



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales
no Renovables**

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

**Implementación de un Sistema de Riego Inteligente para Huertos
Familiares en la Parroquia San Pedro de Vilcabamba haciendo uso de
Tecnología IoT**

Trabajo de Titulación, previo a la
obtención del Título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones.

AUTOR:

Juan Enrique Alejo Palacios

DIRECTOR:

Ing. Marcelo Fernando Valdiviezo Condolo, Mg. Sc

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 25 de septiembre del 2024

Ing. Marcelo Fernando Valdiviezo Condolo, Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Implementación de un Sistema de Riego Inteligente para Huertos Familiares en la Parroquia San Pedro de Vilcabamba haciendo uso de Tecnología IoT**, previo a la obtención del título de Ingeniero en **Electrónica y Telecomunicaciones**, de la autoría del estudiante **Juan Enrique Alejo Palacios con cédula Nro. 1105207813**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Marcelo Fernando Valdiviezo Condolo, Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Juan Enrique Alejo Palacios**, declaro ser el autor del presente trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula: 1105207813

Fecha: 25 de septiembre de 2024

Correo electrónico: juan.alejo@unl.edu.ec

Teléfono: 0986683703

Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del Trabajo de Titulación.

Yo, **Juan Enrique Alejo Palacios**, declaro ser el autor del Trabajo de Titulación titulado: **Implementación de un Sistema de Riego Inteligente para Huertos Familiares en la Parroquia San Pedro de Vilcabamba haciendo uso de Tecnología IoT**, como requisito para optar al grado de: **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinticinco días del mes de septiembre del dos mil veinticuatro.

Firma:

Autor: Juan Enrique Alejo Palacios

Cédula: 1105207813

Dirección: Loja, (Barrio la Argelia)

Correo electrónico: juan.alejo@unl.edu.ec

Celular: 0986683703

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Marcelo Fernando Valdiviezo Condolo, Mg. Sc.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado, en primer lugar, a mi madre Rosa Palacios, a mi padre Javier Alejo (+) y mis hermanos, quienes con su apoyo incondicional me han ayudado a cumplir este anhelado propósito. Su afecto y guía han sido fundamentales en cada paso de mi formación. A mi compañera de vida, Lic. Ericka Guaman, y a mi hijo, Juan Diego Alejo Guaman, quienes son parte esencial de mi vida, mi inspiración y mi fuerza. Su constante apoyo y amor me han impulsado a alcanzar todas y cada una de mis metas propuestas. Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que me han colaborado y confiado en mí durante el proceso de realización de esta investigación. Su apoyo y confianza han sido cruciales para la culminación de esta investigación.

Juan Enrique Alejo Palacios

Agradecimientos

Primero, agradezco a Dios, quien me ha dado la fuerza y la fe para lograr esta meta. A mis queridos padres, por apoyarme en todos los aspectos cruciales para mi formación académica y profesional. Su constante compromiso ha sido fundamental para convertirme en una persona con valores y principios. A mi esposa e hijo, que siempre me han apoyado para cumplir uno de mis anhelos: obtener mi título. A la Universidad Nacional de Loja, por abrirme las puertas a la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones y, con perseverancia, darme la oportunidad de llegar hasta el último nivel. Agradezco a cada uno de mis docentes, quienes han impartido sus conocimientos y experiencias, especialmente a mi tutor, el Ing. Marcelo Fernando Valdiviezo Condolo, Mg. Sc, por brindarme su guía y apoyo en este camino hacia la culminación de este trabajo investigativo y, por ende, mi formación académica. Finalmente, agradezco a todas y cada una de las personas que me apoyaron y me extendieron su mano generosa de manera directa o indirecta durante el desarrollo de mi trabajo y en mi formación como futuro profesional.

Juan Enrique Alejo Palacios

Índice de Contenido:

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Índice de Contenido	vi
Índice de tablas:	ix
Índice de figuras:	x
Índice de Anexos:	xii
Acrónimos:	xiii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
CAPITULO I	8
4. Marco Teórico	8
4.1. <i>Sistema de riego</i>	8
4.1.1. <i>Introducción</i>	8
4.1.2. <i>Descripción de un sistema de riego</i>	8
4.1.3. <i>Tipos de sistemas de riego</i>	9
4.1.4. <i>Características hidráulicas del suelo</i>	12
4.1.5. <i>Variables ambientales que influyen en el control de riego</i>	14
4.1.6. <i>Sistema de riego automatizado</i>	20
4.1.7. <i>Componentes de un sistema de control automático del riego</i>	23
4.2. <i>Internet de las cosas IoT</i>	28
4.2.1. <i>Introducción</i>	28
4.2.2. <i>Concepto de IoT</i>	28
4.2.3. <i>Arquitectura del internet de las cosas</i>	29
4.2.4. <i>IoT en la agricultura para la recolección de datos</i>	30

4.2.6.	<i>Agricultura 4.0: la revolución IoT en el campo</i>	35
4.3.	<i>Tecnología Inalámbrica LoRa</i>	36
4.3.1.	<i>Introducción</i>	36
4.3.2.	<i>Descripción de la tecnología LoRa</i>	37
4.3.3.	<i>LoRaWAN</i>	39
4.3.4.	<i>Tecnología LoRa para agricultura inteligente.</i>	40
4.4.	<i>Elementos y equipos con tecnología Lora</i>	42
4.4.1.	<i>Gateway Lora</i>	42
4.4.2.	<i>Nodo Sensor</i>	43
4.4.3.	<i>Nodo Actuador</i>	43
CAPITULO II		44
5.	Metodología	44
5.1.	<i>Métodos de estudio</i>	44
5.2.	<i>Diseño Metodológico</i>	45
5.3.	<i>Variables ambientales</i>	47
5.4.	<i>Asesoría de un ingeniero agrónomo</i>	47
5.5.	<i>Medición de variables ambientales</i>	48
5.6.	<i>Análisis de pendiente del terreno</i>	49
5.7.	<i>Análisis de Tipo de suelo</i>	51
5.9.	<i>Equipos que se utilizar para el diseño del sistema</i>	53
CAPITULO III		72
5.11.	<i>Diseño e Implementación del Sistema de Riego</i>	72
CAPITULO IV		84
6.	Resultados	84
7.	Discusión	94
8.	Conclusiones	107
9.	Recomendaciones	108
10.	Bibliografía	109
11.	Anexos	114

Índice de tablas:

Tabla 1. Contenidos medios de agua útil para los cultivos.....	13
Tabla 2. Velocidades promedio de infiltración según la textura del suelo.....	14
Tabla 3. Especificaciones de LoRa.....	37
Tabla 4. Variables Ambientales Antes de la Implementación del Sistema.....	48
Tabla 5. Ingresos de producción.....	97
Tabla 6. Egresos de producción.....	98
Tabla 7. Consumo de Energía del Nodo Sensor	103
Tabla 8. Consumo de Energía del Nodo Actuador	105

Índice de figuras:

Figura 1. Sistema de riego superficial	9
Figura 2. Sistema de riego por aspersión.....	10
Figura 3. Sistema de riego por goteo.....	11
Figura 4. Humedad del suelo.....	15
Figura 5. Humedad ambiente	17
Figura 6. Medición de la temperatura en un cultivo.....	18
Figura 7. Clasificación del pH para la disponibilidad de nutrientes para las plantas	20
Figura 8. Esquema de un sistema de riego automatizado.....	21
Figura 9. Tipos de sensores electrónicos	23
Figura 10. Sensores utilizados para medir variables ambientales	24
Figura 11. Esquema de sistema de riego con actuadores	25
Figura 12. Esquema general del sistema de control automático	26
Figura 13. Capas de la arquitectura IoT	29
Figura 14. Tecnologías Inalámbricas en IoT	31
Figura 15. Modulación de espectro ensanchado.....	38
Figura 16. Sistema de riego inteligente con tecnología LoRa.....	41
Figura 17. Plan Metodológico	46
Figura 18. Parámetros importantes para cálculo de pendiente del terreno.....	49
Figura 19. Registro de Gateway Lora en plataforma The Things Network	63
Figura 20. Creación de aplicación para almacenamiento y procesamiento de datos ...	64
Figura 21. Registro de dispositivos finales.....	65
Figura 22. Plugin o complemento creado.....	66
Figura 23. Integración Ubidots-ttn mediante Webhook	67
Figura 24. Dispositivos ttn en ubidots	68
Figura 25. Variables de los nodos sensores.....	69
Figura 26. Dashboards de monitoreo y control	71
Figura 27. Delimitación del Área donde se implementó el sistema de Riego.....	73
Figura 28. Esquema del diseño de sistema de riego Inteligente.....	74
Figura 29. Excavación para distribución de matriz de agua y ductos eléctricos	75
Figura 30. Implementación matriz y ductos eléctricos del sistema de riego.....	76

Figura 31. Instalación de electroválvulas para el control del sistema de riego	77
Figura 32. Caja de control del sistema de riego	78
Figura 33. Instalación de manguera de goteo	79
Figura 34. Construcción de placas para los nodos finales	80
Figura 35. Construcción de las cajas de protección para los nodos sensores.....	81
Figura 36. Instalación de equipos red LoRaWAN	82
Figura 37. Instalación de nodos finales	83
Figura 38. Medición de variables con equipo de referencia.....	84
Figura 39. Valores medidos con el dispositivo de referencia y los nodos sensores	86
Figura 40. Huerto antes de implementar el sistema de riego inteligente.....	88
Figura 41. Huerto implementado sistema de riego inteligente.....	89
Figura 42. Funcionamiento del sistema.....	90
Figura 43. Nodo actuador vista interna	91
Figura 44. Nodo sensor vista interna	92
Figura 45. Nodo sensor vista externa	93
Figura 46. Tablero de monitoreo y control del sistema de riego IoT	94
Figura 47. Variación de humedad del suelo	95
Figura 48. Variación de la temperatura ambiente	96
Figura 49. Comportamiento de la luminosidad y radiación solar	96
Figura 50. Consumo de agua antes y después de la implementación del sistema.....	99
Figura 51. Tráfico de la red del sistema	100
Figura 52. Diagrama del circuito Nodo Sensor	102
Figura 53. Diagrama del circuito Nodo Actuador	104

Índice de Anexos:

Anexo 1. Manual de operación y mantenimiento.....	114
Anexo 2. Presupuesto	123
Anexo 3. Cobertura Gateway	125
Anexo 4. Código para decodificar la carga útil en The Things Network.....	126
Anexo 5. Código para decodificar la carga útil en Ubidots	127
Anexo 6. Código para Nodo Sensor.....	129
Anexo 7. Código para Nodo Actuador.....	133
Anexo 8. Certificación de traducción del Resumen	137

Acrónimos:

IoT *Del inglés: Internet Of Things (Internet de las cosas).*

LoRa *Del inglés: Long-Range Radio (radio de largo alcance).*

LPWAN *Del inglés: Low Power Wide Area Network (redes de área amplia y de baja potencia).*

MQTT *Del inglés: Message Queuing Telemetry Transport (protocolo de comunicación enfocada a la conectividad Machine-to-Machine).*

HTTP *Del inglés: HyperText Transfer Protocol ("Protocolo de transferencia de hipertexto).*

I2C *Del inglés: Inter-Integrated Circuit (circuito inter-integrado).*

TTN *Del inglés: The Things Network (La red de las cosas).*

JSON *Del inglés: JavaScript Object Notation (Notación de Objetos de JavaScript)*

1. Título

Implementación de un Sistema de Riego Inteligente para Huertos Familiares en la Parroquia San Pedro de Vilcabamba haciendo uso de Tecnología IoT

2. Resumen

El presente proyecto de investigación trata básicamente sobre el diseño y la implementación de un sistema de riego inteligente con tecnología IoT, este sistema permite el monitoreo y control de variables ambientales para el correcto desarrollo de los diferentes cultivos que se pueda sembrar en un huerto, el cual ha sido implementado en un huerto familiar ubicado en la parroquia San Pedro de Vilcabamba.

Se diseñó e implementó un sistema de riego automatizado utilizando sensores electrónicos confiables y de bajo costo, como el sensor de temperatura y humedad (DHT22), el sensor de humedad del suelo (EK1940) y el sensor de luminosidad (GY-30). Estos sensores se integraron con dispositivos que incorporan tecnología LoRa, como el módulo Cube-Cell (HTCC-AB02S) y el gateway Mikrotik kit WAP LR9, los cuales permiten la comunicación de baja potencia y largo alcance (LPWAN) entre los sensores y los actuadores. El sistema es monitoreado y controlado a través de la plataforma Ubidots, que recibe los datos mediante el protocolo HTTP desde la plataforma TTN, la cual actúa como el servidor de red (Network Server) del sistema.

El sistema se encuentra conformado por seis nodos de los cuales cuatro de ellos corresponden a nodos sensores que se encuentran distribuidos uno por cada parcela, un nodo actuador y un nodo central que sería la puerta de enlace con conexión a internet para la interacción con la base de datos.

Palabras Clave: IoT, LoRa, LPWAN, HTTP, TTN.

Abstract

The present research project deals basically with the design and implementation of an intelligent irrigation system with IoT technology, this system allows the monitoring and control of environmental variables for the proper development of different crops that can be planted in an orchard, which has been implemented in a family orchard located in the San Pedro de Vilcabamba parish.

An automated irrigation system was designed and implemented using reliable and low-cost electronic sensors, such as the temperature and humidity sensor (DHT22), the soil humidity sensor (EK1940) and the luminosity sensor (GY-30). These sensors were integrated with devices incorporating LoRa technology, such as the Cube-Cell module (HTCC-AB02S) and the Mikrotik WAP kit LR9 gateway, which enable low-power, long-range communication (LPWAN) between the sensors and actuators. The system is monitored and controlled through the Ubidots platform, which receives data through the HTTP protocol from the TTN platform, which acts as the system's Network Server (Servidor de red).

The system is formed by six nodes, of which four of them correspond to sensor nodes that are distributed one for each plot, an actuator node and a central node that would be the gateway with an internet connection for interaction with the database.

Keywords: IoT, LoRa, LPWAN, HTTP, TTN.

3. Introducción

La agricultura es el sector que más agua consume a nivel global, según estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas en lo que compete a la Alimentación y la Agricultura manifiesta que en todo el mundo el 70 % del agua dulce se utiliza solo para la agricultura. En la actualidad países como Perú, Brasil, Argentina, México, Bolivia, Colombia y Ecuador son solo algunos de los países afectados por sequías severas debido al cambio climático extremo, la disminución de las precipitaciones y sobre todo al desperdicio de este recurso hídrico.

Por otro lado, el Banco Mundial en estudios realizados con el propósito de un crecimiento económico y reducción de la pobreza en sus proyecciones indican que para el 2050 el planeta superara los 10 000 millones de habitantes y se estima que la producción agrícola tendrá que aumentar un 69% , esto resulta totalmente contradictorio ya que por un lado es necesario utilizar menos agua para fines agrícolas y por el otro se debe aumentar la producción agrícolas para satisfacer las necesidades alimenticias de todo la población mundial. Por esta razón tanto a nivel mundial, regional y local se debe tomar acciones inmediatas para optimizar el uso del agua y a su vez mejor la productividad.

El desconocimiento de las principales variables ambientales impide controlar las condiciones en las que se desarrolla el cultivo. Por lo tanto, es fundamental tener un fácil acceso a la visualización de estas variables en tiempo real. Esto facilita la toma de decisiones, permitiendo realizar un riego adecuado en el momento en que el cultivo lo necesite.

El agua es un recurso imprescindible y cada vez más escaso, por lo que se debe evitar malgastarla y trabajar para un uso sostenible y eficiente. Es por ello que el sistema de riego que se pretende realizar es innovador, puesto que, con la ayuda de sensores y actuadores, permitirá controlar el sistema de irrigación por secciones a través de goteo y aspersión, permitiendo a su vez una mejor gestión del uso del agua distribuyéndola de manera más uniforme. De igual forma, permite el monitoreo del estado de humedad por medio de una plataforma IoT, como lo es Ubidots, que, además de mostrar la información requerida respecto al cultivo, realizará el proceso de encendido y apagado de los actuadores que controlan la irrigación del mismo. Además, el

sistema de riego planteado cuenta con la ventaja de tener un fácil mantenimiento y no requiere de una gran inversión económica.

Considerando los procesos que se requieren para implementar un sistema de riego IoT, con el objetivo de aprovechar de mejor manera el agua y, a su vez, mejorar la productividad de los cultivos que se practican en esta parroquia del cantón Loja, se determina que la implementación de este sistema beneficia a gran parte de la población de San Pedro de Vilcabamba. Sus terrenos o fincas no cuentan con un control de riego tecnificado; el riego se realiza de dos maneras: por agua corrida o por aspersión, generando así un excesivo consumo del agua. Esto se da principalmente porque no se tiene un buen control de riego en áreas donde el recurso hídrico es escaso, como sucede en la mayoría de los terrenos que están ubicados en la parte alta de la parroquia, los cuales no cuentan con el servicio de canal de riego y utilizan el servicio de agua potable para regar sus huertos. Por esta razón, es necesario buscar una forma efectiva de realizar un buen uso del recurso hídrico. Con la finalidad de contribuir con todos los habitantes que se encuentran expuestos a esta limitante, se considera de vital importancia la implementación de un sistema de riego inteligente.

Ahora surge la interrogante crucial: ¿Cómo puede un sistema de riego inteligente utilizando tecnologías IoT optimizar el uso del agua y mejorar la productividad agrícola en los huertos familiares de San Pedro de Vilcabamba? Esta pregunta guía el presente proyecto de investigación, cuyo alcance abarca varios aspectos fundamentales incluyendo el diseño, implementación y validación de un sistema de riego inteligente en un huerto familiar, con la posibilidad de replicar este sistema en otras áreas con condiciones similares.

Para lograr la implementación del sistema de riego inteligente, se han planteado los siguientes objetivos. Como objetivo general, se busca implementar un sistema de riego inteligente utilizando tecnologías IoT, el cual permitirá el monitoreo en tiempo real de las variables ambientales, como la humedad del suelo, la temperatura y la luminosidad. Este sistema controlará de manera automática los procesos de irrigación en los huertos familiares de la Parroquia San Pedro de Vilcabamba, asegurando así una gestión eficiente del agua y mejorando la productividad agrícola.

Además, se han establecido tres objetivos específicos para alcanzar el objetivo general de manera efectiva. Primero, se procederá a identificar las variables ambientales críticas que deben considerarse para el riego adecuado de los diversos cultivos y se determinará la instrumentación necesaria, como sensores de humedad, temperatura, luminosidad y otros dispositivos de monitoreo, que serán fundamentales para el sistema de control y monitoreo.

Luego, se diseñará el funcionamiento de los sistemas de control, integrando los sensores y actuadores que se utilizarán para optimizar y controlar los recursos hídricos. La correcta integración de estos componentes permitirá una respuesta eficiente a las necesidades de riego de los cultivos.

Por último, se validará el sistema de riego automatizado mediante la evaluación de su impacto en la mejora del nivel de productividad de los cultivos y en la optimización del uso del agua. Se realizarán pruebas piloto en el huerto para medir el desempeño del sistema, comparando los resultados antes y después de su implementación. Este proceso de validación permitirá ajustar y perfeccionar el sistema, asegurando que cumpla con los objetivos propuestos.

El presente documento consta de cuatro capítulos en el primer capítulo se encuentra todo lo que tiene que ver con fundamentos teóricos, especificaciones y características de los equipos investigados para posteriormente utilizar para el diseño e implementación del sistema.

En el segundo capítulo se indica la parte del diseño del sistema, aquí se podrá encontrar el diseño hidráulico, electrónico y de red integrado en un solo diagrama. En este capítulo se detalla el cómo se realizó el diseño del sistema de riego inteligente de acuerdo a las condiciones que se tiene en el área a implementar.

El tercer capítulo se explica la metodología e instrumentación que se utilizó para el desarrollo del proyecto, aquí se dan a conocer los diferentes métodos de investigación, aplicación e implementación que fueron utilizados para realizar el monitoreo y control automático del sistema de riego.

En el cuarto y último capítulo, se expondrán los resultados obtenidos tras haber culminado la fase de implementación y haber evaluado minuciosamente el funcionamiento del sistema de riego basado en la Internet de las Cosas (IoT) durante un periodo que se extiende a lo

largo de más de 6 meses. Este periodo temporal se considera un marco adecuado y necesario para la recopilación de datos y análisis, permitiendo una visión completa y precisa de los beneficios que emergen de la implementación de esta avanzada tecnología de riego. En esta sección, se explorarán detenidamente los hallazgos, se abrirá espacio para la discusión de los resultados, se formularán conclusiones y se ofrecerán recomendaciones valiosas con el fin de arrojar luz verde sobre el impacto y el potencial futuro de este sistema de riego IoT.

CAPITULO I

4. Marco Teórico

4.1. Sistema de riego

4.1.1. Introducción

El agua es un recurso esencial en la agricultura, ya que su disponibilidad está directamente vinculada con la generación de nueva biomasa vegetal. Sin embargo, a pesar de ser un factor crucial, el agua se está volviendo cada vez más escasa, lo que hace que su uso eficiente sea de suma importancia. Por ello, la elección del sistema de riego adecuado en los ecosistemas agrícolas es vital. El riego se define como el método que proporciona agua a los cultivos para satisfacer las necesidades hídricas de las plantas, que no se cubren únicamente con las precipitaciones. Este suministro de agua puede aumentar la producción de una parcela, transformando áreas de secano en zonas de regadío (Adama, 2023).

Todo cultivo intercambia agua tanto con el suelo en el que crece como con la atmósfera que lo rodea. Del suelo obtiene el agua necesaria para su nutrición y luego la libera a la atmósfera mediante un proceso conocido como transpiración. Paralelamente, también ocurre la evaporación directa del agua del cultivo y de la superficie del suelo hacia la atmósfera. Ambos procesos se denominan evapotranspiración del cultivo. Los principales factores que pueden afectar la evapotranspiración incluyen la demanda evaporativa de la atmósfera, que está estrechamente relacionada con las condiciones meteorológicas del momento; la disponibilidad de agua en el suelo, que varía según las lluvias, el riego y las capas profundas; las características del cultivo, como el desarrollo foliar y radicular; y las propiedades hidráulicas del suelo, como su capacidad de almacenamiento de agua (Innovatine AgroFood Design, 2019, p. 1).

4.1.2. Descripción de un sistema de riego

Es un sistema que permite a los agricultores distribuir agua de manera uniforme en un campo de cultivos. Este sistema incluye varios componentes, que varían según el tipo de riego: superficial, por aspersión o por goteo. La complejidad de estos sistemas puede ir desde métodos manuales simples hasta sofisticados sistemas automatizados que emplean tecnología para

monitorear y ajustar el riego en función de condiciones específicas como la humedad del suelo, la temperatura y las necesidades de las plantas (Brown, 2018, p. 102).

4.1.3. Tipos de sistemas de riego

Para suministrar el vital recurso del agua a las plantas, se emplean diversos sistemas de riego, cada uno con características y aplicaciones específicas. Entre los más reconocidos y significativos se encuentran el riego por superficie, el riego por aspersión y el riego por goteo. A continuación, se explicarán en detalle estos sistemas, destacando sus principales ventajas y modos de operación.

4.1.3.1. Sistema de riego superficial.

Figura 1

Sistema de riego superficial



Nota. Esta figura representa la forma como se realiza el riego de cultivos de una manera tradicional como lo es el riego superficial o por agua corrida a través de surcos. Tomado de (freepik, 2023).

El sistema mostrado en la Figura 1, se podría considerar como el más antiguo y consiste en un método de riego basado en aplicar el agua al suelo por gravedad. Abarca una cantidad de sistemas diferentes, en los que el agua se aporta a la parcela y el suelo la distribuye a lo largo y ancho, cubriendo la totalidad del mismo o sólo parte de su superficie.

El riego por superficie está basado en el avance del agua e infiltración, desde cabecera de la parcela (o lugar de la parcela donde se vierte el agua) hasta el lugar donde normalmente llega un tiempo después, denominado cola, cubriendo en totalidad la superficie con agua, en diferentes tiempos. La cantidad de agua infiltrada va a depender de las características del suelo como también del tiempo de permanencia en cada lugar (Agr, MLI, 2019, sección Sistemas de Riego por Superficie o De Gravedad).

