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://servicios.fpune.edu.py:8080/jspui/handle/123456789/38>

[49] C. Y. B. Ordoñez, «Implementación de una red de sensores inalámbricos lpwan mediante módulos lora para el monitoreo de la calidad del agua en 2 rios.», 2017.

[50] M. E. Pedraza-Santos, «La propagación masiva de orquídeas (Orchidaceae); una alternativa de conservación de especies silvestres», *Agro Productividad*, vol. 10, n.º 6, Art. n.º 6, 2017, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1036>

[51] A. Kennedy, D. Bertao, J. Arrúa, y K. Ayala, «Prototipo de sistema de monitoreo y control para producción de tomate en invernadero», 2016.

[52] J. A. López Riquelme, F. Soto Vallés, J. Suardiaz Muro, y A. J. Iborra García, «Red de sensores inalámbrica para agricultura de precisión», mar. 2009, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10317/876>

[53] F. A. Urbano-Molano, «Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Café en Colombia», 2013.

[54] J. S. Jiménez Lovato, «Redes de sensores inalámbricos para IoT: medición de los retardos de retransmisión en nodos LoRaWAN que utilizan eACK e iACK.», bachelorThesis, Quito : EPN, 2023., 2023. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24282>

[55] C. E. Reyna Huamán, «Sistema automatizado para el monitoreo y control de humedad en un invernadero», ago. 2015, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6214>

[56] É. J. M. Perdomo, «Sistema Inteligente de automatización, monitoreo y control de invernaderos mediante uso de IoT y el microcontrolador ESP-32 con aplicación de aprendizaje automático», EIEI ACOFI, sep. 2023, doi: 10.26507/paper.2818.

[57] J. C. LARREA CHONILLO, «Sistema web para la gestión de información del proceso de producción del cultivo de orquídea en la agrícola san José», 2023.

- [58] R. C. Llarena-Hernández, «Sistemas de producción de orquídeas (orquidaceae) en veracruz, méxico», *Agro Productividad*, vol. 9, n.º 6, Art. n.º 6, 2016, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/773>
- [59] Á. H. A. López, J. A. Q. Castro, E. G. Perdomo, y A. M. M. Zambrano, «WSN redes de sensores inalámbricos y su aplicación a la agricultura de precisión: un caso de metaanálisis», *Actas del Congreso de Investigación, Desarrollo e Innovación*, pp. 245-258, dic. 2022.
- [60] H. A. Díaz Rodríguez, «Desarrollo de una plataforma basada en IoT para el monitoreo y control de riego en invernaderos», oct. 2021, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/entities/publication/229d8917-36fb-4009-9d54-a76ca6ef7eaf>
- [61] V. A. Santos Beltrán y D. F. (PENDIENTE T. Tinoco Freire, «Diseño de un invernadero hidropónico automático con control del pH y electroconductividad para cultivo de tomate y monitoreo en la nube», bachelorThesis, 2023. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25254>
- [62] J. D. Caiche Reyes, «Diseño de sistema de invernadero automatizado para forraje verde hidropónico de maíz *Zea mays* implementando el programa Arduino.», bachelorThesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2024., 2024. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10896>
- [63] R. Mejía y J. Agustín, «Red de Comunicación Inalámbrica Heterogénea Utilizando Módulos Esp32», *Heterogeneous Wireless Communication Network Using Esp32 Modules*, sep. 2024, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/208783>
- [64] X. Flores y J. Guadalupe, «Desarrollo de una red inalámbrica ad hoc para realizar tareas de monitoreo de temperatura y humedad», jun. 2024, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uppuebla.edu.mx:8080/xmlui/handle/123456789/490S>. Medina, F. Romero, A. E. De Giusti, y F. G. Tinetti, «Experiencias de análisis de consumo energético en redes de sensores», presentado en XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC) (Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, 14 al 18 de octubre de 2019), 2019. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/91138>

[65] J. L. Blancas Hidalgo, «Seguridad de sistemas automatizados mediante integracion y redundancia de control», Universidad Nacional del Centro del Perú, 2010, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3577>

[66] E. R. Leon Cornelio, «Prototipo de alerta temprana para desborde de ríos», nov. 2019, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ri.ujat.mx/handle/200.500.12107/4946>

[67] D. L. Pachón Espinel, «Prototipo de sistema automatizado con visión artificial para la selección de empaques de plástico, vidrio y lata en el proceso de reciclaje», sep. 2019, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12558/2497>

[68] J. Baker, «Structured query language (SQL)», 2012, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://148.202.167.116:8080/xmlui/handle/123456789/631>

[69] F. A. Macias Carpio, «Estudio Comparativo entre SQL Directo y un ORM.», bachelorThesis, Babahoyo: UTB-FAFI. 2023, 2023. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/14779>

[70] J. E. Tovar Tapia, «Repotenciación de un módulo interactivo a través de Arduino con comunicación de Radioenlace a IOT y Node Red para integración a Django en la visualización y almacenamiento de datos (SQL SERVER)», bachelorThesis, 2024. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28131>

[71] M. E. A. Altamirano Duran y D. A. Gonzales Lapponi, «Optimización de la gestión de producción de productos plásticos mediante un dashboard interactivo integrado con Node-RED y Salesforce», Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), nov. 2023, Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/670772>

[72] J. C. B. Andrade y J. A. L. Sotelo, «Bio-Route: un simulador para redes de sensores inalámbricos», Revista Educación en Ingeniería, vol. 7, n.º 13, Art. n.º 13, jun. 2012, doi: 10.26507/rei.v7n13.169.

[73] M. López-Benítez, J. Gozalvez, M. Carmen, y M. del C. Lucas-Estañ, «Sphere– plataforma avanzada de simulación para sistemas inalámbricos heterogéneos», sep. 2006.

- [74] «BIO-ROUTE: UN SIMULADOR PARA REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS. |EBSCOhost». Accedido: 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A6%3A26468854/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A77485129&crl=c&link_origin=scholar.google.es
- [75] J. F. Monsalve-Posada, A. Arias-Londoño, y J. G. Mejía-Arango, «Desempeño de redes inalámbricas y redes industriales inalámbricas en procesos de control en tiempo real bajo ambientes industriales», *TecnoLógicas*, vol. 18, n.º 34, pp. 87-99, ene. 2015.
- [76] A. Montoya y D. A. Ovalle, «Evaluación del desempeño en redes inalámbricas de sensores mejoradas con agentes móviles», *Revista EIA*, n.º 17, pp. 151-166, jun. 2012.
- [77] J. D. Medina Rojas y Y. Y. Rivas Montalvo, «Evaluación del Rendimiento de un Sistema de Detección de Intrusos para Redes Inalámbricas 802.11 Contra Ataques Informáticos.», ene. 2020, Accedido: 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8074>
- [78] E. A. Villagrán-Munar y C. R. Bojacá-Aldana, «Simulación del microclima en un invernadero usado para la producción de rosas bajo condiciones de clima intertropical», *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, vol. 35, n.º2, pp.137-150, ago. 2019, doi: 10.4067/S0719-38902019005000308.
- [79] J. V. Prado Hernández et al., «Simulación del movimiento del aire en un invernadero tipo venlo», *Terra Latinoamericana*, vol. 31, n.º 4, pp. 325-337, dic. 2013.
- [80] E. A. Villagran Munar, C. R. Bojacá Aldana, N. A. Rojas Bahamon, E. A. Villagran Munar, C. R. Bojacá Aldana, y N. A. Rojas Bahamon, «determinación del comportamiento térmico de un invernadero espacial colombiano mediante dinámica de fluidos computacional», *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 21, n.º2, pp. 415-426, dic. 2018, doi: 10.31910/rudca.v21.n2.2018.1070.
- [81] G. Sahitya, N. Balaji, y C. D. Naidu, «Wireless sensor network for smart agriculture», en *2016 2nd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT)*, jul. 2016, pp. 488-493. doi: 10.1109/ICATCCT.2016.7912049.
- [82] A. Lavric y V. Popa, «Internet of Things and LoRa™ Low-Power Wide-Area Networks: A survey», en *2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, jul. 2017, pp. 1-5. doi: 10.1109/ISSCS.2017.8034915.