4.1.3.2. Sistema de riego por aspersión.

Figura 2

Sistema de riego por aspersión



Nota. Esta gráfica muestra como se hace uso de una red de tubería que proporciona agua a los cultivos en forma de lluvia gracias a la presión de agua que circula por la red. Tomado de (Arkiplus, 2024)

El sistema de riego por aspersión es uno de los múltiples métodos de riego de cultivos que existen en la actualidad. Consiste en aplicar el agua imitando la lluvia, es decir, mediante un chorro de agua pulverizada en gotas (Figura 2). El mecanismo funciona a través de una red de tuberías que transporta el agua hasta los aspersores, los cuales utilizan la presión de la misma para dispararla. En algunos casos en donde la presión de agua no es suficiente para hacer

funcionar este sistema debido a factores como la pendiente del terreno, el riego como tal se lo puede realizar a través de un sistema de bombeo (MADENSA, 2021).

Ventajas de un sistema de riego por aspersión

- Hay un control mayor en la dosificación del agua.
- La distribución del agua sobre las plantas y los cultivos es bastante homogénea y puede ser controlada con la velocidad de la aspersión.
- Presentan un menor consumo de agua que, por ejemplo, los sistemas de riego superficial.

4.1.3.3. Sistema de riego por goteo.

Figura 3

Sistema de riego por goteo



Nota. Esta gráfica representa la forma como se realiza el riego por goteo, se trabaja de una forma más precisa y se evita el desperdicio del agua. Tomado de (Pineda, 2022).

En la Figura 3 se muestra el funcionamiento de este sistema, consiste en que el agua y los nutrientes se entregan en el campo a través de un sistema de tuberías llamados “Mangueras de goteo”, las cuales contienen pequeños dispositivos llamados “goteros”. Cada gotero emite un flujo controlado de gotas que contienen agua y fertilizantes, resultando en una uniforme

aplicación de agua y nutrientes directamente a la zona radicular de cada planta a lo largo de todo el sector implementado este sistema (Netafim-Radagricola, 2020).

El riego por goteo es el más eficiente método de suministro de agua y nutrientes a los cultivos. Entrega el agua y fertilizantes directamente a la zona radicular del cultivo, en la cantidad correcta y en el momento adecuado, por lo tanto, cada planta recibe exactamente lo que necesita, cuando lo necesita para desarrollarse óptimamente. Gracias al riego por goteo, los productores pueden tener mejores rendimientos mientras ahorran agua, así como fertilizantes, energía e incluso agroquímicos.

Ventajas de un sistema de riego por goteo

- Garantiza el crecimiento adecuado de las raíces
- Eficiencia de 95%.
- Mantiene la humedad constante, renueva el volumen de agua que se pierde por el proceso de evapotranspiración.
- Permite el uso de fertilizantes en el agua de riego.
- Bajo consumo de agua y alta eficiencia

4.1.4. Características hidráulicas del suelo

Innovatine AgroFood Design. (2019) manifiesta que “el suelo agrícola puede decirse que se comporta de manera semejante a un depósito de agua, al cual las plantas tienen acceso en mayor o menor medida. Por ejemplo, tras un riego abundante, el suelo se encuentra en su capacidad de campo, es decir, con el máximo de volumen de agua que puede retener. A medida que avanzan los días, si no hay un nuevo ciclo de riego o no se producen precipitaciones, el agua del suelo poco a poco se va perdiendo por el fenómeno de evapotranspiración, previamente mencionado. Durante los primeros días a las plantas no les supone prácticamente ningún esfuerzo para absorber el volumen de agua necesario, sin embargo, con el paso del tiempo, el esfuerzo va siendo cada vez mayor, hasta que el potencial productivo de la planta llega a mermar, independientemente de la situación en que se encuentre respecto a otros factores. En ese preciso momento es cuando sería necesario aplicar un nuevo riego, puesto que de dejar que el agua siga agotándose en el suelo, llegará un día en el cual el estrés hídrico sufrido sea tan alto que se

produzca una desecación de parte del sistema foliar de la planta, pudiendo llegar incluso a la muerte total de la misma. El volumen de agua contenido en el suelo en ese momento recibe el nombre de punto de marchitez”.

Las dosis de riego máxima dependen del volumen de agua útil que es capaz de retener el suelo, de la profundidad radicular efectiva de cada cultivo y de la cantidad de agua útil que puede agotarse sin que el potencial productivo se vea mermado. El aprovechamiento del volumen de agua almacenado va a depender del propio cultivo, de su superficie foliar y, sobre todo, del desarrollo y profundidad de su sistema radicular. En la mayor parte de los cultivos de tipo herbáceo la profundidad efectiva de las raíces se encuentra entre los 50 y 100 centímetros. En la Tabla 1, se presenta información en donde dependiendo de la textura del suelo, se definen los contenidos medios de agua útil para los cultivos por cada metro de profundidad (Innovatine AgroFood Design, 2019).

Tabla 1

Contenidos medios de agua útil para los cultivos

TEXTURA DEL SUELO	Lts/M ² EN UN METRO DE PROFUNDIDAD
Arenoso	62
Arenoso-franco	103
Arcilloso-franco	136
Franco-arenoso	140
Franco-Arcilloso	146
Franco	158
Arcilloso-limoso y limoso-arcilloso	177
Arcilloso	187
Limoso	192
Arcilloso fino	208

Nota. El suelo según su textura y profundidad contiene cierta cantidad de agua que es aprovechada por el cultivo que van desde los 62 litros en suelo Arenoso hasta 208 litros en suelo Arcilloso fino. Adaptada de (Innovatine AgroFood Design, 2019).

Otro aspecto importante que se debe considerar al diseñar un sistema de riego es la capacidad de infiltración del suelo. Es fundamental que la cantidad de agua aportada por las precipitaciones o el sistema de riego no exceda esta capacidad, ya que hacerlo provocaría problemas de encharcamiento y escorrentías superficiales. Estos problemas no solo pueden afectar negativamente a las plantas, sino también contribuir a la erosión del suelo y a la pérdida de nutrientes. A continuación, se presenta una tabla (Tabla 2) que ilustra las velocidades promedio de infiltración según la textura del suelo, lo cual es esencial para planificar un riego eficiente (Innovatine AgroFood Design, 2019).

Tabla 2

Velocidades promedio de infiltración según la textura del suelo.

TEXTURA DEL SUELO	Lts/Hora
Arenoso	12-25
Franco-arenoso	8-12
Franco	7-12
Franco-limoso	7-10
Franco-arcilloso	6-8
Arcilloso	2-5

Nota. El suelo según su textura permite la infiltración de agua desde los 12-25 litros por hora en suelo Arenoso hasta 2-5 litros por hora en suelo Arcilloso fino. Adaptada de (Innovatine AgroFood Design, 2019).

4.1.5. Variables ambientales que influyen en el control de riego

Conocer, monitorizar y registrar aquellos datos y eventos que nos rodean permiten analizar, prever y conocer las tendencias de éstos en un futuro. Además, la monitorización de datos recogidos a través de sensores ubicados de forma estratégica en los campos permite ayudar a los agricultores a obtener mejores resultados y beneficios (Martínez, 2018).

Cuando se desea automatizar un sistema de riego en el cual se busca tener un sistema autónomo y eficiente, se debe tener en cuenta aspectos que ayuden a la toma de decisiones con respecto a cuando, donde y que cantidad de agua es necesario para que un cultivo se desarrolle

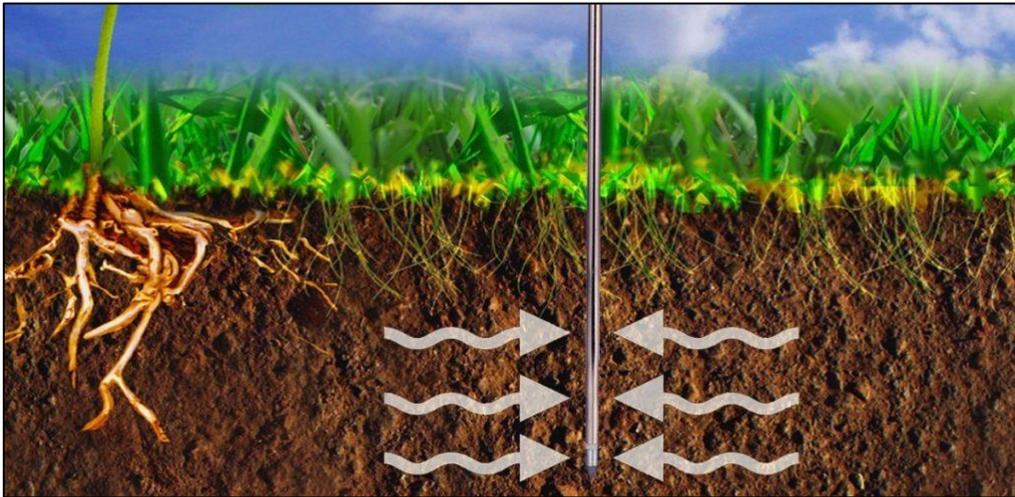
de forma adecuada, ya que la falta de humedad como el exceso de humedad afectan directamente en el desarrollo y buen estado de un cultivo.

Para poder automatizar un sistema de riego de una forma que trabaje en función de las condiciones ambientales que se encuentre el cultivo es necesario considerar variables ambientales como son la humedad del suelo, la temperatura y humedad ambiente, luminosidad y el PH del suelo, una vez obtenidos estos datos por medio de sensores es posible monitorear y controlar dichos parámetros y de esta forma suministrar el riego de forma eficiente en el lugar, tiempo y cantidad exacta.

4.1.5.1. *Humedad del suelo*

Figura 4

Humedad del suelo



Nota. Esta gráfica muestra cómo se comporta la humedad del suelo. Tomado de (Portalfruticola.com, 2018).

El contenido de humedad del suelo determina la cantidad de agua presente en el suelo y el potencial de humedad muestra el grado en que el agua se adhiere a las partículas del suelo, ya que afectan el contenido de aire del suelo y salinidad (Figura 4). Los valores de contenido y potencial de humedad son importantes de conocer en un sistema agrícola, con ello establecer la frecuencia de los riegos y la cantidad de agua aplicada, para cada especie de planta (Tecnología, 2021).

La humedad del suelo es fundamental para el desarrollo vegetal, ya sea en cultivos a gran escala, huertos familiares, plantas de interior o pastos. Mantener niveles adecuados de humedad en el suelo es esencial para el crecimiento saludable de las plantas y un alto rendimiento de los cultivos. Para las plantas, el agua no solo reestablece la humedad, sino que también actúa como regulador de la temperatura. Durante la termorregulación, las plantas evaporan hasta el 99% del agua que absorben, utilizando solo entre el 0.2% y el 0.5% para la formación de biomasa. Por lo tanto, es evidente que las plantas tienen distintas necesidades de humedad según las condiciones climáticas y las etapas de crecimiento (Cherlinka, 2020).

a) Beneficios del monitoreo de la humedad

- Igualar requerimientos de agua del cultivo con la cantidad aplicada,
- Evitar pérdida de agua por percolación o escurrimiento,
- Ahorro en el consumo de energía,
- Evitar la erosión y transporte de suelo,
- Optimizar la producción y
- Reducir el impacto ambiental.

b) Métodos para determinar la humedad del suelo

• **Método directo**

Este método consiste en la extracción de agua de una muestra, el cálculo se basa en el peso de agua extraída y el nivel de sequedad, utilizar sensores que brindan la información al instante.

$$\text{Contenido gravimétrico de agua (\%)} = \frac{\text{peso suelo humedo} - \text{peso suelo seco}}{\text{peso suelo seco}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Contenido volumétrico de agua (\%)} = \frac{\text{Densidad aparente}}{\text{Densidad agua}} \times \text{Contenido gravimétrico de agua} \quad (2)$$

• **Método indirecto**

Es por lo contrario del método anterior, se basa en medir las características del suelo en función del contenido de humedad.

Existen diversos equipos que permiten la medición de humedad en el suelo de los cuales se destacan dos tipos:

Sensores de humedad del suelo: equipos que utilizan varillas instaladas a lo largo de la zona de cultivo y con solo un equipo brinda información de diversos indicadores como la humedad, conductividad eléctrica, coordenadas, entre otras, y se puede utilizar en diferentes tipos de suelos.

Sensores de tensión del agua del suelo: son equipos que se colocan en el suelo y miden la tensión real del agua, lo que significa el esfuerzo que realiza el sistema radical para obtener el agua, para obtener un valor significativo se requieren de varios equipos instalados en el predio y selección acorde al tipo de suelo (Tecnología, 2021).

4.1.5.2. Humedad ambiente

Figura 5

Humedad ambiente



Nota. Esta gráfica muestra la condensación del vapor de agua en la atmósfera sobre los cultivos. Tomado de (opcionrural.com, 2022).

La humedad ambiente o también conocida como humedad del aire se considera a la cantidad de gramos de agua existente en un litro de aire (humedad relativa), en la agricultura es más común la medición de la humedad relativa y básicamente consiste en la relación entre la cantidad de agua que posee el aire y la cantidad máxima de agua que puede retener el aire en una temperatura en específico (Figura 5).

A medida que la temperatura aumenta el aire puede tener más humedad por lo contrario cuando la temperatura baja la capacidad de retener humedad se ve afectada obteniendo un rendimiento bajo, partiendo de esta afirmación se puede decir que al mantener constante la cantidad de agua por litro de aire, la humedad relativa es menor a temperatura alta y será mayor cuando la temperatura baja.

4.1.5.3. *Temperatura ambiente*

La temperatura es un parámetro fundamental de la agricultura, pues dependiendo del calor que pueda proporcionar, la germinación y el desarrollo de la planta tendrá más o menos éxito. Es un valor cambiante, pues la temperatura del suelo para sembrar maíz no es la misma que para sembrar vegetales o legumbres y también afecta a los microorganismos que lo pueblan (Cherlinka, 2021).

Figura 6

Medición de la temperatura en un cultivo.



Nota. Esta gráfica muestra la medición de temperatura en un cultivo para poder tomar decisiones sobre acciones que se puede realizar sobre este. Tomado de (termometrodigital.info, 2022).

Los valores de temperatura varían en función de la estación y la radiación solar, con lo cual los agricultores deben buscar el momento ideal para tomar decisiones y programar sus actividades (Figura 6). La temperatura influye significativamente en las propiedades biológicas,

químicas y físicas de los suelos, ya sea aumentando o disminuyéndolas. Por esta razón, la temperatura del suelo es un tema de gran interés en diversas disciplinas científicas, incluyendo la biología, física, química, ecología, agricultura y economía (Cherlinka, 2021).

La temperatura del suelo impacta directamente a las plantas. El calor facilita el desarrollo vegetal, favoreciendo la absorción de agua y nutrientes y promoviendo el crecimiento general. Por otro lado, las bajas temperaturas dificultan la absorción de agua debido a su mayor viscosidad y ralentizan la fotosíntesis. Además, el frío afecta negativamente a la actividad de los microorganismos del suelo, reduciendo el metabolismo y la liberación de nutrientes esenciales, así como su disolución. Por lo tanto, en suelos fríos, las plantas disponen de menos agua y nutrientes (Cherlinka, 2021).

4.1.5.4. Luminosidad

Las plantas utilizan la luz como fuente de energía para la fotosíntesis, un proceso en el que el dióxido de carbono y el agua reaccionan en presencia de luz para generar carbohidratos y oxígeno. La velocidad de la fotosíntesis está fuertemente influenciada por la cantidad de luz disponible; este proceso se acelera con un aumento en la radiación fotosintéticamente activa (RFA).

Los carbohidratos producidos durante la fotosíntesis son almacenados y utilizados por las plantas como fuente de alimento. Cada especie de planta inicia el proceso de fotosíntesis a diferentes niveles de energía lumínica, conocido como el punto de compensación de la luz. Este punto se alcanza cuando la energía lumínica es suficiente para que la actividad fotosintética produzca más oxígeno del que la planta necesita para la respiración. En otras palabras, la cantidad de dióxido de carbono liberado durante la respiración de la planta debe ser menor que la cantidad total de dióxido de carbono utilizado en la fotosíntesis. (Lopez, 2020).

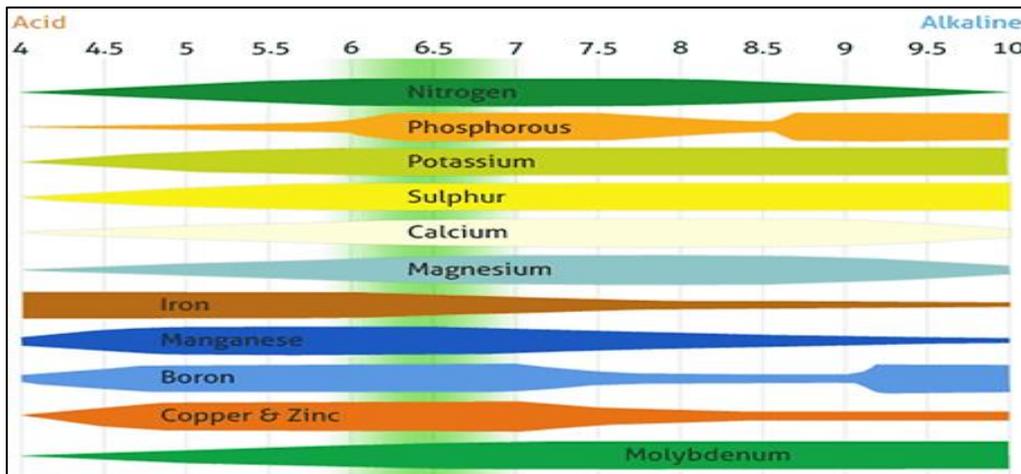
4.1.5.5. El PH del suelo

El pH del suelo es una medida que indica si el suelo es ácido o alcalino. Este valor influye significativamente en la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas. Tal como se muestra en la Figura 7, la escala de pH varía de 4 a 10, con el 7 representando la neutralidad. Valores por debajo de 7 indican un suelo ácido, mientras que valores por encima de 7 señalan un

suelo alcalino. Además, el pH puede afectar la actividad microbiana y la estructura del suelo, impactando así la salud general de las plantas. Es crucial monitorizar y ajustar el pH del suelo para optimizar el crecimiento vegetal y maximizar la absorción de nutrientes (Williamson, 2012).

Figura 7

Clasificación del pH para la disponibilidad de nutrientes para las plantas



Nota. Esta gráfica muestra el rango de pH en el que cada nutriente de las plantas se encuentra. Tomado de (Lomelí, 2022).

El pH del suelo es una de las muchas condiciones ambientales que mejora la calidad del crecimiento de la planta. El pH ideal varía dependiendo de la planta. Plantas como arándanos y coníferas crecen mejor en suelos ácidos (pH 5.0 a 5.5). Otros tipos de plantas como la mayoría de los vegetales, césped y ornamentales crecen muy bien en suelos moderadamente ácidos (pH 5.8 a 6.5). Los suelos con valores de pH menores o mayores a estos rangos pueden resultar en crecimientos menos vigorosos y en deficiencias de nutrientes (Kluepfel, 2012).

4.1.6. Sistema de riego automatizado.

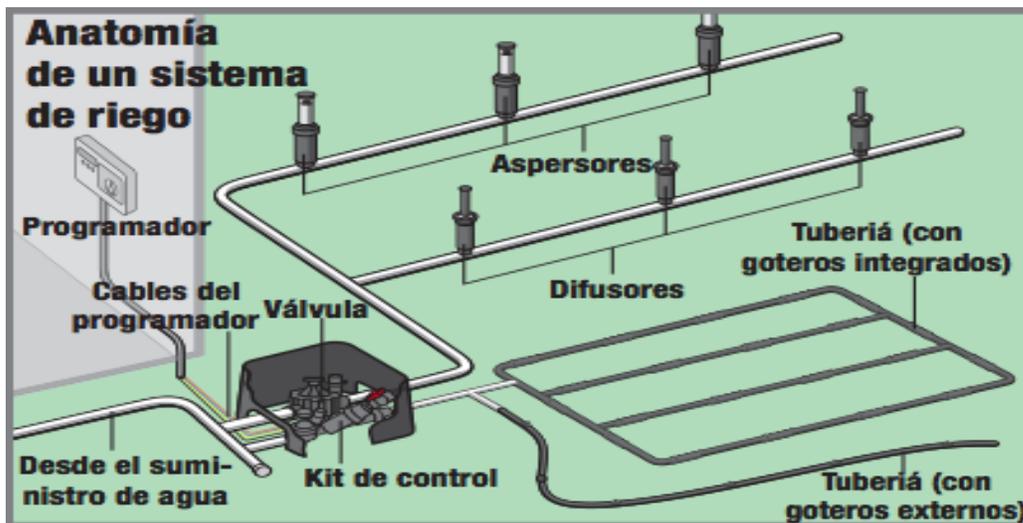
Hoy en día, hay una gran variedad de métodos disponibles para instalar sistemas de riego automatizados, lo que ha incrementado su uso debido a los numerosos beneficios que ofrecen. Estos sistemas proporcionan agua a los cultivos de manera automática, utilizando comúnmente la técnica de aspersión o goteo. También existen sistemas automáticos que integran ambas técnicas, aprovechando así las ventajas de cada una. La adopción de estos sistemas se ha vuelto

más común debido a su eficiencia en la gestión del riego y la optimización de los recursos hídricos (Electrónica, 2019).

En la Figura 8, se presenta un sistema de riego automatizado. Sus componentes clave abarcan un programador que gestiona la irrigación basada en el tiempo, así como un completo kit de control equipado con actuadores de precisión, encargados de ajustar el flujo de agua de acuerdo con la programación preestablecida. Lo que hace que este sistema sea excepcional es su carácter híbrido, que combina de manera ingeniosa las ventajas tanto del riego por aspersión como del riego por goteo. Esta innovadora fusión permite una distribución uniforme del agua, optimizando el consumo y asegurando un riego adecuado para una amplia variedad de cultivos y condiciones ambientales, lo que lo convierte en una elección sobresaliente para la agricultura moderna.

Figura 8

Esquema de un sistema de riego automatizado



Nota. Esta gráfica muestra un esquema de la anatomía de un sistema de riego automatizado conformado por el suministro de agua, el programador, el kit de control y los sistemas de riego por goteo y aspersión. Tomado de (tornado.com, 2020).

La automatización de un sistema de riego permite economizar tiempo y recursos ya que un sistema automatizado no requiere de la intervención humana para su funcionamiento, la

automatización de riego está basada en un conjunto de subsistemas que se acoplan con el propósito de brindar un adecuado proceso de irrigación en los cultivos, este proceso se lo puede realizar de diferentes formas entre ellas establecer un horario en el cual se active y desactive el sistema pero esto no sería la forma más adecuada de aprovechar los recursos, en la actualidad es posible automatizar un sistema en relación a las variables ambientales que influyen en el desarrollo de la planta ofreciendo así una mejor toma de decisiones a la hora de ejecutar este proceso de forma autónoma(Electrónica, 2019).

Ventajas de emplear el riego automático

- *Fácil instalación.* El sistema de riego automático se instala de manera sencilla en cualquier tipo de terreno, aunque requiere de un profesional especializado en la materia, que sepa de cómo instalarlo para un riego adecuado.
- *Compatibilidad con emisores de cualquier tipo.* Es decir, podrás emplear un sistema de riego automatizado tanto con aspersores, micro aspersores, goteo, difusores, etc. Su compatibilidad, lo hacen apto para todos ellos.
- *Ahorra tiempo y esfuerzo.* Una de las grandes ventajas es que no tendrás que ocuparte personalmente de realizar el riego ya que este método de riego lo hace de manera automática.
- *Control de la frecuencia de riego.* Gracias a este sistema, se puede tener el completo control en todo momento de la frecuencia de riego, evitando posibles pérdidas innecesarias o momentos no adecuados para su realización.
- *Simplicidad.* El control y manejo de un sistema de riego de este tipo es fácil y podrás configurarlo sin ningún tipo de problema. Asimismo, dispondrás de una completa flexibilidad para poder realizar los cambios que consideres necesarios, en función de cada momento o estado del cultivo.
- *Riego programado.* En estos sistemas, contarás con la integración de programadores de riego que activarán o desactivarán de manera automática el sistema de riego, según los criterios que hayas seleccionado. De esta forma, podrás aprovechar momentos del día más óptimos, para realizar el riego.

- *Mantenimiento fácil.* Aunque son diversos los elementos que componen un sistema de riego automático, su mantenimiento es sencillo y no supone demasiados recursos de tiempo o económicos (Electrónica, 2019).

4.1.7. Componentes de un sistema de control automático del riego.

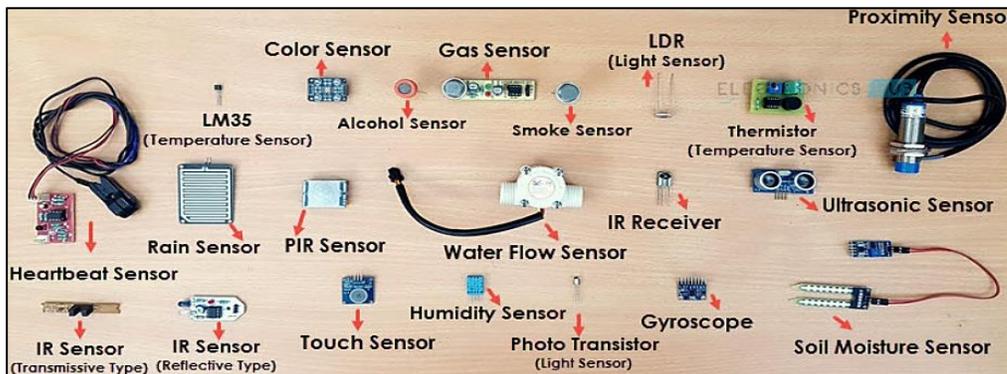
La concepción de un sistema de control automático de riego altamente práctico implica la integración de diversos elementos esenciales. Entre estos, se encuentran los sensores, encargados de medir variables y propiedades del suelo como por ejemplo la humedad, los actuadores que ajustan el flujo de agua, las unidades de control que coordinan las operaciones, los sistemas de protección para prevenir fallos y los sistemas de comunicación que permiten la monitorización y el control remotos, todos estos componentes son fundamentales para optimizar la gestión hídrica en la agricultura ya sea está a pequeña o gran escala.

4.1.7.1. Sensores.

Los sensores y actuadores son una parte indispensable de cualquier sistema control automatizado. Los sensores son dispositivos electrónicos que tienen la capacidad de medir magnitudes físicas como la temperatura, iluminación, humedad, movimiento, presión, entre otros; y capaz de convertir el valor medido en una señal eléctrica ya sea analógica o digital para su posterior procesamiento (García, 2020, p 32).

Figura 9

Tipos de sensores electrónicos



Nota. La gráfica indica los diferentes sensores electrónicos que son utilizados en diversos ámbitos de la automatización. Tomado de (prototipadolab.com, 2018).

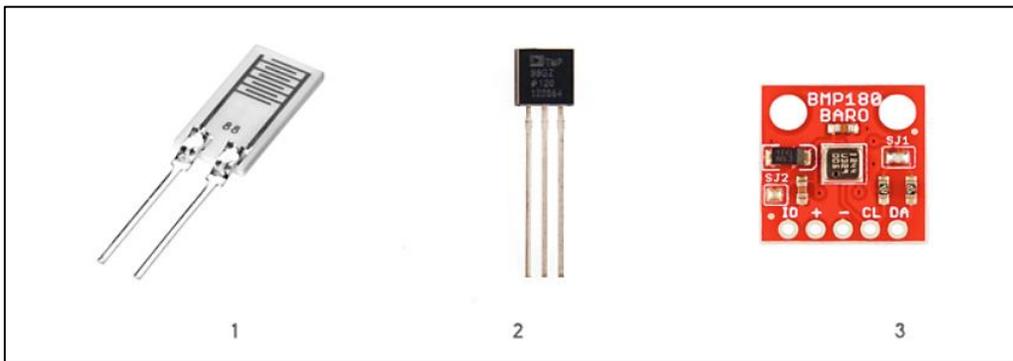
La Figura 9, exhibe una gama diversa de sensores electrónicos de uso frecuente, fundamentales en una amplia variedad de proyectos relacionados con la monitorización de variables críticas para la automatización de procesos en diversos campos. Los sensores de humedad y temperatura desempeñan un papel fundamental en la automatización del riego y en la mejora de la eficiencia en la gestión de recursos hídricos en agricultura y otros sectores industriales.

4.1.7.1.1. *Sensor de humedad*

Los sensores de humedad son aquellos que miden el nivel de líquido o la humedad relativa en un área específica, permiten controlar la humedad del suelo y cualquier tipo de superficie. La medición entregada por el sensor de humedad se transforma en una señal eléctrica análoga y digital según su principio de funcionamiento.

Figura 10

Sensores utilizados para medir variables ambientales



Nota. Esta gráfica muestra tres tipos de sensores diferentes: 1 sensor de humedad, 2 sensor de temperatura y 3 sensor barométrico. Tomado de (prototipadolab.com, 2018).

Los sensores de humedad como el sensor mostrado en la Figura 10 numeral uno, miden una señal eléctrica que calcula la cantidad de agua en el suelo, lo cual permite determinar el volumen de agua almacenado en éste después de un riego o una lluvia, calcular el consumo de agua por el cultivo en un día o una semana y determinar la eficiencia del riego (García, 2020).

4.1.7.1.2. Sensor de temperatura

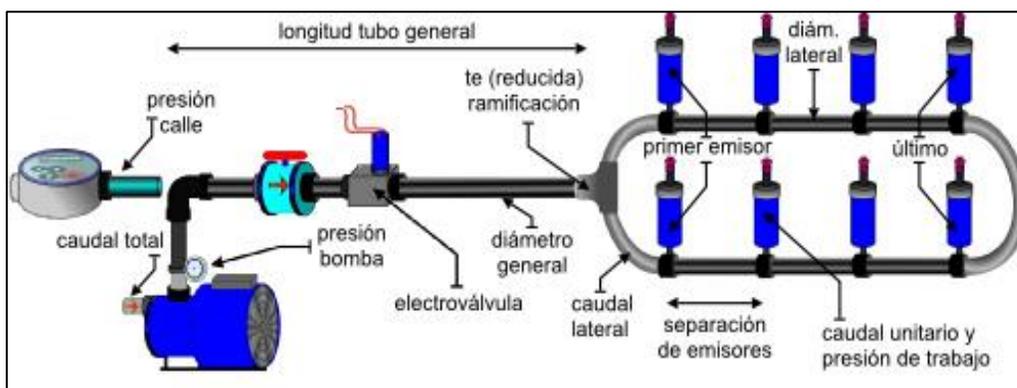
El sensor de temperatura mostrado en Figura 10 numeral dos se usa para medir la temperatura de una superficie, del aire o de un cuerpo. Existen distintos tipos de sensores de temperatura según su principio de funcionamiento.

- Termistor. Semiconductor que se comporta como un "resistor térmico". Cuando se presenta un cambio pequeño de temperatura se evidencia un gran cambio en el valor de su resistencia. Generalmente son fabricados con materiales de óxido metálico y una mezcla de metales.
- Termopar. Un termopar es un tipo de sensor que mide la temperatura, el cual suministra una señal de tensión eléctrica que se relaciona directamente y depende de la temperatura. Este tipo de sensor no necesita una fuente de alimentación externa constante para su funcionamiento.
- Detector Resistivo de Temperatura (RTD). Es un dispositivo común para realizar mediciones de temperatura en una gran variedad de aplicaciones industriales (García, 2020, p 32).

4.1.7.2. Actuadores

Figura 11

Esquema de sistema de riego con actuadores



Nota. La gráfica representa la forma como funciona un sistema de riego empleando actuadores como bomba y electroválvula. Tomado de (PortalFruticola.com, 2017).

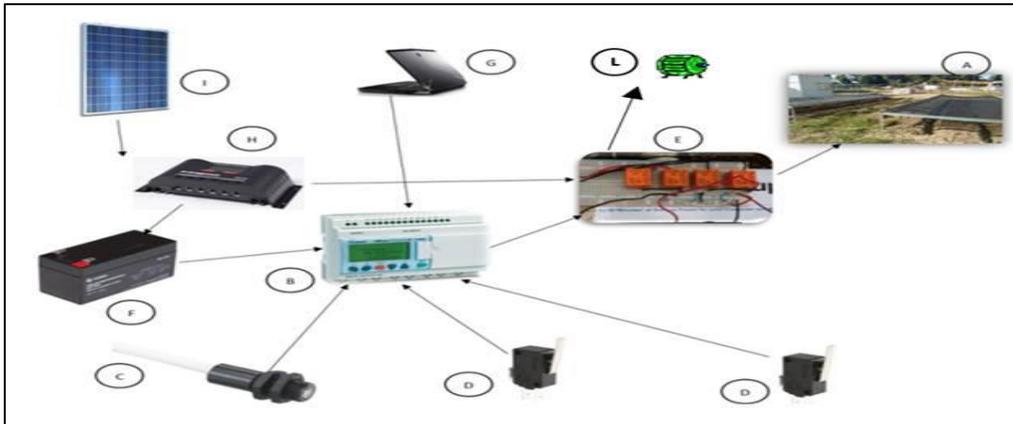
El esquema representado en la Figura 11, muestra un sistema de riego automatizado. Para controlar su funcionamiento, este sistema está equipado con dos tipos de actuadores: la electrobomba, responsable de impulsar el agua a través de todo el sistema de riego, y la electroválvula, encargada de regular el flujo de agua.

Un actuador es un dispositivo que transforma energía en movimiento o fuerza. Este aparato obtiene energía de una fuente específica, como aire, líquido o electricidad, y la convierte en el movimiento necesario. Los tipos básicos de movimiento que se buscan son lineal y rotativo, aunque el movimiento oscilatorio también es frecuente. Los actuadores funcionan como las "manos" de un sistema de control, permitiendo que se realicen las modificaciones necesarias. Se utilizan comúnmente en aplicaciones industriales y de manufactura, en dispositivos como válvulas, motores, interruptores y bombas, que dependen en gran medida de ellos. Cada tipo de actuador tiene diferentes versiones y se presenta en variados tamaños, estilos y modos de operación, adaptándose a las necesidades específicas de cada aplicación (Especificicar, 2023).

4.1.7.3. Unidades de control

Figura 12

Esquema general del sistema de control automático



Nota. La gráfica representa las partes que conforma un sistema de control automático: A) malla sombra con motores; B) PLC; C) sensor de luz; D) sensores de posición; E) puente H; F) baterías; G) laptop; H) controlador; I) panel solar y L) motor de riego. Tomado de (Cañtens, 2018).

Una unidad de control en automatización es un dispositivo o conjunto de dispositivos que se encargan de regular y gestionar el funcionamiento de un sistema automatizado (Figura 12). Su principal función es recibir información de sensores, procesar estos datos según los parámetros programados y enviar señales de control a actuadores para mantener las variables del sistema dentro de los límites deseados. Estas unidades son esenciales en diversas aplicaciones industriales y agrícolas, ya que permiten la operación eficiente y precisa de sistemas complejos, minimizando la intervención humana y optimizando el rendimiento y uso de recurso (Oposinet, 2024).

4.1.7.4. Microcontroladores.

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico diseñado para ejecutar procesos lógicos con el objetivo de llevar a cabo una tarea específica. Estas tareas deben ser programadas por el usuario utilizando un lenguaje de programación. Los microcontroladores integran en un solo chip un procesador, memoria y periféricos, lo que les permite controlar sistemas electrónicos complejos de manera eficiente y autónoma. Gracias a su capacidad de procesamiento y su flexibilidad, los microcontroladores se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones, desde electrodomésticos y dispositivos médicos hasta sistemas automotrices e industriales. Su programación puede ser ajustada para responder a diferentes entradas y condiciones, haciendo posible la automatización y el control preciso de múltiples funciones dentro de un sistema (Microcontroladores,2008).

4.1.7.5. Sistemas de protección

Según Pepeenergy (2024), un sistema de protección en el sector eléctrico se emplea para salvaguardar las instalaciones y equipos contra posibles fallos o daños. Estos sistemas tienen la función de aislar la zona afectada por el fallo con el propósito de prevenir su propagación y la ocurrencia de consecuencias más severas. Además, garantizan la continuidad del suministro eléctrico al intervenir rápidamente para minimizar el tiempo de inactividad. De esta manera, se logra reducir al mínimo el riesgo de dañar otras partes de los equipos eléctricos relacionados. La función de un sistema de protección es fundamental para erradicar el mal funcionamiento del circuito eléctrico del sistema y proveer información detallada sobre el fallo y su localización, lo cual permite una pronta respuesta y reparación.

4.1.7.6. Sistema de comunicación

Los sistemas de comunicación representan el núcleo fundamental de cualquier estructura en sistemas de automatización. Estos sistemas ofrecen un medio sumamente eficaz para el intercambio de datos, permitiendo un control riguroso de la información y proporcionando una notable flexibilidad para la interconexión de múltiples dispositivos. La comunicación se define como el proceso de intercambio de información entre dos o más entidades. En este proceso, la información se transfiere de una parte a otra, que luego la recibe, procesa y decide si almacenarla o descartarla según su importancia. En el contexto de la automatización, este intercambio se realiza a través de un sistema de comunicación. Dicho sistema puede operarse localmente mediante un PC por el programador, o bien de manera remota a través de internet y/o mediante la telefonía móvil utilizando mensajes SMS (Aula21, 2023).

4.2. Internet de las cosas IoT

4.2.1. Introducción

Actualmente, el Internet de las Cosas (IoT) ha cobrado una relevancia notable en la industria tecnológica, las políticas públicas y los círculos de ingeniería. Gracias a los avances en la tecnología, es cada vez más sencillo diseñar sistemas que permiten la interacción autónoma entre dispositivos. Esta tecnología se manifiesta en una variedad de productos, sistemas y sensores interconectados, que utilizan los progresos en la capacidad de cómputo, la miniaturización de componentes electrónicos y las redes de comunicación para ofrecer capacidades innovadoras que antes no eran posibles (Rose, 2017).

4.2.2. Concepto de IoT

El concepto teórico se fundamenta en la incorporación de sensores y conectividad a cualquier objeto. Eventualmente, estos objetos también pueden integrar capacidades de procesamiento propias, aunque esto no es esencial para ser considerados parte del Internet de las Cosas (IoT) (Martínez, 2017).

Esto proporciona a los objetos conectados la capacidad de desarrollar un cierto nivel de inteligencia, similar a lo que ya hemos visto con nuestros teléfonos móviles, que se han convertido en smartphones, y más recientemente, con nuestros televisores, que ahora se conocen

como smart TVs. Esta evolución permite que dispositivos de diversos tipos integren funciones inteligentes, mejorando significativamente su funcionalidad y usabilidad en nuestra vida diaria (González, 2016).

El Internet de las Cosas tiene la capacidad de interconectar diversos dispositivos, permitiéndoles compartir información y almacenarla en distintas bases de datos. Esto facilita el control y acceso a la información desde cualquier lugar del mundo, siempre que se disponga de un dispositivo con conexión a internet (García, 2020, p 36).

4.2.3. Arquitectura del internet de las cosas

La arquitectura de IoT básicamente se compone de cuatro capas principales (Figura 13) como son la capa de aplicación, capa de análisis y procesado, capa de conectividad o de red y la capa de sensorica o percepción las cuales detallaremos a continuación.

Figura 13

Capas de la arquitectura IoT.



Nota. La gráfica muestra como están compuestas las cuatro capas de la Arquitectura IoT. Tomado de (ISTEC, 2022).

4.2.3.1. Capa de aplicación o interfaz de usuario.

Esta capa se ocupa de emplear tecnologías como la computación en la nube y el reconocimiento difuso para facilitar el procesamiento y análisis de datos, permitiendo así un control inteligente sobre las aplicaciones de los dispositivos. Permite la administración de

dispositivos, ayudando a las empresas a integrar, organizar, monitorear y gestionar de manera remota sus equipos. Además, proporciona funciones esenciales para mantener el estado, la conectividad y la seguridad del sistema durante todo su ciclo de vida (ISTEC, 2022).

4.2.3.2. *Capa de análisis y procesado*

Facilita la recopilación de datos generados por los sensores, permitiendo su análisis y procesamiento en tiempo real. Esto no solo optimiza el uso de estos datos para crear inteligencia empresarial eficiente, sino que también mejora la toma de decisiones y la capacidad de respuesta de las organizaciones. Al integrar estos datos con sistemas avanzados de análisis, las empresas pueden identificar tendencias, prever problemas y desarrollar estrategias más efectivas (ISTEC, 2022).

4.2.3.3. *Capa de conectividad o de red.*

La capa de conectividad o también conocida como capa de red, considerada el cerebro del Internet de las Cosas, se encarga de la transmisión y procesamiento de toda la información del sistema. Además, incluye una red de convergencia de comunicación y la conexión a internet. Esta capa actúa como una interfaz que ofrece servicios a la capa de aplicación, procesando y enviando los datos recolectados por la capa de percepción, en conclusión, se puede decir que esta capa establece un canal de comunicación entre los sensores o dispositivos y una plataforma o gateway, que puede estar implementada en una máquina centralizada o en una arquitectura en la nube, utilizando diversas tecnologías inalámbricas como Wi-Fi, NB-IoT, Zigbee, Bluetooth, LPWAN, entre otras (ISTEC, 2022).

4.2.3.4. *Capa de sensórica o de percepción.*

El principal objetivo de esta capa es identificar objetos y recopilar información. Generalmente, incluye etiquetas de códigos de barras 2D, RFID, lectores-escritores, cámaras, sensores, GPS, terminales y redes de sensores. Agrupa a los dispositivos que pueden medir diversas magnitudes físicas o parámetros (como temperatura, humedad, etc.). Deben tener un consumo energético muy bajo, ya que funcionan con batería. Además, algunos de estos dispositivos pueden tener capacidades para llevar a cabo acciones e interactuar (ISTEC, 2022).

4.2.4. *IoT en la agricultura para la recolección de datos.*

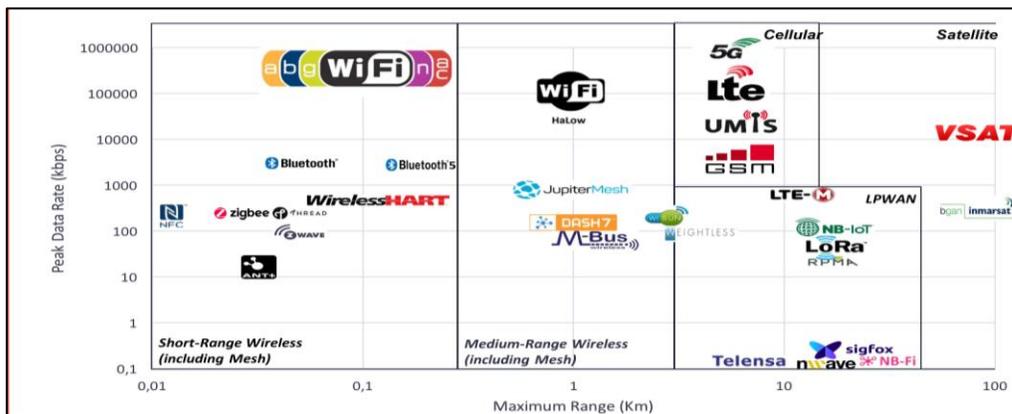
En la agricultura de precisión, se emplean diversos sensores para medir variables ambientales clave como la humedad relativa, temperatura del aire, humedad y temperatura del suelo, luminosidad, pH, dirección del viento, concentraciones de CO₂, entre otros. Esta información se recoge para tomar decisiones y acciones como la aplicación de fertilizantes o la activación del sistema de riego. Estas acciones se llevan a cabo mediante actuadores que controlan los sistemas, comunicándose a través de los protocolos I2C y SPI (PRASUN, 2020).

4.2.5. Tecnologías de comunicación inalámbrica para IoT.

Las redes de comunicación juegan un papel importante en los proyectos de Internet de las Cosas al posibilitar la interconexión de dispositivos, máquinas, sensores y otros elementos que recopilan datos desde cualquier ubicación global. En otras palabras, un proyecto de IoT no necesita necesariamente involucrar miles de sensores conectados simultáneamente. Incluso con solo dos "generadores de datos" dispersos geográficamente, pero conectados a Internet y capaces de enviar información a través de una red de comunicaciones, se establece la base suficiente para iniciar un proyecto de Internet of Things (Diaz, 2022).

Figura 14

Tecnologías Inalámbricas en IoT



Nota. El grafico representa las diferentes características y especificaciones de las clases de tecnologías inalámbricas, como LAN, WAN, PAN, LPWAN. Tomado de (IoT Analytics, 2022).

En los últimos años el internet de las cosas a tenido un crecimiento agigantado, gracias a sus ventajas y beneficios a múltiples sectores tanto en el campo, las ciudades y la industria. Para poder describir las diferentes tecnologías inalámbricas que se usan para IoT (Figura 14) se debe considerar los siguientes criterios:

- **Transferencia de datos:** Capacidad de transferencia de datos por nodo
- **Bajo consumo de energía:** Energía requerida para transmitir o recibir datos
- **Costo:** Costo de implementación y renta del servicio por nodo
- **Alcance:** Distancia máxima de conexión entre emisor y receptor.

Las redes de comunicaciones han evolucionado significativamente, adentrándose en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT). Aunque el IoT aún no alcanza el mismo nivel de penetración comercial que la telefonía móvil, ha logrado captar tanto el interés como la inversión de numerosas empresas. A continuación, se ofrece una visión general de las redes de comunicación más comúnmente utilizadas en proyectos de IoT, destacando sus características y aplicaciones principales para proporcionar una comprensión más completa de este campo emergente (Efor, 2021, p 1).

4.2.5.1. WIFI.

Una de las tecnologías más reconocidas y utilizadas es WiFi. Sus principales beneficios incluyen una alta capacidad de transferencia de datos, permitiendo el envío de archivos grandes como video y audio. Además, soporta una amplia gama de módulos, sensores y actuadores, desde opciones económicas como el ESP8266 o el RTL8710, que cuestan menos de 10 dólares, hasta dispositivos más avanzados como el Arduino MKR1000.

Sin embargo, una de las principales limitaciones del WiFi es su alcance. Aunque es posible establecer conexiones punto a punto que abarquen varios kilómetros, su capacidad para redes multipunto no supera los 100 metros. Esto hace que no sea la opción ideal para aplicaciones que requieran una amplia cobertura de área. (Sabas, 2015).

4.2.5.2. Bluetooth low Energy.

La tecnología Bluetooth es ampliamente reconocida por su uso en una variedad de dispositivos como teléfonos, audífonos y cámaras. Sin embargo, cuando se trata de utilizar

Bluetooth para el Internet de las Cosas (IoT), es crucial considerar la versión 4.0, conocida como BLE (Bluetooth Low Energy). Esta versión fue especialmente diseñada para wearables y otros dispositivos que necesitan transmitir información de manera continua, pero que también requieren minimizar el consumo de energía, ya que suelen funcionar con baterías (Sabas, 2015).

BLE ofrece velocidades de transferencia de datos de aproximadamente 1 Mbps, situándose en un rango medio. Una característica destacada de BLE es el modo beacon, que permite rastrear otros dispositivos BLE de manera eficiente, especialmente en entornos interiores. Entre los dispositivos más comunes para desarrollar soluciones con BLE se encuentran las familias nRF51 y nRF52 de Nordic Semiconductor, así como la serie ESP32 de Espressif (Sabas, 2015).

4.2.5.3. Tecnología 4G.

La red de telefonía celular emerge como una opción viable para soluciones IoT, destacándose por su extensa cobertura proporcionada por múltiples proveedores y un ancho de banda considerable, que puede alcanzar hasta aproximadamente 1 Gbps. Estas ventajas hacen que sea una elección atractiva para muchas aplicaciones IoT.

Sin embargo, esta tecnología presenta desafíos significativos. El principal inconveniente es el costo, ya que su uso requiere un plan de datos con un proveedor de servicios móviles, aunque existen planes diseñados específicamente para aplicaciones IoT. Además, el consumo de energía asociado a la red celular es mayor en comparación con otras alternativas mencionadas. Es importante considerar que esta tecnología está en un proceso de evolución, ya que eventualmente será sustituida por la red 5G, que ofrece características más adecuadas para las necesidades del IoT, como mayor velocidad, menor latencia y mejor eficiencia energética. Uno de los dispositivos recomendables para iniciar de manera sencilla con esta tecnología es el LE910 de Telit (Sabas, 2015).