[83] «Optimal Solution for Pest Controlling and Precision Agricultural System Using IIot - ProQuest». Accedido: 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.proquest.com/openview/2a9f1f42fa2fb2e85bbab3f1eebe951f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=4433095>

[84] V. Kumar, K. V. Sharma, N. Kedam, A. Patel, T. R. Kate, y U. Rathnayake, «A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies», *Smart Agricultural Technology*, vol. 8, p. 100487, ago. 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100487.

[85] L. Parri, S. Parrino, G. Peruzzi, y A. Pozzebon, «Low Power Wide Area Networks (LPWAN) at Sea: Performance Analysis of Offshore Data Transmission by Means of LoRaWAN Connectivity for Marine Monitoring Applications», *Sensors*, vol. 19, n.º 14, Art. n.º 14, ene. 2019, doi: 10.3390/s19143239.

[86] Siemens. (n.d.). TIA Portal: Software de automatización. Recuperado de <https://www.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/industry-software/automation-software/tia-portal/software.html>

[87] Siemens. (n.d.). TIA Portal: Software de automatización. Recuperado de <https://www.siemens.com/ar/es/productos/automatizacion/software-industrial/tia-portal.html>

[88] Arduino. (n.d.). Arduino Software (IDE). Arduino. <https://www.arduino.cc/en/software>

[89] Aguirre-Marroquin, J. D., & Medina-Sandoval, N. S. (2023). Sistema para irradiar cultivos con ondas de las tecnologías LoRa y wifi, que también permita su monitoreo en tiempo real.

[90] Peñaló, R., Santana, I., Ysabel, E., & Díaz, C. (2023). Análisis comparativo de tecnologías de acceso lora y wifi en agricultura de precisión aplicado en invernadero. Para pedidos y canjes, 140.

[91] Rentería-Manjarrez, R., Ortiz-Carrasco, C., & Gaxiola-Sánchez, O. I. (2024). Análisis Comparativo de Tecnologías Bluetooth, WiFi, ZigBee y LoRa con un Enfoque en la Implementación de una Red de Malla. *Revista ELECTRO*, 46(1), 148-153.

ANEXOS



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Tesis_Cesar Pérez_1234

8%
Textos sospechosos



3% Similitudes
2% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas

5% Idiomas no reconocidos

40% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: Tesis_Cesar Pérez_1234.pdf
ID del documento: bc05b2f41f8b45a938b6583ec2af6210d01dbb12
Tamaño del documento original: 3,75 MB

Depositante: CARLOS ALBERTO SALDAÑA ENDERICA
Fecha de depósito: 6/5/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 6/5/2025

Número de palabras: 20.347
Número de caracteres: 137.451

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dspace.ups.edu.ec Desarrollo de una red de sensores inalámbricos utilizando t... http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18469/1/UJPS-ST004461.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (55 palabras)
2	repositorio.uta.edu.ec Repositorio Universidad Técnica de Ambato: Sistema de ... https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/383557?locale=de 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (48 palabras)
3	repositorio.utn.edu.ec https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11887/2/04_RED_276_TRABAJO_GRADO.pdf 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (50 palabras)
4	Documento de otro usuario #4c339a El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (46 palabras)
5	cdtecnologia.net Sensor de Temperatura y humedad DHT22 https://cdtecnologia.net/sensores/61-sensor-de-temperatura-y-humedad-dht22.html 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (43 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.doi.org Adaptación de una metaheurística evolutiva para generar árboles ... https://www.doi.org/10.22395/RIUM.V15N29A4	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
2	es.slideshare.net Sensor DHT11.pdf https://es.slideshare.net/slideshow/sensor-dht11pdf/253105104	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (25 palabras)
3	Documento de otro usuario #4a16b7 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
4	oa.upm.es Lo que hemos aprendido de la (re)evolución de las 4.0: agricultura, tr... https://oa.upm.es/46869/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
5	repositorio.unp.edu.pe Implementación de un sistema automático de riego agr... http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3393	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://gredos.usal.es/handle/10366/149414>
- <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/135111>
- <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25103>
- <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/9800>
- <https://dehesa.unex.es:8443/handle/10662/21347>