4.2.5.4. LoRa.

LoRa es una tecnología de red de área amplia y baja potencia (LPWAN) que aún no ha tenido mucha presencia en Latinoamérica y apenas está comenzando a ganar terreno. Sus principales ventajas son el bajo consumo de energía y su amplio alcance, cubriendo

aproximadamente 20 km por antena, lo que la hace ideal para construir redes públicas o privadas en las tan mencionadas ciudades inteligentes. Un punto débil de LoRa es su baja velocidad de transferencia de datos (~50 Kbps), por lo que no es adecuada para enviar audio o video, pero es una excelente opción para datos ligeros, típicamente necesarios en escenarios de IoT. A veces, en lugar de LoRa, se utiliza el término LoRaWAN; la diferencia es que LoRa es la tecnología de bajo nivel que permite el enlace, mientras que LoRaWAN es el protocolo de comunicación y la arquitectura de la red. Los dispositivos disponibles para empezar fácilmente con esta tecnología incluyen el RFM95, RN2903A, Feather Adafruit RFM95, la tarjeta Cube-cell HTCC-AB02S Arduino LoRa Node y Arduino LoRa gateway (Sabas, 2015).

4.2.5.5. SigFox.

SigFox es una tecnología LPWAN similar a LoRa, diseñada para comunicación a larga distancia con bajo consumo de energía y datos ligeros. La principal diferencia entre ambas radica en su modelo de negocio: SigFox es operada por un proveedor, permitiendo a los usuarios conectar sus dispositivos a una red existente, similar a las redes celulares, lo cual es ventajoso en zonas con cobertura, pero problemático donde no la hay. Por el contrario, LoRa permite a cualquier persona crear una red privada sin depender de un carrier. Para iniciarse fácilmente con SigFox, destaca el dispositivo Arduino MKRFox1200, que es una versión del MKR1000 con conectividad a la red SigFox (Sabas, 2015).

4.2.5.6. Tecnología 5G.

La tecnología 5G representa la próxima evolución en redes de comunicación móvil, prometiendo avances sustanciales en términos de latencia y ancho de banda en comparación con su predecesora, 4G. Estas mejoras permitirán la transmisión y recepción de grandes volúmenes de datos en tiempo real, lo que es crucial para habilitar escenarios innovadores como la conectividad de automóviles autónomos. Actualmente, la tecnología 5G está en fase de prueba en algunos países desarrollados, con planes para su despliegue comercial a gran escala. Los operadores de telecomunicaciones en Estados Unidos ya han anunciado tarifas muy competitivas para aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT), mientras que, en Latinoamérica, aún se está a la espera de conocer las opciones que se ofrecerán (Sabas, 2015).

4.2.6. Agricultura 4.0: la revolución IoT en el campo

En la revolución agrícola, el Internet de las Cosas (IoT) desempeña un papel crucial. Los dispositivos conectados permiten a los agricultores monitorear sus cultivos en tiempo real de manera sencilla. "El IoT es una revolución comparable a lo que fue el ferrocarril en su momento", afirma Ana Sancho, responsable de soluciones para Smart Agriculture en Libelium. "Es una tecnología aplicable a cualquier sector. Además, su implementación mejorará la calidad de vida de las personas y la productividad de las empresas, lo que tendrá un impacto muy positivo en el crecimiento de la economía mundial", añade.

Gracias a la automatización de procesos, los agricultores podrán destinar más tiempo al análisis de sus cultivos y menos a las labores en el campo. Mediante la recopilación y el análisis de datos, podrán optimizar el uso de recursos como el agua de riego, fertilizantes y pesticidas. Esto resultará en una significativa reducción de costos y en una mejora de la calidad del producto (Casallana, 2018).

La agricultura 4.0 se fundamenta en la recopilación y análisis de datos del campo con el objetivo de mejorar la calidad de los cultivos y minimizar el impacto ambiental. Gracias a las nuevas tecnologías, como drones, robots, sensores y software avanzados, es posible realizar tareas agrícolas de manera más rápida y eficiente que los seres humanos. Estas herramientas no solo mejoran los resultados, sino que también permiten un uso más eficiente de los suministros, recursos y tiempo, haciendo más manejable y sostenible un trabajo que hasta la actualidad resulta tan exigente (proximasystems, 2019).

4.2.7. Riego de Precisión 4.0.

Es común que muchas personas asocien el riego de precisión únicamente con sistemas como el riego por goteo o por microaspersión. Aunque estos métodos forman parte del riego de precisión, este concepto abarca mucho más allá de esto.

En términos generales, el riego de precisión integra una amplia gama de tecnologías diseñadas para optimizar la programación del riego. Esto implica determinar el momento, la frecuencia y la duración adecuados del riego, considerando las características específicas del

cultivo, su etapa fenológica, así como la configuración de la red de riego, el tipo de suelo y las condiciones climáticas. Así, se debe tener en cuenta una variedad de factores de manera conjunta para que se considere como riego de precisión (Axayacatl, 2021).

La agricultura ha concluido su tercera revolución, marcada por la adopción del riego por goteo y la automatización. En la actualidad, se encuentra la era de la Agricultura 4.0, que ha introducido metodologías avanzadas para medir y analizar lo que ocurre bajo la superficie del suelo, permitiendo tomar decisiones informadas y coherentes con las condiciones presentes. Este cambio responde a la necesidad urgente de gestionar de manera eficiente los recursos hídricos, energéticos y de fertilización (Creativos JLC, 2021).

4.3. Tecnología Inalámbrica LoRa

4.3.1. Introducción

Un aspecto fundamental de las soluciones IoT es la conectividad. En áreas con múltiples opciones para conectarse a Internet, los requisitos de energía y el alcance de la red generalmente no presentan inconvenientes. Sin embargo, en regiones donde la cobertura de comunicaciones es limitada o incluso nula, y donde el acceso a la energía eléctrica no está garantizado, la implementación de tecnologías que puedan superar estas dificultades es altamente apreciada. En estos casos, las soluciones IoT deben ser especialmente ingeniosas, utilizando métodos de comunicación eficientes y fuentes de energía alternativas para asegurar un funcionamiento continuo y fiable (Iotconsulting, 2019).

LoRa es una tecnología inalámbrica similar a WiFi, Bluetooth, LTE, SigFox y Zigbee, que utiliza un tipo de modulación en radiofrecuencia patentado por Semtech, un destacado fabricante de chips de radio. Esta tecnología de modulación, conocida como Chirp Spread Spectrum (CSS), ha sido utilizada en comunicaciones militares y espaciales durante décadas atrás. Actualmente, la tecnología LoRa es gestionada por la 'LoRa Alliance', que certifica a todos los fabricantes de hardware interesados en trabajar con esta tecnología (Keller, 2021).

LoRa aborda tanto el problema del alcance de la red como la falta de energía eléctrica. Permite la comunicación de dispositivos a distancias de hasta 20 kilómetros en áreas abiertas, con un consumo mínimo de energía en los nodos remotos. Esta eficiencia energética y capacidad

de largo alcance hacen de LoRa una solución ideal para entornos rurales o urbanos donde la infraestructura de comunicación es limitada y el acceso a la energía eléctrica puede ser irregular. Además, su bajo consumo de energía prolonga la vida útil de los dispositivos, reduciendo la necesidad de mantenimiento frecuente y haciendo que sea una opción viable para una amplia gama de aplicaciones en el IoT (Hernandez, 2019).

4.3.2. Descripción de la tecnología LoRa

LoRa está diseñada para aplicaciones de baja potencia en redes de área amplia. Ofrece un rango de más de 15 kilómetros y puede soportar hasta un millón de nodos, aunque su combinación de baja potencia y largo alcance limita la velocidad de datos a un máximo de 50 kilobits por segundo (Kbps). Esta tecnología exclusiva y patentada por Semtech Corporation opera en la banda ISM, cuya asignación de frecuencias y requisitos reglamentarios varían según la región (Tabla 3). En Europa, la frecuencia popularmente utilizada es de 868 megahercios (MHz), mientras que en América del Norte es de 915 MHz. Otras regiones, como Asia, tienen diferentes requisitos específicos para su uso (Pickering, 2017).

Tabla 3

Especificaciones de LoRa

ESPECIFICACIONES	EUROPA	AMERICA DEL NORTE
Banda de frecuencia	867-869 MHz	902-928 MHz
Canales	10	64 + 8 + 8
Canal banda ancha ascendente	125/250 kHz	125/500 kHz
Canal banda ancha descendente	125 kHz	500 kHz
Tx encendido	+14 dBm	+20 dBm
Tx desconectado	+14 dBm	+27 dBm
SF Up	7-12	7-10
Velocidad de datos	250 bps – 50 kbps	980 bps - 21.9 kbps

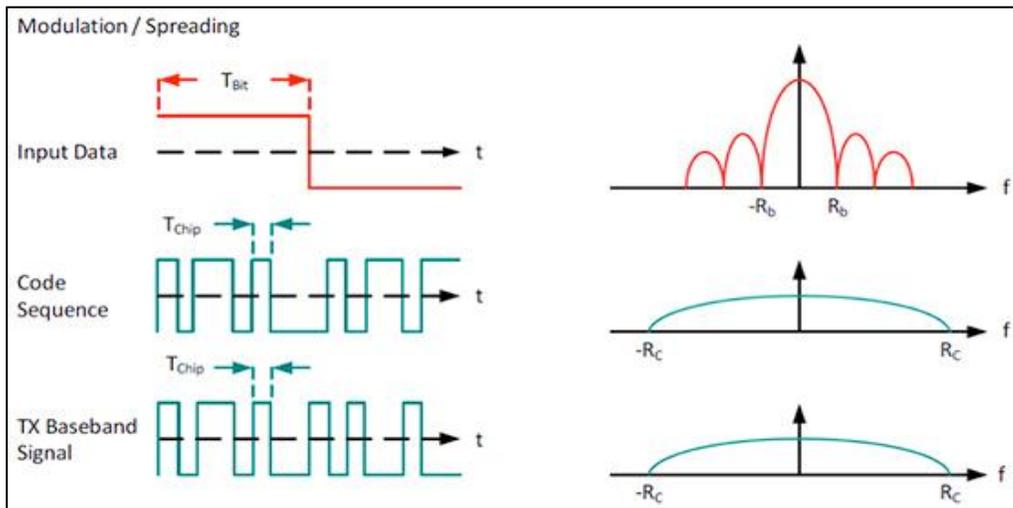
Nota. Se realiza una comparación de las especificaciones de LoRa entre Europa y Estados Unidos, dos regiones donde se emplean ampliamente las bandas ISM. Adaptada de (Pickering, 2017).

LoRa es una tecnología de modulación de espectro ensanchado que permite tolerar el ruido, los múltiples caminos de señal y el efecto Doppler, manteniendo un consumo de energía muy bajo. Aunque esto resulta en un ancho de banda reducido en comparación con otras tecnologías inalámbricas, no representa un problema para los sensores utilizados en aplicaciones IoT, ya que estos solo envían pequeños volúmenes de datos en intervalos de tiempo que van de segundos a minutos. Gracias a su bajo consumo de energía, con un diseño y configuración adecuados, un sensor puede funcionar con una batería tipo botón durante varios años, la duración de la batería depende de varios factores, como el tiempo de reposo del dispositivo, el hardware utilizado y la temperatura de operación, entre otros (Hernandez, 2019).

La capa física de LoRa emplea la modulación de espectro ensanchado (SSM), que codifica la señal base con una secuencia de alta frecuencia (Figura 15). Esta técnica extiende intencionalmente la señal base a través de un ancho de banda más amplio, lo que reduce el consumo de energía y mejora la resistencia a las interferencias (Pickering, 2017).

Figura 15

Modulación de espectro ensanchado



Nota. Un sistema de espectro ensanchado multiplica los datos de entrada en una secuencia de código mucho más rápida que propaga la señal de ancho de banda. Tomado de (Semtech Corporation, 2017).

Un factor de propagación (SF) específico y un ancho de banda (BW) determinado darán como resultado una tasa de bits definida por la siguiente ecuación:

$$bit\ rate = SF \times \frac{BW}{2^{SF}} \quad (3)$$

LoRa admite seis factores de propagación (SF7 - SF12) y tres anchos de banda distintos (125 kHz, 250 kHz, 500 kHz). Los factores de propagación y anchos de banda permitidos son establecidos por las agencias reguladoras. En América del Norte, por ejemplo, se especifica un ancho de banda de 500 kHz y factores de propagación de 7 a 10 (Pickering, 2017).

Gracias a la tecnología de espectro ensanchado, los mensajes con diferentes velocidades de datos son ortogonales y no interfieren entre sí, creando un conjunto de canales "virtuales" y aumentando así la capacidad de la puerta de enlace (Pickering, 2017).

Ventajas de la tecnología LoRa

- Alta tolerancia a las interferencias
- Alta sensibilidad para recibir datos (-168dB)
- Basado en modulación "chirp".
- Bajo Consumo (hasta 10 años con una batería)
- Largo alcance 10 a 20 km
- Baja transferencia de datos (hasta 255 bytes)
- Conexión punto a punto
- Frecuencias de trabajo: 868 Mhz en Europa, 915 Mhz en América, y 433 Mhz en Asia (Keller, 2021).

4.3.3. LoRaWAN

LoRaWAN es un protocolo de comunicación desarrollado y mantenido por la LoRa Alliance, una organización sin fines de lucro dedicada a promover y estandarizar la tecnología de redes de área amplia y baja potencia (LPWAN). Esta alianza global trabaja en conjunto con una vasta red de miembros para garantizar la interoperabilidad y el crecimiento sostenible de las redes IoT. El protocolo LoRaWAN permite la comunicación a larga distancia entre dispositivos con un consumo de energía muy bajo, lo que lo hace ideal para aplicaciones de Internet de las

Cosas (IoT). Además, su arquitectura abierta y segura facilita su adopción en diversas industrias y aplicaciones (Keller, 2021).

El protocolo de red LoRaWAN emplea la tecnología LoRa para crear redes de baja potencia y área amplia (LPWAN), siendo fundamental para la comunicación y gestión de dispositivos LoRa. Este protocolo está compuesto por dos elementos principales: gateways y nodos. Los gateways, que actúan como antenas, son responsables de recibir y transmitir información hacia y desde los nodos. Por otro lado, los nodos son los dispositivos finales que intercambian datos con los gateways, facilitando así la comunicación en la red (Keller, 2021).

Ventajas del Protocolo LoRaWAN.

- Conexiones bidireccionales seguras mediante encriptación de extremo a extremo.
- Bajo consumo de energía (duración de las pilas hasta 10 años)
- Largo alcance de comunicación (10 - 20 km).
- Conexión de infinidad de sensores y equipos a redes públicas o privadas (hasta 1 millón de nodos en red).
- Bajas velocidades de datos.
- Baja frecuencia de transmisión, movilidad y servicios de localización.
- Interoperabilidad de las diversas redes LoRaWAN en todo el mundo (Keller, 2021).

4.3.4. Tecnología LoRa para agricultura inteligente.

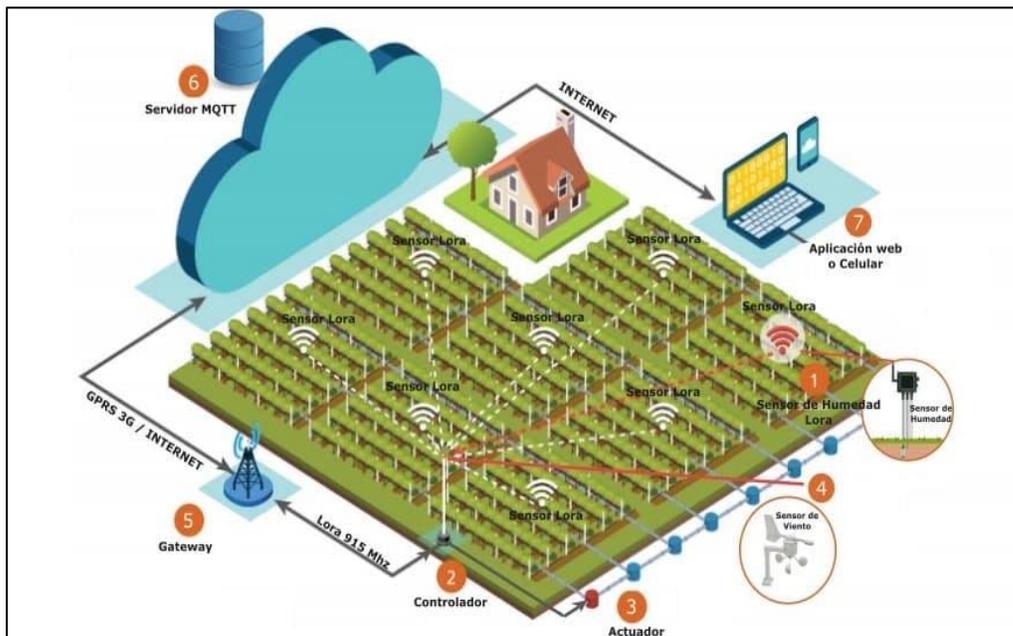
La agricultura inteligente se está volviendo cada vez más común. Sin embargo, para acelerar la adopción global de la tecnología IoT, los agricultores y ganaderos necesitan sensores económicos y de bajo consumo de energía proporcionados por Semtech. Los dispositivos LoRa, que utilizan tecnología de radiofrecuencia inalámbrica (Tecnología LoRa) y el protocolo abierto LoRaWAN, son perfectos para sensores que solo requieren actualizar la información unas pocas veces por hora, ya que las condiciones no cambian drásticamente. Además, como muchas granjas y explotaciones ganaderas se encuentran en áreas rurales sin acceso a 3G/4G o wifi, necesitan una red fácil de instalar para sus aplicaciones IoT (CATSENSOR, 2019).

La tecnología LoRa ofrece una base robusta para el futuro de la agricultura inteligente, siendo fácil de implementar y crucial para el crecimiento de todos los tipos de negocios agrícolas

y ganaderos. Esta tecnología no solo optimiza, sino que también mejora las operaciones diarias en todas las aplicaciones de agricultura inteligente. Al adaptarse a las crecientes demandas de la industria agrícola, la tecnología LoRa se ha convertido en un recurso indispensable para los agronegocios (CATSENSOR, 2019).

Figura 16

Sistema de riego inteligente con tecnología LoRa



Nota. El gráfico muestra la implementación de un sistema de riego IoT, donde se enumeran las partes que lo integran. Tomado de (minkafab.com, 2020).

La Figura 16 ilustra la implementación de un sistema de riego basado en IoT, destacando las diversas partes que lo componen. En primer lugar, se encuentran los sensores de humedad (1), que monitorizan constantemente el nivel de humedad del suelo. Estos sensores están conectados a un controlador (2), que recibe la información y toma decisiones sobre el riego. El actuador (3) se encarga de ejecutar las órdenes del controlador, abriendo o cerrando las válvulas de riego. Además, el sistema incluye un sensor de viento (4) para ajustar el riego en función de las condiciones climáticas. Todos estos componentes se comunican a través de un gateway (5),

que actúa como intermediario y envía los datos al servidor (6). Finalmente, toda la información y control del sistema se gestionan a través de una aplicación (7), desde la cual se puede monitorear y ajustar el riego de forma remota.

4.4. Elementos y equipos con tecnología Lora para implementación de riego Inteligente

Una red LoRa creada con fines agrícolas generalmente está conformada por un Gateway, el cual permite la conexión a Internet; los nodos sensores, que cumplen la función de recolectar valores de las variables que se desean medir; y los nodos actuadores, los cuales permiten activar o desactivar electrobombas, electroválvulas o cualquier tipo de dispositivo que se desee administrar y controlar. Esta configuración facilita el monitoreo remoto de las condiciones agrícolas, permitiendo una respuesta rápida a cualquier cambio en las variables ambientales. Además, la red puede expandirse fácilmente añadiendo más nodos sensores y actuadores según sea necesario, adaptándose a las necesidades de cada aplicación agrícola (Semtech, 2020).

4.4.1. Gateway Lora

La función principal de un Gateway es establecer y gestionar la red inalámbrica LoRaWAN para proporcionar cobertura a los nodos. Esto implica comunicarse con los nodos para recibir la información que envían y transmitirles los comandos necesarios. Además, el Gateway facilita la comunicación con el Network Server mediante TCP/IP, asegurando la transferencia eficiente de datos hacia arriba. En resumen, el Gateway actúa como el enlace crucial que conecta dispositivos distribuidos como sensores, actuadores y otros instrumentos con el Network Server. Esta integración permite la gestión efectiva de la red y el envío de datos hacia aplicaciones superiores (Becolve, 2020).

Un Gateway LoRa, utilizado para desplegar una red LoRaWAN, es un dispositivo que recibe los datos transmitidos por uno o varios nodos finales, y se encarga de reenviar estos paquetes de datos a un servidor de red centralizado mediante una conexión IP estándar.

Los Gateways, también conocidos como puertas de enlace, actúan como un puente transparente entre los nodos finales y el servidor de red central. Proveen servicio a los nodos finales a través de una conexión inalámbrica en una topología de estrella, permitiendo una transmisión bidireccional (Vargas, 2022).

4.4.2. *Nodo Sensor*

Los sensores actúan como los sentidos del sistema de control, suministrando información crucial sobre el estado del sistema. Para ejecutar las tareas de control en un proceso industrial, los sensores detectan las variables físicas relevantes del proceso y las transforman en señales eléctricas. Con base en estas señales, el programa de control puede establecer las directrices para el funcionamiento de las máquinas y otros componentes involucrados en el proceso (Brunete, A., & Segundo, 2020).

Los nodos sensores son dispositivos encargados de la recolectar datos por medio de los diferentes tipos de sensores que se encuentren incorporados en su arquitectura, los sensores que se utilizan para la medición de las variables ambientales como humedad del suelo, temperatura y humedad ambiente, luminosidad, pH, entre otros. Son de vital importancia para la toma de decisiones en cuanto a un controla adecuado de un sistema de riego Inteligente ya sea esto en pequeños huertos o en cultivos a gran escala.

4.4.3. *Nodo Actuador*

Los actuadores funcionan como las manos del sistema de control, permitiendo modificar lo que sucede en la planta. Estos dispositivos, también conocidos como accionadores, forman la interfaz entre las señales de control emitidas por el controlador (como un autómata) y el proceso industrial en sí. Según la fuente de energía que utilizan, los actuadores pueden clasificarse en tres tipos: eléctricos, neumáticos e hidráulicos (Brunete, A., & Segundo, 2020).

CAPITULO II

5. Metodología

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño e implementación de un sistema de riego inteligente utilizando tecnología IoT. Para este propósito, se recopiló y analizó información de artículos científicos, posts de revistas indexadas, tesis de repositorios universitarios y otros documentos en línea relacionados con el tema del proyecto.

La ejecución del proyecto se realizó en la parroquia San Pedro de Vilcabamba, específicamente en un huerto familiar situado en el barrio Cararango, sector Tucu-Tuco. Este lugar fue seleccionado debido a que se encuentra ubicado en uno de los puntos más altos de la parroquia, donde la implementación del sistema es indispensable, dado que actualmente solo dispone de servicio de agua potable.

La investigación se enfoca en el análisis cuantitativo de los beneficios del sistema de riego inteligente. Se analizan las variables ambientales y otros factores importantes que influyen en la toma de decisiones para garantizar un funcionamiento efectivo del sistema. Este enfoque busca evaluar el rendimiento del sistema y proporcionar una base sólida de datos para implementar y mejorar tecnologías sostenibles en la agricultura.

El tipo de investigación es experimental, dado que se realizarán manipulaciones controladas de variables ambientales como la humedad ambiente y del suelo, temperatura y luminosidad. Estas variables se gestionarán para optimizar los procesos de irrigación de los cultivos, permitiendo así evaluar de manera precisa los efectos de estas manipulaciones en el rendimiento agrícola.

El diseño de la investigación es transversal, dado que se analizan datos recopilados sobre cómo mejorar un sistema de riego mediante la automatización y control de procesos. Para ello, ha sido necesario investigar y seleccionar la mejor tecnología que se ha perfeccionado con el tiempo para resolver los problemas relacionados con los métodos de irrigación de los cultivos.

5.1. Métodos de estudio

Se utilizó el método analítico ya que por medio de la investigación se conoce la importancia que tiene en el análisis de las variables ambientales para un adecuado control de los

sistemas riego inteligente (IoT), así mismo, se pudo elegir los diversos componentes y equipos como sensores, actuadores, dispositivos con tecnología LoRa para el diseño y la construcción del sistema de riego que se realizara con el fin de ahorrar recurso y mejorar la productividad en el huerto en el sector de estudio; con la incorporación de las actuales tecnologías como es la tecnología LoRa basada en el estándar LoRaWAN cuya finalidad es cumplir con el primer objetivo específico.

De igual manera se utilizó el método científico. La información conseguida desde el punto de vista científico ha permitido dar solución a las diversas interrogantes surgidas a lo largo del diseño e implementación del sistema, con referencia de fuentes internacionales y locales de revistas, papers, artículos científicos, diarios, sitios web; con la finalidad de adquirir estudios actualizados y de mayor fiabilidad. Con la aplicación de este método se cumplió el desarrollo del primero y segundo objetivo específico, cuya finalidad está enfocada la implementación del sistema de riego inteligente considerando sensores utilizados para la optimización y control de los recursos hídricos.

También el método deductivo fue de gran ayuda para establecer enunciados bien fundamentados a partir de la experiencia; esto es, ascender lógicamente a través del conocimiento científico, desde la observación de los fenómenos y variables analizadas. La implementación de este método permitirá obtener los conocimientos lógicos comparados con la investigación realizada para contrarrestar un enfoque global de conclusiones concretas cuya finalidad es cumplir con el tercer objetivo

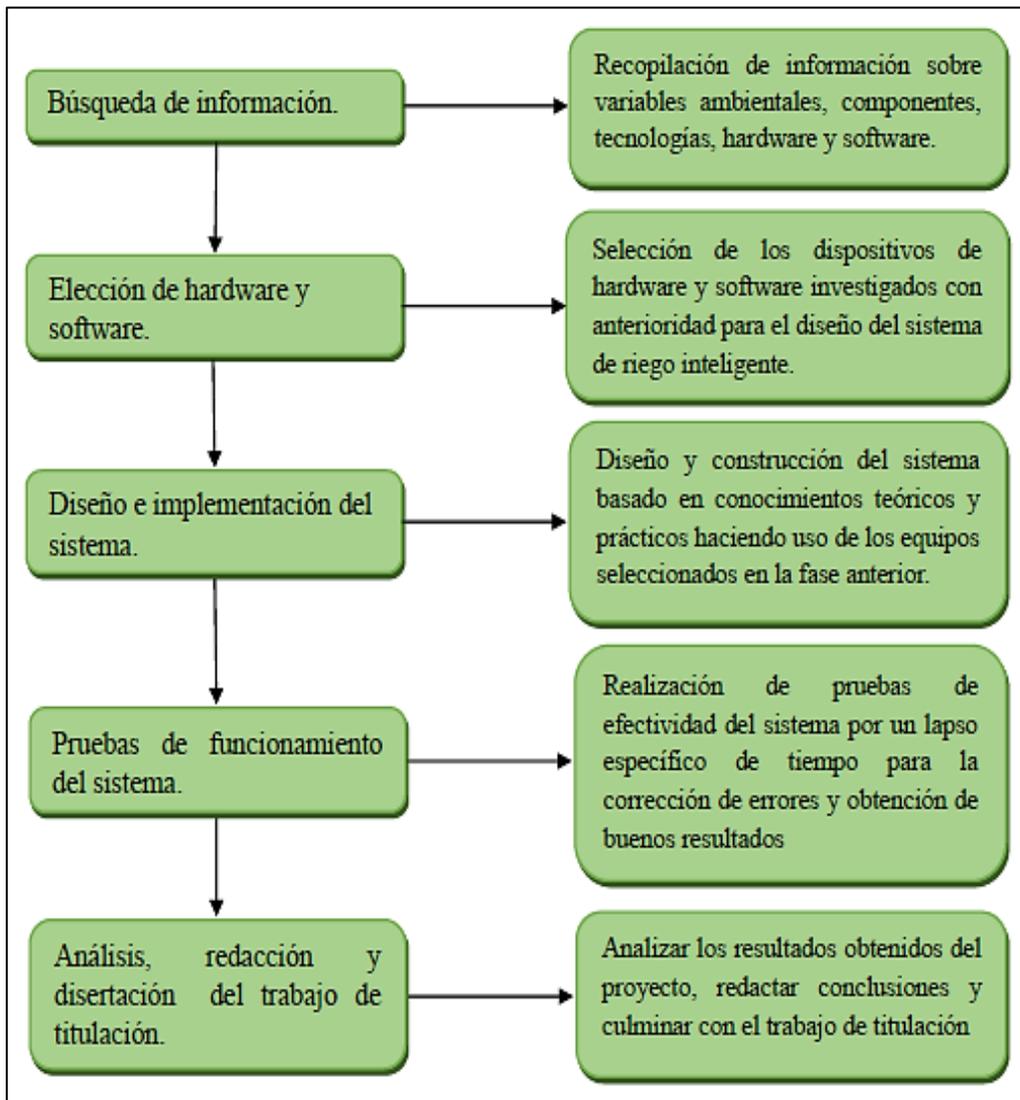
5.2. Diseño Metodológico

Se ha diseñado un plan metodológico compuesto por cinco etapas o fases. Estas etapas deben seguirse secuencialmente para garantizar un desarrollo adecuado, como se ilustra en el diagrama adjunto (Figura17). Este enfoque sistemático permite una implementación ordenada del sistema de riego inteligente, asegurando que cada fase se complete antes de pasar a la siguiente. La primera fase implica la recopilación y análisis de información relevante. La segunda fase se centra en la selección del hardware y software más adecuados para el proyecto. Las fases

posteriores incluyen el diseño, la implementación y las pruebas del sistema, seguidas por el análisis final y la redacción del informe de este trabajo investigativo.

Figura 17

Plan Metodológico



Nota. En esta figura se muestra las diferentes fases que conforma el Plan Metodológico, mismas que se deben cumplir en el orden establecido. Fuente: Autor

5.3. Variables ambientales que se utilizaron para monitoreo y control del sistema

Para el monitoreo y control del sistema de riego inteligente se consideraron cuatro variables importantes humedad ambiente, temperatura ambiente, humedad del suelo y luminosidad. La humedad absoluta (humedad del suelo) es una variable crítica que se consideró utilizar. Para medir la humedad absoluta, se instaló un sensor capacitivo (EK1940) en cada uno de los nodos sensor de las parcelas del huerto. Esto permitirá monitorear y controlar la humedad del suelo en tiempo real, y ajustar el riego según sea necesario para mantener un nivel de humedad óptimo para el crecimiento de las plantas.

Se utilizará un sensor DHT22 para medir la temperatura y la humedad ambiente. Este sensor se instalará solo en el nodo sensor que se encuentra en la segunda parcela del huerto, ya que estos datos no varían en toda el área. La medición de la temperatura y humedad ambiente permitirá ajustar la frecuencia del riego según las condiciones climáticas.

Por último, se utilizará un sensor GY-30 para medir la luminosidad en el huerto. Este sensor se instaló en el nodo sensor de la parcela 2, ya que la intensidad de la luz no varía significativamente en todo el huerto. La medición de la luminosidad permitirá ajustar el riego según las condiciones de la radiación solar en el huerto.

El monitoreo y control del sistema de riego inteligente se llevará a cabo mediante la medición de la humedad del suelo, la temperatura y humedad ambiente, y la luminosidad. Estos datos se utilizarán para ajustar la cantidad y frecuencia del riego, y mantener un ambiente adecuado.

5.4. Asesoría de un ingeniero agrónomo

Durante la visita técnica de campo realizada el día 12 de noviembre de 2022, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las variables ambientales críticas como son humedad de suelo temperatura ambiente, pH y luminosidad, luego se procedió a realizar un análisis de pendiente, tipo de suelo y de las variedades de cultivo que podrían sembrarse en el huerto familiar elegido para la implementación del sistema de riego con tecnología IoT.

La visita técnica de campo realizada antes de la implementación del sistema de riego inteligente fue muy útil para recopilar información valiosa sobre el huerto elegido para la implementación de este sistema. Los datos obtenidos sobre la humedad, el pH del suelo, la luminosidad y la temperatura ambiental son esenciales para seleccionar las variedades de cultivos adecuadas y garantizar que el sistema de riego IoT funcione de manera eficiente. Gracias a estos datos (Tabla 4), se pueden tomar medidas adecuadas para realizar el diseño del sistema apropiado con la finalidad de optimizar la producción de los cultivos que se practiquen en el huerto.

5.5. *Medición de variables ambientales*

El ingeniero agrónomo, quien lideró la visita técnica, inició la recolección de datos midiendo la humedad del suelo utilizando un medidor de pH, temperatura, humedad, luz solar. Las mediciones se tomaron en diferentes áreas del huerto y durante una semana para analizar los cambios que presentan las variables analizadas.

Tabla 4

Variables Ambientales Antes de la Implementación del Sistema

Variables	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Promedio
Humedad	34.0 %	33.0 %	33.2%	32.5%	32.8	33.1 %
Luminosidad	42000 lx	50000 lx	45000 lx	40000 lx	48000 lx	39400 lx
PH	6.5	7.0	6.8	6.9	6.7	6.8
Temperatura	20.5 °C	22.5 °C	21.0 °C	22.0 °C	19.6 °C	21.1 °C

Nota. El huerto que se ha elegido para la implementación del sistema de riego inteligente dentro de los parámetros que se ha considerado únicamente presenta un inconveniente que es un nivel bajo de humedad con un promedio de 33.1 %, por tal motivo es de vital importancia la implementación de dicho sistema. Datos medidos del 8 al 12 de noviembre 2022.

Los resultados obtenidos (Tabla 4) mostraron que el nivel de humedad del suelo era muy bajo para el correcto desarrollo de las plantas, se requiere ajustes para garantizar que las plantas puedan crecer y desarrollarse en las condiciones óptimas.

Luego, se midió la luminosidad del huerto utilizando el mismo dispositivo medidor. Se tomaron mediciones en varias áreas del huerto y durante 5 días para determinar la intensidad de la luz solar en diferentes momentos del día. Los resultados obtenidos indicaron que el huerto recibía una cantidad adecuada de luz solar, lo que lo convierte en un lugar ideal para el cultivo de plantas que requieren altos niveles de luz solar para crecer y desarrollarse.

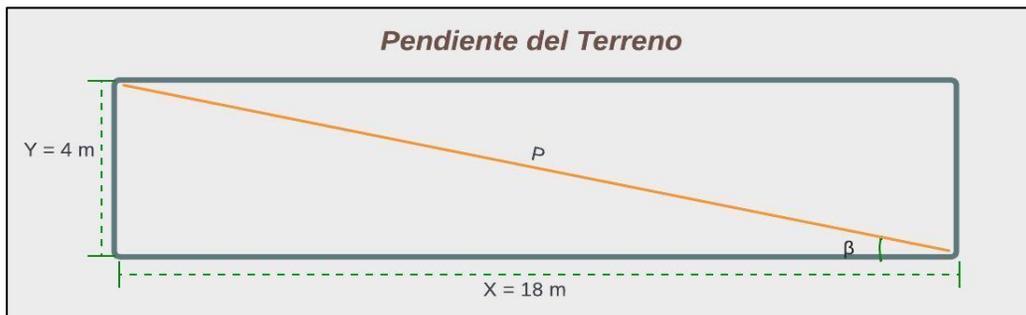
Posteriormente, se midió el pH del suelo de la misma forma que las variables anteriores utilizando el mismo equipo. Los resultados obtenidos indicaron que el pH del suelo era neutro obteniendo valores en el rango de 6.1 a 7.0, por lo que el ingeniero agrónomo supo manifestar que el pH del suelo ideal para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas varía según la especie de la planta, pero en general, la mayoría de las plantas prefieren un pH del suelo que oscila entre estos valores obtenidos. Este rango de pH es considerado neutro a ligeramente ácido y es adecuado para la mayoría de los cultivos comunes como verduras y hortalizas.

Finalmente, se midió la temperatura ambiental. Las mediciones se tomaron así mismo en diferentes partes del huerto para determinar la temperatura ambiente en diferentes momentos del día y durante 5 días. Los resultados obtenidos indicaron que la temperatura ambiente en el huerto era aceptable en un rango de 18 a 23 °C.

5.6. Análisis de pendiente del terreno

Figura 18

Parámetros importantes para cálculo de pendiente del terreno



Nota. En la figura se muestra la distancia horizontal y vertical expresadas en términos de variables X y Y para poder calcular la pendiente del terreno denotada como β .

Fuente: Autor

Para determinar la pendiente del terreno se procedió a medir el desnivel del terreno como se ilustra en la Figura 18, de acuerdo a los siguientes pasos:

- Identificar dos puntos en el terreno que se encuentren a diferentes alturas. Para este paso, elegiremos el punto A en la parte inferior del terreno y el punto B en la parte superior.
- Medir la distancia horizontal entre los dos puntos elegidos. En este caso, la distancia horizontal es de 18 metros.
- Medir la diferencia de altura entre los dos puntos elegidos. En este caso, la diferencia de altura es de 4 metros.
- Calcular la pendiente utilizando la siguiente fórmula:

$$Pendiente = \frac{d. vertical}{d. horizontal} = \frac{y}{x} \quad (4)$$

- Sustituye los valores conocidos en la fórmula:

$$Pendiente = \frac{4 m}{18 m}$$

- Dividir 4 m por 18 m para obtener la pendiente:

$$Pendiente = 0.222$$

- Expresar la pendiente en forma de porcentaje o en grados.

En forma de porcentaje,

$$Pendiente = 0.222 * 100$$

La pendiente sería del 22.2 %

En grados,

$$\tan \beta = \frac{y}{x} \quad (5)$$

$$\tan \beta = 0.222$$

$$\beta = \tan^{-1}(0.222)$$

La pendiente sería aproximadamente 13.9 grados.

Así, la pendiente del terreno es del 22.2 % o aproximadamente 13.9 grados.

Después de analizar detalladamente el terreno, se puede afirmar que su pendiente es óptima para ser utilizado como un área cultivable. A diferencia de terrenos completamente planos, este terreno cuenta con la pendiente adecuada para evitar problemas de inundaciones y exceso de humedad en caso de fuertes lluvias durante el invierno. Por otro lado, su inclinación tampoco es tan pronunciada como para permitir que el agua se filtre demasiado rápido, lo que podría provocar escasez de humedad en el suelo y afectar el crecimiento de las plantas.

Es importante destacar que la pendiente adecuada para un área cultivable puede variar dependiendo del tipo de cultivo que se desee sembrar, así como de las condiciones climáticas de la región en la que se encuentra el terreno. En el caso específico de este terreno, se puede concluir que su pendiente es idónea para cultivar una amplia variedad de cultivos, incluyendo hortalizas, verduras, platas frutales entre otros.

Para aprovechar al máximo el potencial de este terreno, a más de este análisis se procedió a realizar un estudio del suelo, así como de las condiciones climáticas de la zona, para determinar cuál es el mejor momento para sembrar y qué tipo de cultivos son más adecuados. Con un buen manejo y cuidado, este huerto familiar puede convertirse en una fuente de producción agrícola rentable.

5.7. Análisis de Tipo de suelo

Realizar un análisis del tipo de suelo es fundamental para comprender las propiedades y características del suelo en una determinada área. Al conocer las características del suelo, se puede determinar qué cultivos son adecuados para plantar y qué enmiendas del suelo pueden ser necesarias.

El análisis del suelo que se realizó en este caso se llevó a cabo mediante la recolección de muestras de suelo en diferentes áreas del terreno. La recolección de muestras de diferentes profundidades permitió obtener una idea completa del tipo de suelo presente en el área. La observación visual de las muestras obtenidas permitió identificar algunas características del suelo, como el color, la textura y la estructura.

Las muestras tomadas en la superficie eran de color café oscuro, lo que indica la presencia de materia orgánica en el suelo. Esta presencia es muy beneficiosa para el correcto

desarrollo de las plantas, ya que la materia orgánica es una fuente importante de nutrientes para ellas. Además, la textura y estructura de la muestra permitieron determinar que era un suelo Arcilloso-Limoso. Este tipo de suelo tiene propiedades intermedias entre un suelo arcilloso y uno limoso. Por lo general, los suelos arcillosos-limosos tienen buena capacidad de retención de agua y nutrientes, lo que los hace adecuados para el cultivo de plantas.

De las muestras tomadas a mayor profundidad se pudo determinar que a una profundidad de 60 cm existe un cambio en el tipo de suelo, tornándose en un suelo de color café claro con una textura cascajosa. Este cambio en el tipo de suelo puede ser el resultado de procesos geológicos o de la actividad humana, como la compactación del suelo. Sin embargo, a pesar de la presencia de un suelo menos fértil a mayor profundidad, se puede concluir que la capa de tierra fértil para la agricultura es de aproximadamente 50 cm, lo cual es muy beneficioso para el cultivo de hortalizas y verduras. Esto significa que no es necesario excavar a profundidades mayores para obtener un suelo adecuado para la producción de alimentos. Esta información resulta útil para la planificación de la agricultura en la zona, ya que permite determinar cómo preparar el terreno para la siembra y que tipo de planta se puede cultivar.

5.8. Tipo de planta que se puede cultivar

Después de realizar un análisis íntegro de la pendiente y el tipo de suelo del huerto, se tomó la decisión de definir el tipo de cultivo que se plantaría en cada parcela. Se llegó a la conclusión de que el área de cultivo es adecuada para cultivar cualquier tipo de hortaliza o verdura cuyas raíces no sean profundas.

Se decidió que la parcela 1 sería cultivada con cilantro, perejil y apio, ya que estas plantas no necesitan demasiada humedad y se adaptan bien a las condiciones del suelo. La parcela 3, que se encuentra en la parte inferior, será cultivada con lechuga y col. Estas plantas requieren mayor humedad, lo que las hace ideales para cultivar en esta zona, ya que se benefician del agua que se filtra desde la parcela 1.

La parcela 2, ubicada a la derecha de la parcela 1, llevará una plantación de rábano y zanahoria. Estas plantas tienen necesidades de humedad similares y no requieren un suministro de agua constante, más allá de la irrigación semanal. Por último, la parcela 4 será cultivada con

acelga, cuya necesidad de humedad es muy similar a la de la lechuga. Al estar situada en la parte inferior de la parcela 2, la acelga aprovechará la humedad adicional que le proporciona la parcela vecina.

De esta manera se ha logrado seleccionar el tipo de cultivo adecuado para cada parcela, teniendo en cuenta las características del suelo, la pendiente y la humedad. Se espera que cada una de las parcelas alcance su máximo potencial y esto se refleje en la productividad.

5.9. Equipos que se utilizar para el diseño del sistema de riego inteligente

El riego inteligente es una tecnología emergente y cada vez más popular. Este sistema utiliza sensores que monitorizan la humedad del suelo, la temperatura, la humedad ambiente, la luminosidad y otros factores importantes para la salud y el desarrollo de las plantas. Estos sensores están integrados a la tarjeta HTCC-AB02S para conectarse a la red inalámbrica LoRaWAN y transmitir datos a un servidor central. Basándose en esta información, el sistema ayuda a determinar el momento adecuado para realizar el riego.

5.9.1. Equipos de red

Los equipos de red son una parte fundamental en la automatización y control de sistemas de riego, especialmente en entornos agrícolas donde la eficiencia del riego es primordial para el crecimiento y la producción de cultivos. En este sentido, el uso de equipos como el gateway Mikrotik Kit 9 LR, la Antena de fibra de vidrio omnidireccional de 915 MHz y los nodos finales Cubecell HTCC-AB02S, son ventajosos para la implementación del sistema de riego IoT.

5.9.1.1. Gateway Mikrotik Kit 9 LR

El gateway Mikrotik Kit 9 LR es un dispositivo de red que permite la comunicación entre los diferentes nodos de sensores y actuadores en el sistema de riego. Es compatible con el protocolo LoRaWAN, lo que permite una comunicación eficiente y segura en entornos de baja potencia y larga distancia. Además, este dispositivo tiene una alta capacidad de procesamiento y memoria, lo que garantiza la estabilidad y la fiabilidad de la red.

Especificaciones Técnicas del Mikrotik Kit WAP LR9

- Frecuencia nominal de la CPU: 650 MHz
- Sistema operativo: enrutador OS

- Tamaño de RAM: 64 MB
- Tamaño de almacenamiento: 16 MB
- Tipo de almacenamiento: FLASH
- Temperatura ambiente probada: 40°C a 60°C
- Voltaje de entrada del conector de CC: 9-30 V
- Consumo de corriente: 230 mA
- Consumo máximo de energía: 7 W
- Distancia de Comunicación (exterior): 4km
- PoE en: PoE pasivo
- PoE en voltaje de entrada: 9-30 V

5.9.1.2. Antena de fibra de vidrio omnidireccional de 915 MHz- 8 dBi

La Antena de fibra de vidrio omnidireccional de 915 MHz es una herramienta esencial en la transmisión de datos inalámbricos. Esta antena permite una comunicación omnidireccional de larga distancia y es ideal para entornos abiertos como campos agrícolas. Asimismo, esta antena es resistente a la intemperie y a los rayos UV, lo que la hace ideal para su uso en exteriores.

5.9.1.3. Nodos Cubecell GPS HTCC-AB02S

Por su parte, los nodos finales implementados con la tarjeta HTCC-AB02S son dispositivos de baja potencia y larga duración de batería, que se conectan a la red LoRaWAN para monitorear y controlar los sensores y actuadores del sistema de riego. Estos nodos son capaces de medir y enviar datos sobre la humedad del suelo, la temperatura, la luminosidad entre otros. También, los nodos finales Cubecell HTCC-AB02S son compatibles con tecnología LoRaWAN, lo que permite una comunicación eficiente y segura en entornos de baja potencia y larga distancia.

Especificaciones Técnicas de Nodo LoRa Cubecell HTCC-AB02S

- Compatible con Arduino perfecto.
- Compatibilidad con LoRaWAN 1.0.2.
- Sistema de gestión de energía solar a bordo, se puede conectar directamente con un panel solar de 5,5 ~ 7 V.

- Consumo de corriente: 24 mA, 21 uA en modo de suspensión profunda
- Interfaz de batería SH1.25-2 integrada, sistema de gestión de batería de litio integrado (gestión de carga y descarga, protección contra sobrecarga, detección de energía de la batería, conmutación automática de energía de batería/USB).
- Interfaz micro USB con protección ESD completa, protección contra cortocircuitos.
- Blindaje RF y otras medidas de protección.
- Chip integrado CP2102 USB a puerto serie, conveniente para la descarga de programas, impresión de información de depuración.
- Buena adaptación de impedancia y larga distancia de comunicación.
- Pantalla OLED de matriz de puntos de 128 x 64 de 0,96 pulgadas integrada, que se puede utilizar para mostrar información de depuración, energía de la batería y otra información.

La utilización de los equipos de red como el gateway Mikrotik Kit 9 LR, la Antena de fibra de vidrio omnidireccional de 915 MHz y los nodos finales Cubecell HTCC-AB02S, son una solución muy versátil para la automatización y control de sistemas de riego en entornos agrícolas, estos equipos son fáciles de configurar y utilizar, lo que los hace ideales para su uso en sistemas de riego de pequeña y mediana escala.

Entre las principales ventajas que ofrecen estos equipos de red para la automatización y control de sistemas de riego, podemos mencionar la eficiencia en la transmisión de datos, la estabilidad y la fiabilidad de la red, la capacidad de monitoreo y control en tiempo real de los sensores y actuadores, la baja potencia y larga duración de batería de los nodos finales, y la capacidad de comunicación en entornos de baja potencia y larga distancia.

5.9.2. Sensores

Los sensores son dispositivos fundamentales en la era de la tecnología actual, y cada vez son más utilizados para la medición y monitoreo de variables ambientales. Los sensores permiten recolectar información sobre diferentes variables, como la temperatura, la humedad, la luminosidad, entre otras. Los sensores utilizados para el monitoreo de variables ambientales son sensores confiables y de bajo costo.

5.9.2.1. Capacitive soil moisture sensor (EK1940)

Uno de los sensores más utilizados para medir la humedad del suelo es el sensor Capacitive soil moisture sensor. Este sensor utiliza la capacidad del suelo para almacenar agua y mide la variación en la capacitancia del suelo para determinar la humedad. Este tipo de sensor es confiable y fácil de usar, y su bajo costo lo hace una excelente opción para la agricultura y el monitoreo de jardines o huertos.

Especificaciones Técnicas de sensor EK1940

- Voltaje de alimentación: 3.3V - 5V DC
- Consumo de corriente: 5 mA
- Voltaje de la señal de salida: 0 a 3V (Analógico)
- Modelo: capacitive soil moisture sensor v1.2
- Vida útil: 3 años mín.
- Conector: PH2.0-3P
- Chip regulador de voltaje integrado, compatible con 3.3-5.5V DC
- Aplicaciones: Plantas de jardín, detección de humedad, agricultura inteligente

5.9.2.2. DHT22

Para medir la temperatura y humedad ambiente, se utiliza el sensor DHT22. Este sensor es capaz de medir la humedad relativa del aire y la temperatura ambiente con alta precisión. Además, el DHT22 utiliza un sensor capacitivo para medir la humedad relativa y un termistor para medir la temperatura ambiente. Este tipo de sensor es ampliamente utilizado en aplicaciones de automatización del hogar y en sistemas de monitoreo ambiental y agrícola.

Especificaciones Técnicas de sensor DHT22

- Voltaje de operación: de 3.3V a 5V
- Consumo de corriente: 1.5mA máximo durante la medición, 0.3mA en espera
- Salida - Señal digital
- Medición de temperatura entre -40 y 80 °C, con una precisión de 0.5°C a 25°C.
- Resolución de medición de temperatura: 8 bits, 0.1°C
- Medición de humedad entre 0 y 100%, con una precisión de 2-5% para temperaturas entre 0 y 50°C.

- Resolución de medición de temperatura: 8 bits, 0.1%
- Frecuencia de muestreo de 2 muestras / s: 2Hz
- Interfaz de Comunicación: 1-wire (protocolo serial de una sola línea)

5.9.2.3. *GY-30*

Finalmente, para medir la luminosidad, se utiliza el sensor GY-30. Este sensor mide la intensidad de la luz ambiental en lux y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo la medición de la luminosidad en interiores y exteriores. El GY-30 es un sensor económico y fácil de usar, lo que lo hace una excelente opción para aplicaciones de automatización del hogar y sistemas de monitoreo ambiental.

Especificaciones Técnicas de sensor GY-30

- Voltaje de operación: 3 - 5v.
- Consumo de corriente: 0.12mA en modo activo, 0.01mA en modo de espera.
- Tiempo de respuesta: 16ms a 180ms (dependiendo del modo de operación).
- Rango de datos: 0-65535 Lx.
- Temperatura de operación: -40°C a 85°C.
- Salida digital directa.
- Interfaz de comunicación: I2C (Inter-Integrated Circuit).

Los sensores utilizados para el monitoreo de las variables ambientales son dispositivos confiables y de bajo costo. Cada uno de los sensores mencionados anteriormente, el sensor EK1940, el DHT22 y el GY-30, se utilizan para medir diferentes variables ambientales y son ampliamente utilizados en aplicaciones de agricultura, automatización del hogar y sistemas de monitoreo ambiental.

5.9.3. *Actuadores*

Los actuadores son dispositivos utilizados para convertir la energía en movimiento o trabajo mecánico. En el caso de los sistemas de monitoreo y control de un sistema de riego inteligente, los actuadores son una parte esencial para llevar a cabo las acciones necesarias en función de la información recopilada por los sensores. Los actuadores utilizados en el sistema a implementar son básicamente de dos tipos: las electroválvulas y la electrobomba.

5.9.3.1. *Electroválvulas*

Las electroválvulas son actuadores que permiten controlar el flujo de líquidos o gases en un sistema. En el caso específico del sistema de monitoreo y control a implementar, se utilizan las electroválvulas solenoide de latón de 3/4" 110V CA normalmente cerrada. Estas electroválvulas son ideales para el control del riego en aplicaciones agrícolas, huertos, jardines y otros sistemas de irrigación. La electroválvula solenoide es un dispositivo que se activa mediante un impulso eléctrico y que permite controlar la apertura o cierre del flujo de agua en un sistema.

Características de electroválvula solenoide eléctrica de latón de 3/4" 110V CA

- Voltaje de operación: 110 v.
- Consumo de corriente de 0.19 A.
- Potencia: 21 W.
- Apertura de flujo 20 mm.
- Modo de operación normalmente cerrado.
- Rango de presión operativa Para agua y aire: 0 a 128 PSI.
- Capacidad de flujo 7,6 galones por minuto.
- Temperatura operativa 0 a 120 °C.

5.9.3.2. *Electrobomba*

La electrobomba es un actuador utilizado para aumentar la presión del flujo de agua en el sistema. En el sistema de monitoreo y control de riego a implementar, se utiliza la electrobomba Pedrollo de 1 Hp 110V. Esta bomba es ideal para la distribución de agua en aplicaciones de riego agrícola, sistemas de agua potable y otros sistemas de distribución de líquidos. Esta bomba es altamente confiable y de bajo consumo de energía.

Características de electrobomba Pedrollo de 1 Hp 110V

- Potencia: 1 HP.
- Voltaje de operación: 110 V. MONOFASE.
- Consumo de corriente: 6.8 A.
- Succión: 1 pulg.
- Descarga: 1 pulg.

- Caudal (máx.): 50 lpm.
- Altura (máx.): 66 m.
- Características: Irrigación, abastecimiento de agua, sistemas de presión.

Los actuadores utilizados para el monitoreo y control en el sistema de riego inteligente son esenciales para llevar a cabo las acciones necesarias en función de la información recopilada por los nodos sensores. Las electroválvulas son ideales para el control del flujo de agua en sistemas de irrigación, permitiéndonos realizar este proceso de irrigación por secciones solo en el área y el cultivo específico que lo requiere, mientras que la electrobomba es una excelente opción para incrementar la presión de agua en aplicaciones de riego y otros sistemas de distribución de líquidos, logrando una distribución uniforme y controlada en el lugar y tiempo preciso que se necesita.

5.10. Programas y plataformas utilizados

Para el monitoreo y control del sistema de riego inteligente, ha sido necesario utilizar diferentes programas que permiten realizar funciones determinadas. En primer lugar, para programar las tarjetas Cubecell GPS HTCC-AB02S, responsables de la toma, envío y recepción de datos (Nodos Sensor y Nodo Actuador) por medio de la tecnología LoRaWAN, ha sido necesario utilizar el software IDE Arduino, el cual es compatible con este tipo de dispositivo siempre y cuando se incluyan las librerías y tarjetas necesarias para este fin. Además, se utilizó la plataforma The Things Network, que cumple la función de network server para conecta los nodos finales y gateway con la aplicación superior asegurando la seguridad y fiabilidad de los datos en toda la cadena de comunicación. Asimismo, se ha utilizado la plataforma IoT Ubidots como la aplicación superior para el monitoreo, visualización y análisis de datos de este proyecto en tiempo real. Esto es posible gracias a la integración por medio de un plugin utilizando el protocolo HTTP entre las plataformas Ubidots y The Things Network.

5.10.1. IDE Arduino

Uno de los programas utilizados para programar las tarjetas CubeCell GPS HTCC-AB02S es el IDE Arduino. Este software es muy popular entre los desarrolladores de hardware y software, y es compatible con una amplia gama de dispositivos, incluyendo el CubeCell GPS

HTCC-AB02S. Para programar estas tarjetas, es necesario incluir las librerías y configuraciones adecuadas en el software Arduino. Arduino IDE es una plataforma de hardware y software de código abierto que permite a los usuarios crear códigos de sistemas electrónicos de forma rápida y sencilla.

A continuación, se explicarán las partes más importantes del código utilizado para los nodos sensores, el cual se encuentran en el Anexo 6.

En las líneas 1 a 7 se muestra una parte esencial del código. Se incluyen varias librerías fundamentales para el funcionamiento del sistema. La primera, "LoRaWan_APP.h", permite la comunicación entre los nodos finales mediante la tecnología LoRaWAN y la programación de las tarjetas CubeCell. La segunda librería, "Arduino.h", facilita el uso de las funciones básicas de Arduino. La tercera librería, "Wire.h", habilita la comunicación I2C necesaria para interactuar con el sensor de intensidad de luz BH1750, cuya librería se incluye en la cuarta línea. Además, la librería "DHT.h" se utiliza para el sensor de temperatura y humedad DHT22, mientras que "Math.h" proporciona funciones matemáticas esenciales para los cálculos necesarios en el sistema. Finalmente, la librería "HT_SSD1306Wire.h" se utiliza para controlar la pantalla OLED, permitiendo visualizar datos en tiempo real.

Para la activación de la comunicación de los nodos sensores y nodo actuador se ha utilizado el método Over-The-Air Activation (OTAA), considerado el más seguro. Para utilizar OTAA en una tarjeta CubeCell GPS HTCC-AB02S con Arduino IDE, se necesita acceso a una red LoRaWAN que admita este método de activación y se debe tener la información de activación obtenida de los dispositivos creados en The Things Network (TTN), que incluye los parámetros DevEui, AppEUI y AppKey.

Pasos para Utilizar OTAA en la Tarjeta CubeCell GPS HTCC-AB02S:

- Configurar las claves de acceso de red y de sesión de aplicación en el código (líneas 12 a 14, Anexo 6): Estas claves son proporcionadas por el servidor de la red LoRaWAN y deben ser configuradas en el código antes de cargarlo en la tarjeta CubeCell.
- Incluir las bibliotecas necesarias para la comunicación LoRaWAN: Esto incluye la biblioteca específica de la tarjeta CubeCell y la biblioteca LoRaWAN.

- Configurar los parámetros de la red LoRaWAN en el código: Estos parámetros incluyen el canal de comunicación, la frecuencia, el ancho de banda y otros detalles de la configuración de la red.
- Inicializar el dispositivo: En el código de Arduino, se debe inicializar el dispositivo para que pueda conectarse a la red LoRaWAN. Esto incluye la configuración de la frecuencia y la transmisión de un mensaje de activación para que la red LoRaWAN pueda reconocer y activar el dispositivo.
- Enviar y recibir datos: Después de que el dispositivo esté activado, se puede enviar y recibir datos a través de la red utilizando la biblioteca LoRaWAN.

Luego de incluir las librerías de cada sensor y establecer la comunicación LoRaWAN, se procedió a definir las variables para almacenar los datos recolectados por los sensores. La variable “hum” almacenará los valores de la humedad relativa o ambiente tomada por el sensor DHT22, la variable “tem” almacena los valores de temperatura recolectados por este mismo sensor, la variable “Hum_Ab” recolecta los datos de humedad absoluta o del suelo tomada por el sensor capacitivo y por último la variable “lux” almacena los datos de intensidad de luz obtenidos con el sensor GY-30. Como siguiente paso, se procede a inicializar las librerías necesarias para la toma de datos y leer los valores de cada sensor.

En las líneas 69 a 90 del código (Anexo 6), se muestra el proceso de empaquetar los datos en una trama para enviarlos al servidor de red (network server). Este proceso comienza con la formación del payload, donde se decodifican los datos en The Things Network. Para ello, se utiliza un puntero a unsigned char para acceder a los valores de humedad relativa (hum), temperatura ambiente (tem), humedad del suelo (Hum_Ab) e intensidad de luz (lux). Estos valores se convierten en un arreglo de bytes que se almacena en el buffer appData. El tamaño del payload se establece en 16 bytes, con cada conjunto de datos ocupando 4 bytes en la trama. De esta manera, los primeros cuatro bytes corresponden a la humedad relativa, los siguientes cuatro a la temperatura ambiente, luego la humedad del suelo y finalmente la intensidad de luz. Este método asegura que todos los datos necesarios se empaqueten correctamente antes de su envío para su posterior procesamiento y análisis.

De igual forma se detallan las partes más importantes del código utilizado para el nodo actuador. En el código proporcionado (Anexo 7), se destacan varias secciones clave que permiten la configuración, inicialización, y manejo del nodo actuador. En las líneas 29-35, se declaran los pines utilizados para cada actuador, estableciendo las conexiones físicas necesarias para controlar los dispositivos conectados. A continuación, en las líneas 36-50, se prepara la trama de transmisión que permite enviar datos a través de la red LoRaWAN, asegurando que los mensajes se envíen correctamente. La sección de manejo de datos downlink, ubicada en las líneas 51-78, se encarga de procesar los datos recibidos desde la red LoRaWAN (downlink), lo que permite controlar los actuadores en función de los comandos recibidos. Finalmente, en las líneas 79-108, se configura inicialmente los pines como salidas y se prepara el dispositivo para operar en la red LoRaWAN. El ciclo principal del programa, descrito en las líneas 109-168, gestiona el estado del dispositivo a través de diferentes fases, incluyendo la inicialización, unión a la red, envío de datos, ciclo de espera, y modo de sueño. Este código completo, detallado en el Anexo 7, permite la integración eficiente del nodo actuador con la red LoRaWAN, facilitando su control y operación remota.

5.10.2. The Things Network

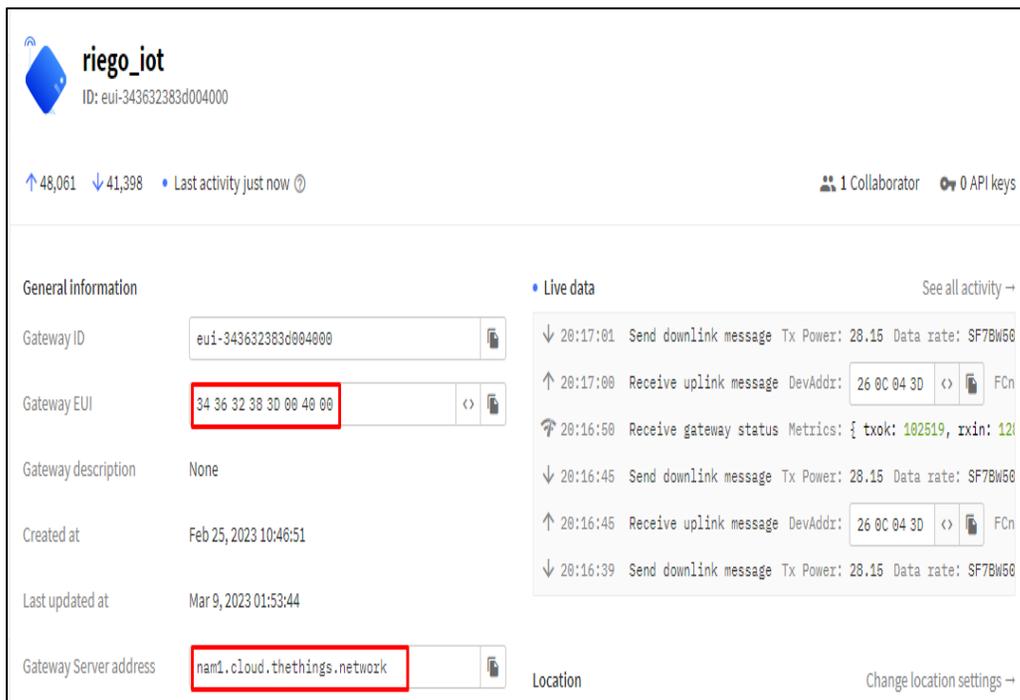
Esta plataforma es un servicio de infraestructura de Internet de las cosas (IoT) que permite a los usuarios conectar dispositivos con la aplicación superior para almacenar y procesar los datos enviados por estos dispositivos. The Things Network también proporciona una interfaz gráfica de usuario (GUI) que permite a los usuarios configurar y gestionar los dispositivos, los nodos y los gateways de IoT. Esta plataforma proporciona una forma segura y escalable de conectar, procesar y administrar los dispositivos IoT. Permite a los usuarios almacenar y enviar grandes cantidades de datos a la aplicación superior como lo es Ubidots, para monitorear y controlar los actuadores utilizados en la automatización del sistema de riego inteligente. The Things Network se integra perfectamente con otras plataformas de IoT, como lo es la plataforma de aplicación Ubidots.

La Figura 19, muestra los parámetros configurados en el registro del Gateway de la red LoRaWAN en la plataforma The Things Network, implementada para el monitoreo y control del

sistema de riego inteligente en donde se ingresa el Gateway EUI “343632383D004000” que viene en el dispositivo Mikrotik y la plataforma TTN proporciona el Gateway Server address “nam1.cloud.thethings.network” que se debe incluir en la configuración de la interfaz LoRa del dispositivo registrado.

Figura 19

Registro de Gateway Lora en plataforma The Things Network



Nota. La Presente figura muestra el registro del Gateway en la plataforma TTN que se utilizara como servidor de red para el procesamiento de datos. Fuente: Autor

La Figura 20, muestra los parámetros que se requieren para crear una aplicación dentro de la plataforma TTN y de esta manera poder administrar, procesar y controlar los datos almacenados, algo importante por mencionar es que crear esta aplicación es esencial para poder añadir los dispositivos finales como son los cuatro nodos sensores y el un nodo actuador que incluye el sistema de riego Inteligente.

Figura 20

Creación de aplicación para almacenamiento y procesamiento de datos

The screenshot shows the 'Create application' page in the The Things Stack Sandbox. The navigation bar at the top includes 'THE THINGS NETWORK', 'THE THINGS STACK SANDBOX', and menu items for 'Overview', 'Applications', 'Gateways', and 'Organizations'. The main heading is 'Create application'. Below it, there is explanatory text: 'Within applications, you can register and manage end devices and their network data. After setting up your device fleet, you can pass relevant data to your external services. Learn more in our guide on [Adding Applications](#).' The form contains three input fields: 'Application ID*' with the value 'riegos-cubecell', 'Application name' with the value 'IoT de Riego', and a 'Description' text area containing 'Monitoreo de variables ambientales para control de sistema de riego Inteligente en un huerto familiar de San pedro de Vilcabamba'. A note below the description states: 'Optional application description; can also be used to save notes about the application'. At the bottom of the form is a blue 'Create application' button.

Nota. La Presente figura muestra la forma como se debe crear una aplicación que pueda administrar los nodos sensores y actuadores del sistema implementado. Fuente: Autor.

En la Figura 21, se ilustra el proceso de registro de los dispositivos finales a la plataforma The Things Network, en donde se debe generar la información de activación como el DivEUI, AppEUI y AppKey que son los parámetros que se deben incluir en el código de IDE Arduino para poder establecer la activación OTAA y de esta manera establecer la comunicación de los nodos finales a través de la red LoRaWAN.

Figura 21

Registro de dispositivos finales

Provisioning information

JoinEUI ⓘ *

AD E3 B8 79 BC FD 22 B9

This end device can be registered on the network

DevEUI ⓘ *

70 B3 D5 7E D0 06 90 98 9/50 used

AppKey ⓘ *

2D ED 5C 90 9C 4A EE 2A 95 46 E2 2A B9 0C 18 C0

End device ID ⓘ *

eui-70b3d57ed0069098-cubecell1

This value is automatically prefilled using the DevEUI

After registration

View registered end device

Register another end device of this type

Nota. La Presente figura muestra el proceso de registro de dispositivos finales utilizados para vincular los nodos sensores y actuadores a este servidor en la nube. Fuente: Autor

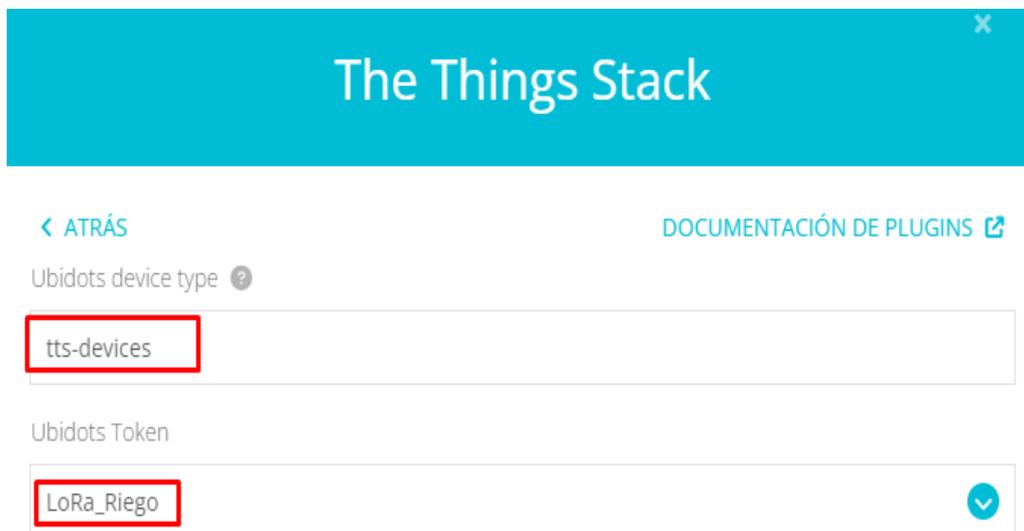
5.10.3. Ubidots

Fue necesario utilizar esta plataforma IoT debido a que a más del monitoreo de las variables consideradas en este proyecto nos permite el control de los actuadores que regulan el riego de forma individual en cada una de las parcelas del cultivo.

Para poder integrar Ubidots con el cloud The Things Network luego de haber creado una cuenta en esta plataforma se debe crea un plugin o complemento que nos permita enviar la información obtenida en el servidor de red (TTN), es necesario configurar el tipo de dispositivo y el token que utilizara como entrada el complemento, se muestra en la Figura 22.

Figura 22

Plugin o complemento creado



The Things Stack

< ATRÁS DOCUMENTACIÓN DE PLUGINS

Ubidots device type ?

tts-devices

Ubidots Token

LoRa_Riego

Nota. La figura muestra los parámetros que se debe configurar para el plugin dentro de la plataforma IoT Ubidots. Fuente: Autor

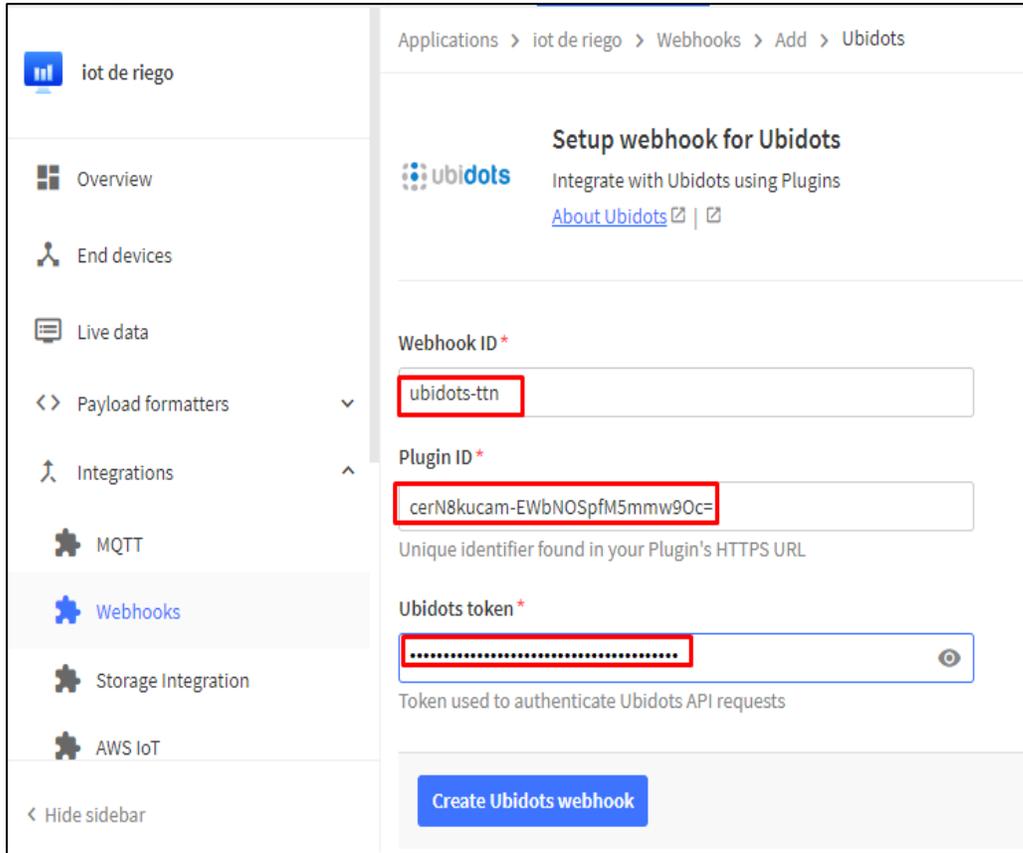
Al momento de establecer el plugin se crea una URL privada optimizada para recibir la carga útil JSON de The Things Stack de igual forma Ubidots creará automáticamente un dispositivo cada vez que se reciba una carga útil de un nuevo dispositivo a esto se le conoce como salidas del complemento Ubidots.

Después de crear este plugin o complemento, haga clic en el botón "Editar", luego vaya a "Decodificador" y copie la del URL del punto final HTTP, esto con la finalidad de utilizar el ID del plugin que se encuentra al final de la URL.

Como siguiente paso será dirigirnos a la plataforma TTN seleccionar la aplicación deseada, luego hacer clic en Integraciones elegimos la opción de Webhooks, luego haga clic en agregar webhook elegimos Ubidots y completamos los datos necesarios que se obtienen del plugin Ubidots tal como se muestra en la Figura 23.

Figura 23

Integración Ubidots-ttn mediante Webhook



Nota. La figura muestra la información que se debe configurar para establecer comunicación entre el complemento de Ubidots y TTN. Fuente: Autor

Por último, en la plataforma Ubidots, edite la función de decodificación que se muestra en la sección Decodificador del plugin para que coincida con su carga útil personalizada del JSON que se envía desde la plataforma TTN (Anexo 4).

Luego de haber realizado correctamente todos estos pasos, es posible visualizar los dispositivos que se encuentran en la aplicación de TTN en la plataforma Ubidots. En la Figura 24, se pueden visualizar los dispositivos finales correspondientes a los cuatro nodos sensores con sus respectivos IDs, como “eui-70b3d57ed005ad28-cubecell1”. En la parte final del ID, se

encuentra el número que indica a qué parcela corresponde cada dispositivo. Asimismo, se puede apreciar el dispositivo correspondiente al nodo actuador.

Figura 24

Dispositivos ttn en ubidots

<input type="checkbox"/>	Nombre	API Label	Última actividad	Creado en ↓	
<input type="checkbox"/>	Prueba riego IoT	prueba-riego-iot	2 days ago	2024-07-10 14:46:29	
<input type="checkbox"/>	eui-70b3d57ed0060a5e-cubecell4	eui-70b3d57ed0060a5e-cubecell4	6 minutes ago	2023-08-31 17:21:02	
<input type="checkbox"/>	eui-70b3d57ed0060a5d-cubecell3	eui-70b3d57ed0060a5d-cubecell3	a few seconds ago	2023-08-31 17:14:56	
<input type="checkbox"/>	eui-70b3d57ed005ad28-cubecell1	eui-70b3d57ed005ad28-cubecell1	12 minutes ago	2023-08-29 15:54:23	
<input type="checkbox"/>	eui-70b3d57ed005ad29-cubecell2	eui-70b3d57ed005ad29-cubecell2	14 minutes ago	2023-08-29 10:45:37	
<input type="checkbox"/>	node-actuador-riego-iot	node-actuador-riego-iot	a few seconds ago	2023-08-29 10:44:17	

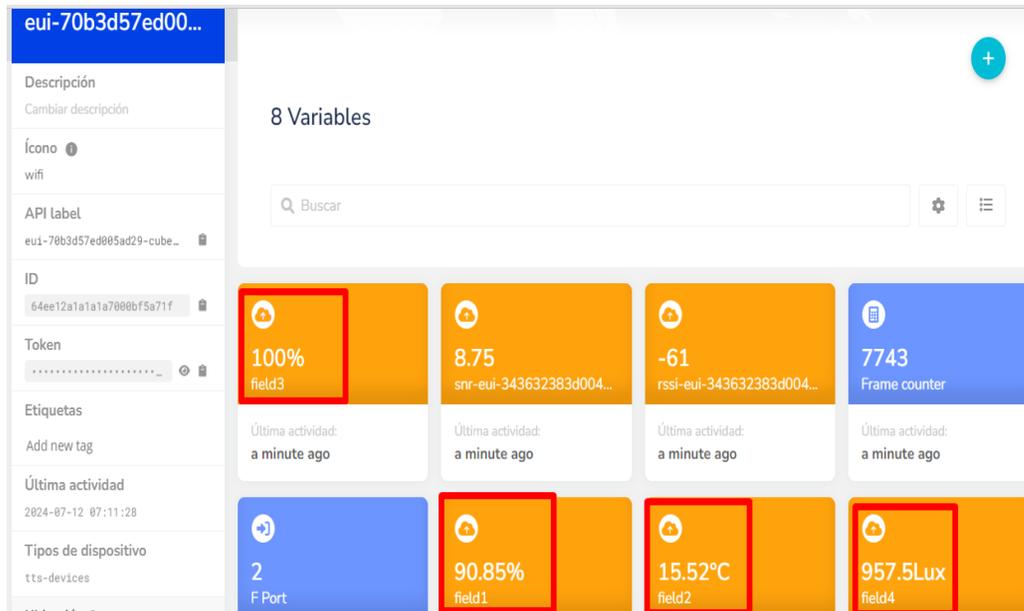
Nota. En esta figura se puede apreciar los dispositivos que se han agregado automáticamente al integrar ttn con Ubidots mediante el plugin establecido.

Fuente: Autor

Si se selecciona cualquiera de los dispositivos, se podrá visualizar las variables de cada uno de estos nodos finales. En la Figura 25 se muestran ocho variables: cuatro correspondientes a las medidas de las condiciones ambientales y del suelo, y cuatro que indican el estado de la comunicación. Estas variables son cruciales para entender el entorno monitoreado y la eficiencia de la transmisión de datos.

Figura 25

Variables de los nodos sensores



Nota. La figura indica todas las variables que se decodifican para el monitoreo de datos obtenidos desde los nodos sensor. Fuente: Autor.

- **field1:** Muestra los valores medidos de humedad ambiente, expresada en porcentaje. Esta variable es fundamental para evaluar el nivel de humedad en el aire, lo cual puede influir en la salud de las plantas y en el microclima de la zona monitoreada.
- **field2:** Presenta los valores medidos de temperatura ambiente, expresados en grados Celsius. La temperatura es un factor crítico para el crecimiento de las plantas y el desarrollo de cultivos.
- **field3:** Indica los valores medidos de humedad absoluta o del suelo, expresada en porcentaje. Conocer la humedad del suelo permite optimizar el riego, evitando el desperdicio de agua y asegurando que las plantas reciban la cantidad necesaria para su desarrollo adecuado.
- **field4:** Expone los valores medidos de luminosidad, expresados en lux. La cantidad de luz disponible es vital para la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas, por lo que su

monitoreo ayuda a identificar si las plantas están recibiendo suficiente luz solar o si necesitan algún ajuste en su entorno.

- **SNR (Signal-to-Noise Ratio):** Relación entre la potencia de la señal y el ruido de fondo. Un valor más alto indica una señal más clara. Este parámetro es esencial para garantizar una comunicación eficiente y sin interferencias entre los nodos sensores y el sistema central.
- **RSSI (Received Signal Strength Indicator):** Indicador de la fuerza de la señal recibida. Un valor más alto señala una señal más fuerte. Este indicador ayuda a determinar la calidad de la conexión inalámbrica, permitiendo ajustes en la ubicación de los dispositivos o en la configuración del sistema para mejorar la recepción.
- **Frame Counter:** Contador de tramas que registra el número de mensajes enviados por el dispositivo. Este contador es útil para llevar un seguimiento de la actividad del dispositivo y asegurar que la transmisión de datos se realiza correctamente, sin pérdidas ni duplicaciones.
- **FPort (Frame Port):** Puerto de la trama utilizado para identificar el tipo de aplicación o servicio que emplea el dispositivo. Este parámetro permite diferenciar entre los distintos tipos de datos transmitidos, facilitando la gestión y el análisis de la información recolectada por los sensores.

La visualización de estas variables no solo permite monitorear las condiciones ambientales y del suelo de manera precisa, sino que también garantiza una comunicación eficiente y confiable entre los dispositivos y el sistema central, lo cual es esencial para garantizar la eficiencia del sistema.

Ubidots es una plataforma de gestión de datos IoT que permite a los usuarios visualizar y analizar datos en tiempo real. En la Figura 26 se muestra un dashboard o tablero de visualización de datos diseñado para presentar de manera clara y comprensible la información recopilada por los nodos sensores.

Figura 26

Dashboard de monitoreo y control



Nota. La figura indica todas las variables ambientales medidas para el monitoreo y control del sistema de riego IoT. Fuente: Autor.

Para facilitar su comprensión, se ha marcado la sección de monitoreo en color naranja y la de control en color verde. En la parte de monitoreo, tenemos en la primera fila los siguientes elementos:

- **Humedad ambiente:** Mostrada en un medidor color violeta.
- **Temperatura:** Presentada mediante una métrica color verde.
- **Luminosidad:** Visualizada a través de un indicador en forma de batería.
- **Humedad absoluta o del suelo:** Se muestra en la segunda fila, dispuestas secuencialmente de izquierda a derecha la medida de las cuatro parcelas.

Debajo de estos medidores, en la sección de control (marcada en color verde), se encuentran los activadores correspondientes a cada parcela, situados justo debajo de los medidores de humedad absoluta.

CAPITULO III

5.11. Diseño e Implementación del Sistema de Riego Inteligente

5.11.1. Situación actual

En la parroquia San Pedro de Vilcabamba, la mayoría de sus habitantes tiene un huerto cerca de su casa, con el propósito de sembrar legumbres, hortalizas y otras variedades de plantas que les sirvan para su sustento. Si la producción es buena, también pueden vender sus productos. Sin embargo, en la parte alta de esta parroquia no cuentan con un canal de riego. Por esta razón, las personas que tienen sus huertos en esta zona se limitan a sembrar sus productos solo en época de invierno o utilizan el agua potable para regar sus cultivos. Esto provoca un consumo mensual excesivo de agua, lo que se refleja en valores elevados en el pago de la planilla mensual de este servicio.

Para solventar este inconveniente, es necesario diseñar un sistema de riego inteligente que permita aprovechar al máximo el recurso hídrico, logrando ahorrar en algunos casos hasta más del 50% del consumo de agua que se desperdicia por no contar con un sistema de riego tecnificado.

5.11.2. Área a intervenir en el diseño

La implementación del sistema propuesto se llevó a cabo en un huerto familiar ubicado en el barrio Cararango, sector Tucu-Tuco. Este lugar fue elegido porque se encuentra en una de las zonas más altas de la Parroquia San Pedro de Vilcabamba, lo que lo hace ideal para demostrar la eficiencia del sistema.

El barrio Cararango está situado al noroeste de la Parroquia San Pedro de Vilcabamba, en el límite con la vecina parroquia de Malacatos. Según datos de la página oficial de esta parroquia, "Es uno de los barrios más antiguos de San Pedro de Vilcabamba, ubicado en el kilómetro 36 de la vía Loja-Vilcabamba. Sus habitantes se dedican mayormente a la agricultura (hortalizas, verduras, maíz, fréjol, caña, yuca y café) y a la crianza de animales. Además, cuenta con una vista privilegiada del valle de Vilcabamba; los turistas pueden visitar lugares como el mirador de Tucu-Tuco para disfrutar de una vista espectacular".

Por estas razones, se delimitó este lugar para realizar el análisis y diseño del sistema de riego inteligente. Se consideró que esta área es un huerto familiar que ha estado en actividad por más de cinco años, funcionando solo en la época de invierno.

Figura 27

Delimitación del Área donde se implementó el sistema de Riego



Nota. En la figura se muestra la ubicación exacta del área donde se implementó el sistema de riego inteligente. Fuente: Autor

El Área denotada como H1 en la Figura 27, obtenida de la plataforma Google Earth, es el huerto familiar que se encuentra en la parte frontal de la casa de su propietaria y es donde se implementó el sistema de riego inteligente, este huerto es de aproximadamente 360 m² y sus coordenadas geográficas son: Latitud 4° 14' 8.57" S y Longitud 79° 14' 10.25" O.

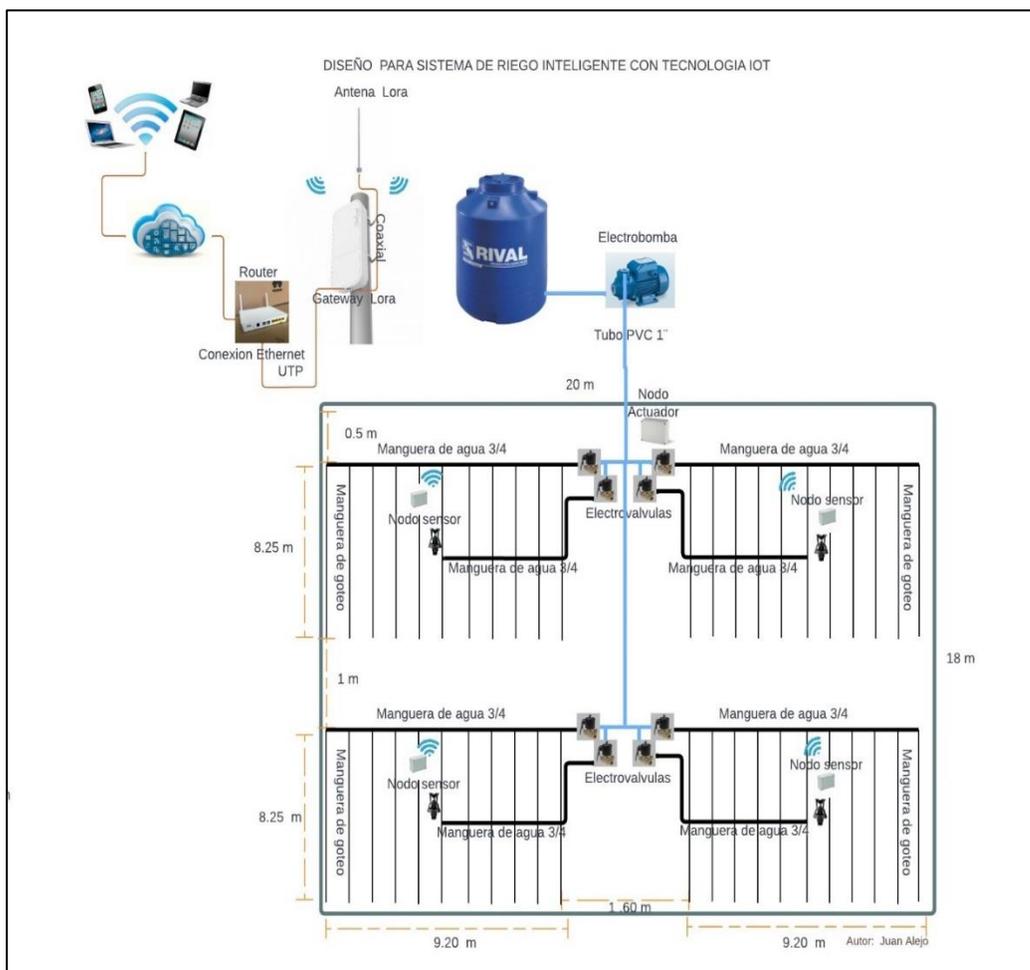
5.11.3. Diseño del sistema de riego inteligente

En la Figura 28, se detalla el diseño completo del sistema de riego, donde se puede observar que el huerto tiene una forma rectangular de 20 metros de largo por 18 metros de ancho. Para una mejor organización, se dividió el huerto en 4 secciones o parcelas de 8.25 metros de ancho por 9.20 metros de largo. Se dejó un espacio libre de 50 cm en la cabecera, y un espacio

de 1 metro que divide la parcela 1 y 3, así como la parcela 2 y 4. Además, en la intersección central, que es el acceso principal al huerto, se dispuso un espacio de 1.60 metros para permitir un acceso cómodo. También se puede visualizar las partes que integran el sistema así como su distribución en el área a implementar.

Figura 28

Esquema del diseño de sistema de riego Inteligente



Nota. En esta figura se indica el diseño del sistema, en donde se tiene la parte eléctrica para actuadores como electrobomba y electroválvulas, tubería para parte hidráulica y el gateway lora y los módulos sensores y actuador para la parte de red de comunicación. Fuente: Autor.

5.11.4. Implementación del sistema de riego Inteligente

Para la implementación del diseño de riego inteligente, fue necesario llevar a cabo una serie de tareas documentadas a continuación. En primer lugar, se realizó la excavación para la instalación de la matriz del sistema de riego, como se muestra en la Figura 29. Esta fase inicial incluyó la preparación del terreno, asegurando que las zanjas fueran de la profundidad y anchura adecuadas para acomodar las tuberías principales del sistema. La correcta instalación de esta matriz es crucial, ya que constituye la columna vertebral del sistema de riego, permitiendo una distribución eficiente y controlada del agua a todas las parcelas del huerto.

Figura 29

Excavación para distribución de matriz de agua y doctos eléctricos



Nota. En la figura se indica la excavación necesaria para enterrar la tubería y los ductos eléctricos del sistema de riego inteligente para Fuente: Autor

Luego de la excavación lo siguiente fue instalar la tubería que distribuye el riego en las cuatro parcelas del huerto, asimismo se procedió a instalar los ductos eléctricos para el control de las electroválvulas que son las que suministran el riego a cada sección del cultivo como se visualiza en la Figura 30.

Figura 30

Implementación matriz y ductos eléctricos del sistema de riego



Nota. La figura muestra el proceso de instalación de tubería matriz y ductos eléctricos del sistema. Fuente: Autor.

La tubería utilizada en esta instalación es de $\frac{3}{4}$ de pulgada esto con la finalidad de no disminuir abruptamente el diámetro de salida de la electrobomba ya que esto afectaría el rendimiento de la misma. En cuanto al ducto eléctrico se utilizó manguera de $\frac{1}{2}$ pulgada una por cada electroválvula con el objetivo de no tener problemas al momento de pasar el cable por dichos ductos.

La Figura 31, muestra el proceso de instalación de las electroválvulas, las cuales se activarán y desactivarán automáticamente cuando la parcela requiera irrigación. Este proceso se realizará enviando un pulso de alerta desde la aplicación desarrollada para el monitoreo y control de todo el sistema. Este pulso de 5V activará un relé que se encargará de encender y apagar las electroválvulas.

Figura 31

Instalación de electroválvulas para el control del sistema de riego



Nota. La figura muestra cómo se procedió a instalar las electroválvulas para el control y automatización del sistema de riego. Fuente: Autor

Para proteger las electroválvulas de la humedad o cualquier otro factor que pueda dañarlas, se construyeron cajas de revisión de 50 x 50 centímetros. Cada parcela cuenta con una de estas cajas, que alberga dos electroválvulas en su interior. Estas cajas no solo proporcionan protección, sino que también facilitan el acceso para mantenimiento y revisión, asegurando un funcionamiento óptimo y duradero del sistema de riego.

Para controlar todo el sistema de riego inteligente es necesario tener un núcleo o centro de control (Figura 32) que se encarga de la activación y desactivación de la electrobomba y las válvulas que permiten el proceso de irrigación por secciones. Dentro de esta caja de control se encuentran los breakers, el contactor y los relés que serán los encargados de la automatización del sistema, energizando y desenergizando los circuitos de acuerdo a los requerimientos de los cultivos del huerto. Este centro de control actúa como el cerebro del sistema. Además, garantiza que cada

sección del huerto reciba la cantidad adecuada de agua, optimizando así el uso de recursos y mejorando la eficiencia del riego.

Figura 32

Caja de control del sistema de riego



Nota. La figura muestra la instalación de la caja de control de todo el sistema en donde se automatiza los procesos de encendido y apagado de los actuadores del sistema.

Fuente: Autor

Para garantizar que el sistema de riego cumpla con los requerimientos de ahorro de agua se procedió a instalar el sistema de riego por goteo (Figura 33) en las cuatro parcelas que conforman el huerto, para la instalación de este sistema fue necesario utilizar una maguera lateral matriz de $\frac{3}{4}$ de pulgada de donde se distribuye las entradas de la maguera de goteo de 16 mm por cada surco de la parcela que se encuentran a 60 cm de distancia aproximadamente.

Figura 33

Instalación de manguera de goteo



Nota. La figura ilustra como ha quedado el huerto luego de la instalación del sistema de riego por goteo en las parcelas. Fuente: Autor.

La Figura 34 ilustra el proceso de construcción de las placas para los nodos finales. Se han utilizado placas perforadas de 10x15 cm, en las cuales se ha colocado la tarjeta CubeCell HTCC-AB02S. Además, se han dispuesto las correspondientes salidas para conectar los sensores en los nodos sensores y los relés en el nodo actuador. Los sensores están destinados a medir las variables ambientales, mientras que los relés se utilizan para controlar el encendido y apagado de las electroválvulas. Este diseño permite una fácil integración y conexión de los componentes necesarios para el correcto funcionamiento de los nodos en el sistema.

Figura 34

Construcción de placas para los nodos finales



Nota. La figura ilustra como se realizó la soldadura de las placas perforadas que integrara los dispositivos que conforman los nodos finales. Fuente: Autor.

En la Figura 35 se puede observar la preparación de las cajas de protección para los nodos sensores. La fotografía muestra cómo se colocaron las cajas de plástico, que miden 15x15 cm, sobre bases de 50 cm de altura. Estas cajas fueron adaptadas y preparadas para su instalación en cada parcela. Este proceso garantiza que los nodos sensores queden bien protegidos contra las condiciones ambientales, asegurando así el funcionamiento fiable y continuo del sistema de riego inteligente.

Figura 35

Construcción de las cajas de protección para los nodos sensores



Nota. La figura muestra cómo se adaptaron las cajas de protección para los nodos sensores. Fuente: Autor.

Una vez implementada toda la parte eléctrica e hidráulica y construidos los nodos finales, el siguiente paso fue levantar la red LoRaWAN. Esta red permite la comunicación entre los nodos sensores y el centro de control. La configuración y optimización de la red LoRaWAN garantizaron una transmisión de datos fiable, permitiendo el monitoreo y control remoto del sistema de riego inteligente.

Para construir la red LoRaWAN, se realizó un análisis en Radio Mobile (Anexo 3) utilizando las especificaciones de los equipos adquiridos, con el fin de determinar la mejor ubicación para los componentes de la red. Este análisis fue decisivo para garantizar una línea de vista óptima y alcanzar la mejor cobertura posible de la red inalámbrica. Después de realizar el

análisis, se decidió instalar el gateway en la terraza de la propietaria del huerto familiar, como se muestra en la Figura 36.

Figura 36

Instalación de equipos red LoRaWAN



Nota. La figura muestra la ubicación en donde se procedió a instalar el Gateway y la antena para levantar la red LoRaWAN. Fuente: Autor.

El gateway se encuentra conectado mediante un puerto PoE (Power over Ethernet), el cual está directamente vinculado al router que proporciona el servicio de internet. Esta configuración asegura una conexión estable y continua, necesaria para el funcionamiento eficiente del sistema de riego inteligente y para la transmisión de datos a través de la red LoRaWAN.

La Figura 37, muestra la disposición final de los nodos sensores y el nodo actuador en sus respectivas ubicaciones, destacando cómo cada componente del sistema está estratégicamente situado para maximizar la eficiencia y cobertura del sistema de riego inteligente. En la figura, se denota como NS P1 la ubicación del nodo sensor de la parcela 1, NS P2 donde está ubicado el nodo sensor de la parcela 2, NS P3 donde está instalado el nodo sensor de la parcela 3, y NA donde está instalado el nodo actuador.

Figura 37

Instalación de nodos finales



Nota. La figura muestra la ubicación en donde se procedió a instalar los nodos sensores y nodo actuador dentro de cada parcela del huerto familiar que se implementó el sistema de riego IoT. Fuente: Autor.

CAPITULO IV

6. Resultados

En este capítulo final se presenta los resultados obtenidos luego de a ver implementar el sistema de riego inteligente, estos resultados se realizaron en base a un análisis cuantitativo en cuanto al antes y después de las condiciones en las cuales se encontró el huerto y las mejoras que se obtuvieron al implementar este sistema. Así mismo en la parte final de este capítulo se encuentran las conclusiones y recomendaciones obtenidas luego de a ver cumplido con los objetivos propuestos en este proyecto.

6.1. Calibración de sensores

A continuación, se detalla el proceso de calibración de los sensores utilizados en el sistema de riego inteligente implementado. La calibración se llevó a cabo para garantizar la precisión y fiabilidad de las medidas tomadas por los nodos sensores, asegurando así el correcto funcionamiento del sistema.

6.1.1. Preparación del Equipo de Calibración

Figura 38

Medición de variables con equipo de referencia.



Nota. La figura muestra el proceso de medición de las variables como humedad ambiente y del suelo, temperatura y luminosidad. Fuente: Autor.

Para la calibración, se utilizó un equipo medidor de temperatura, humedad, luminosidad y pH (Figura 38). Este equipo de referencia fue seleccionado por su capacidad de proporcionar datos confiables, que se emplearon como estándar para ajustar los sensores de los nodos.

6.1.2. *Recolección de Datos en Campo*

Se realizaron mediciones en campo utilizando el equipo de referencia en distintos puntos del huerto y bajo diversas condiciones ambientales. Las medidas incluyeron:

- *Temperatura*: Lecturas en grados Celsius en diferentes momentos del día.
- *Humedad*: Porcentaje de humedad relativa del aire y humedad del suelo.
- *Luminosidad*: Niveles de luz en lux en diversas condiciones de iluminación (día soleado, nublado, etc.).

6.1.3. *Comparación y Análisis de Datos*

Las medidas obtenidas se compararon con las lecturas proporcionadas por los nodos sensores instalados en el huerto. El procedimiento involucró:

- Registrar las lecturas de ambos conjuntos de equipos.
- Identificar discrepancias entre las medidas del equipo certificado y las de los nodos sensores.
- Analizar las posibles causas de las discrepancias, como errores de sensor, interferencias ambientales, o problemas de calibración inicial.

6.1.4. *Ajuste de los Sensores*

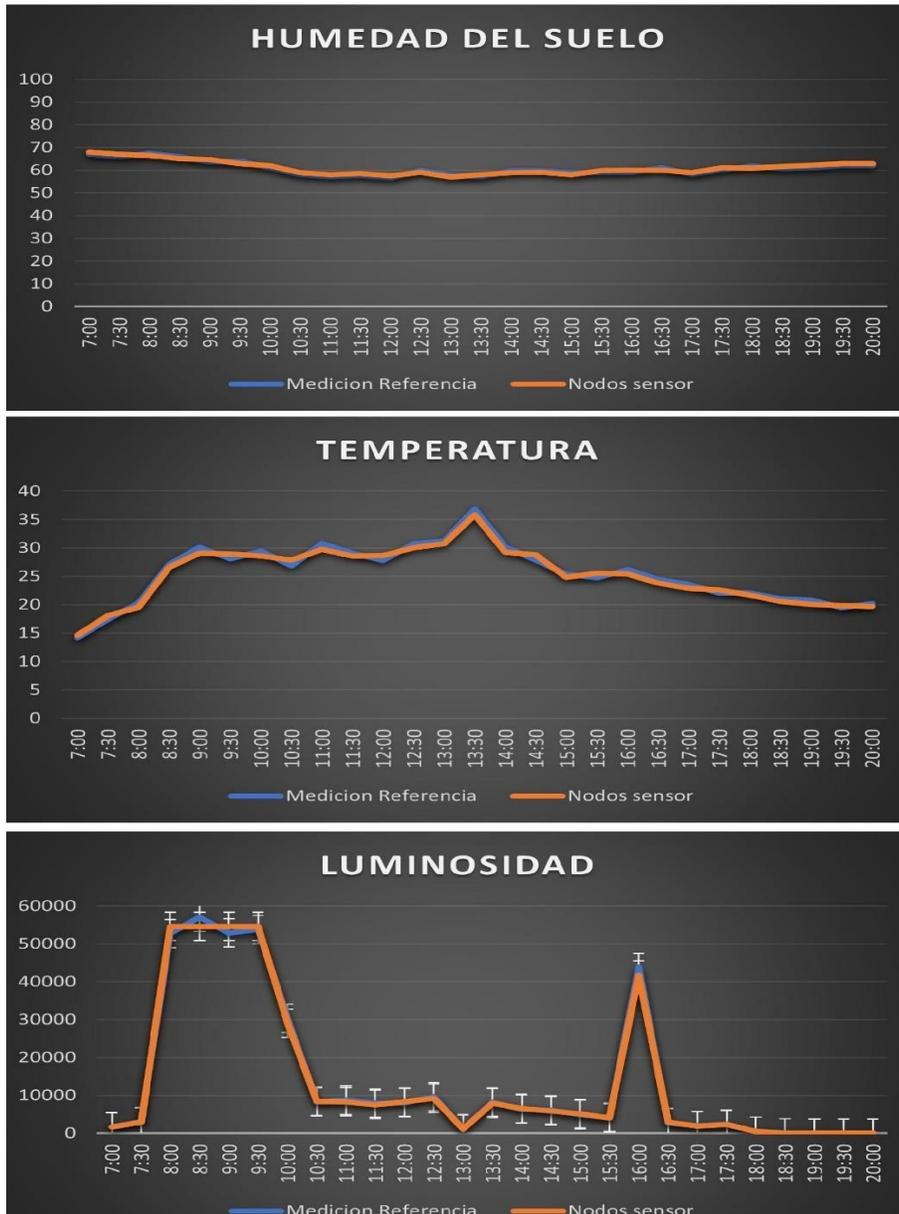
Con base en las comparaciones y el análisis de los datos, se realizaron los siguientes ajustes en los sensores de los nodos:

- *Calibración de Temperatura*: Se procedió a revisar la parte electrónica y ubicar el sensor DHT22 en un lugar que se pueda tomar de mejor manera las lecturas de temperatura, para alinearlas con las medidas del equipo de referencia.
- *Calibración de Humedad*: Se reconfiguro el sensor capacitivo que mide la humedad del suelo para asegurar su precisión.
- *Calibración de Luminosidad*: Se rectificaron las lecturas de luminosidad para que reflejaran con exactitud los niveles medidos por el equipo de referencia.

6.1.5. Verificación y Validación Final

Figura 39

Valores medidos con el dispositivo de referencia y los nodos sensores



Nota. La figura muestra el proceso de validación llevado a cabo para garantizar mediciones confiables. Fuente: Autor.

Una vez realizados los ajustes, se llevaron a cabo pruebas adicionales para verificar la precisión de los sensores calibrados Figura 39. Este proceso incluyó:

- Realizar nuevas mediciones en campo y compararlas nuevamente con el equipo certificado.
- Asegurarse de que las lecturas de los nodos sensores estuvieran dentro de los márgenes aceptables de precisión.

El proceso de calibración llevado a cabo ha permitido que las mediciones tomadas por los nodos sensores sean confiables. Esto es fundamental para el buen desempeño del sistema de riego inteligente y para la toma de decisiones basada en datos exactos.

En el proceso de validación de la calibración de los sensores, se observó que las variables medidas presentaron un margen de error de hasta el 5%. Este margen es resultado de la variabilidad inherente en los sensores y las condiciones ambientales durante las pruebas. A pesar de este pequeño margen de error, los sensores demostraron una precisión aceptable dentro del rango esperado, lo que garantiza la fiabilidad de los datos obtenidos para el análisis y la implementación del sistema.

6.2. Comparativa del antes y después de la instalación del sistema de riego Inteligente

La situación previa a la instalación del sistema de riego era preocupante y se caracterizaba por la escasez de actividad agrícola durante un período considerable, aproximadamente cuatro meses. Este período de inactividad agrícola tuvo un impacto significativo en la salud y el estado del huerto lo que llevó a que solo se pudieran encontrar unas pocas plantas en el huerto, que incluían 6 árboles frutales, 5 matas de guineo y algunas plantas aromáticas y medicinales como cedrón, menta, hierba luisa y ruda. En este contexto, la necesidad de intervenir y revitalizar el huerto se convertía en una prioridad urgente, y la implementación del sistema de riego inteligente se considera como la esperanza para devolverle su vitalidad y productividad.

La Figura 40 ilustra la crítica situación en la que se encontraba el huerto familiar seleccionado para la implantación del sistema de riego propuesto. Esta fotografía fue tomada en octubre de 2022, uno de los meses en los que esta zona fue especialmente afectada por la sequía,

y dado que el huerto no contaba con un sistema de canal de riego, la propietaria solo podía cultivar durante la temporada de invierno comprendida entre los meses de diciembre-abril.

Para proporcionar un contexto más claro sobre la gravedad de la situación, es importante resaltar que la falta de un sistema de riego adecuado no solo limitaba la capacidad de cultivo a unos pocos meses al año, sino que también comprometía la producción y la calidad de los cultivos durante la temporada de invierno.

Figura 40

Huerto antes de implementar el sistema de riego inteligente



Nota. La figura muestra las condiciones en las que se encontró el huerto familiar elegido para la implementación del sistema de riego. Fuente: Autor

Se debe considerar que una vez instalado este sistema su propietaria puede cultivar durante todos los meses del año ya que este sistema cuenta con un suministro de agua desde el servicio de agua potable generando un consumo mensual aproximadamente de 9-12 metros cúbicos mensuales algo que resulta beneficioso ya que esto no genera un consumo mayor al consumo mensual permitido que es de 15 metros cúbicos con un valor de 2.50 dólares como pago mensual de este servicio.

La Figura 41 es una fotografía tomada desde un ángulo similar al de la imagen capturada antes de la implementación del sistema de riego inteligente. Esta comparación visual tiene como objetivo facilitar un análisis detallado de las mejoras observadas tras la instalación del nuevo sistema. La fotografía permite evidenciar cambios significativos en la salud y el crecimiento de las plantas, así como en la uniformidad y cobertura del riego. Además, destaca la eficiencia del sistema en términos de optimización del uso del agua y la reducción del esfuerzo manual requerido. La comparación visual recalca los beneficios tangibles del sistema de riego inteligente, proporcionando una prueba concreta de su impacto positivo en el huerto familiar.

Figura 41

Huerto implementado sistema de riego inteligente



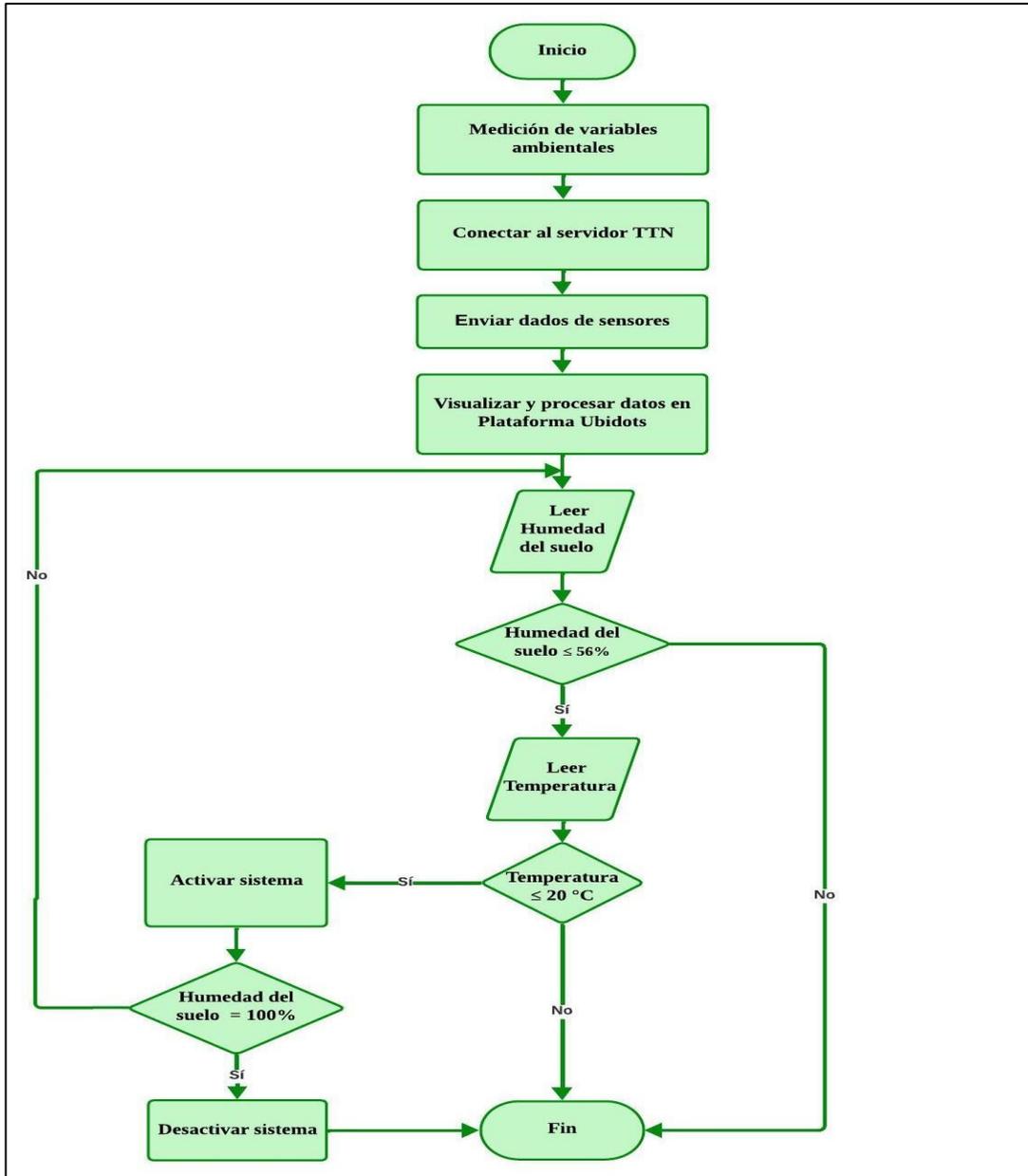
Nota. La figura muestra cómo se observa el huerto una vez implementado el sistema de riego Inteligente. Fuente: Autor

6.3. Funcionamiento del sistema

El algoritmo del funcionamiento del sistema, ilustrado en la Figura 42, detalla los procesos secuenciales para la gestión y control del sistema de riego basado en la humedad del suelo y la temperatura ambiente.

Figura 42

Funcionamiento del sistema



Nota. La figura muestra los procesos de gestión y control del sistema. Fuente: Autor.

El proceso se inicia con la medición de variables ambientales y la conexión al servidor de The Things Network (TTN) para enviar los datos de los sensores. Estos datos son visualizados

y procesados en la plataforma Ubidots. Posteriormente, el sistema lee la humedad del suelo: si es menor o igual al 56%, se procede a leer la temperatura ambiente. Si la temperatura es menor o igual a 20°C, el sistema de riego se activa. El riego continúa hasta que la humedad del suelo alcanza el 100%, momento en el cual el sistema se desactiva. Si la humedad inicial es mayor al 56% o la temperatura es mayor a 20°C, el sistema de riego no se activa y el proceso termina. Este ciclo asegura un control preciso y automatizado del riego, optimizando el uso del agua y garantizando condiciones óptimas para los cultivos.

Luego de haber culminado con el proceso de implementación del sistema de riego inteligente que se llevó a cabo en el lapso de cinco meses, se consideró evaluar el funcionamiento del sistema durante un periodo de seis meses para poder concluir con certeza los beneficios logrados con la implementación del sistema. Durante este tiempo se pudo analizar el comportamiento del sistema el cual controla el riego en base a las variables ambientales monitoreadas.

Figura 43

Nodo actuador vista interna



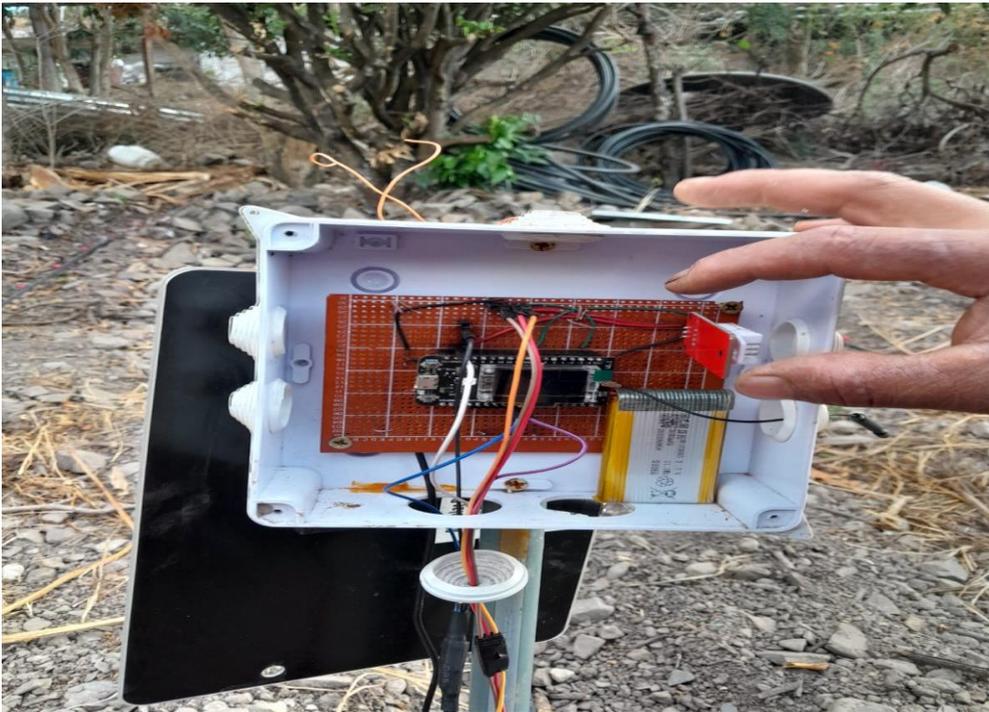
Nota. La figura muestra los dispositivos que forman parte del nodo de mando en donde se realiza la automatización del sistema. Fuente: Autor.

En la Figura 43 se puede observar los dispositivos que conforman el Nodo Actuator tales como Brakers, contactor, toma de corriente, módulos relé y la tarjeta programable HTCC_AB02S que es la que mediante la red Lora nos permiten recibir los comandos que activan o desactivan los actuadores según las necesidades de irrigación de cada parcela.

La Figura 44 proporciona una visión precisa de la estructura y disposición de los nodos sensores en este sistema. Para lograr este diseño, se ha empleado una placa perforada como base, proporcionando una plataforma sólida para conectar los diversos sensores en sus respectivos pines en la tarjeta programable. Este enfoque garantiza un montaje ordenado y eficiente de los componentes, lo que es esencial para el rendimiento y la confiabilidad del sistema.

Figura 44

Nodo sensor vista interna



Nota. En esta figura se observa la estructura interna del nodo sensor. Fuente: Autor

Un aspecto destacado de este proyecto es su dependencia de energía sostenible. Para alimentar todo el circuito del nodo sensor, se ha implementado un panel solar de 5V. Esta

innovación permite la carga de una batería conectada a la tarjeta CubeCell HTCC-AB02S. La inclusión de energía ofrece una fuente de alimentación continua y autónoma. Esta estrategia contribuye significativamente a la sostenibilidad y la eficiencia operativa de este sistema (Ver figura 45).

Figura 45

Nodo sensor vista externa



Nota. En esta figura se muestra el nodo sensor integrado con un panel solar que se encarga de alimentar todo el circuito de este nodo. Fuente: Autor.

En concreto, los cuatro nodos sensores utilizan energía solar, aprovechando la abundante radiación solar en la región para mantener su funcionamiento de manera sostenible y autónoma. Por otro lado, el nodo actuador está conectado a la red eléctrica domiciliaria, una decisión tomada desde el diseño del núcleo del sistema. Esto se debe a que el nodo actuador necesita corriente alterna para operar eficientemente los dispositivos de control, como las electroválvulas y la bomba de riego. Esta combinación de fuentes de energía asegura que los sensores puedan funcionar de manera continua sin depender de

la red eléctrica, mientras que el nodo actuador tiene la potencia necesaria para accionar los componentes de control del sistema de riego inteligente.

7. Discusión

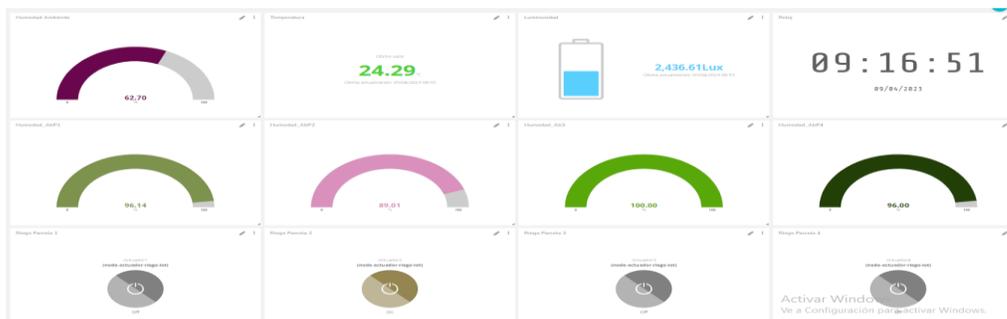
7.1. Monitoreo y control del sistema

Con el propósito de llevar a cabo un monitoreo y control efectivo del sistema de riego, se ha desarrollado un intuitivo panel de control en la plataforma Ubidots. Este panel permite una visualización clara y accesible de todas las variables que se están registrando en tiempo real. Además, proporciona interruptores de control que permiten activar o desactivar el riego de manera remota, adaptándose así a las necesidades específicas de los cultivos.

Para ofrecer una representación precisa de los datos recopilados, se han creado cinco paneles indicadores, conocidos como "gauges". Estos gauges muestran información crucial, como la humedad ambiente y la humedad absoluta en cada parcela, también se creó un tablero denominado "metric" para mostrar en números la temperatura y por último la luminosidad fue representada de manera visual a través de una batería utilizando un tablero conocido como "battery". Además, se han implementado cuatro interruptores de control "Switch", uno para cada parcela, lo que brinda un nivel de personalización y precisión en la administración del riego (ver Figura 46).

Figura 46

Tablero de monitoreo y control del sistema de riego IoT



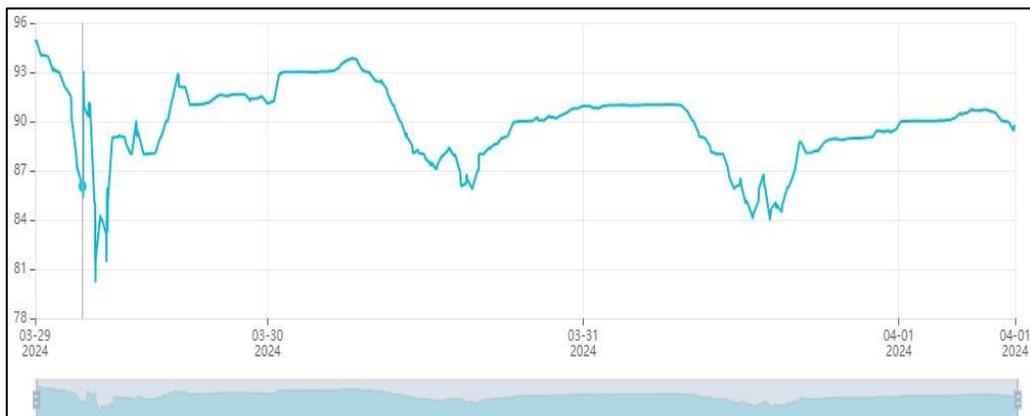
Nota. En esta figura se observa las variables ambientales medida por los nodos sensor, así como también los mandos de control del sistema. Fuente: Autor

De igual forma, podemos visualizar el comportamiento de cada variable monitoreada mediante gráficos de líneas proporcionados por la plataforma Ubidots. Al seleccionar la opción "explorar datos" en cualquiera de las variables mostradas en el tablero, la plataforma nos muestra una gráfica con los valores medidos en el rango de tiempo que deseemos analizar. Esto puede ser desde un día específico hasta un periodo más amplio, permitiéndonos observar y analizar las tendencias y variaciones de los datos de manera detallada.

La Figura 47 presenta las variaciones en la humedad del suelo monitoreada a lo largo de un período de tres días. Este intervalo de tiempo ha sido seleccionado para permitir un análisis detallado de los cambios en esta variable. Se puede observar que la humedad del suelo no experimenta cambios abruptos, manteniéndose dentro de un rango del 80% a 96%. Estos valores indican una estabilidad en las condiciones de humedad, lo cual es beneficioso para el adecuado funcionamiento del sistema de riego y la salud de los cultivos.

Figura 47

Variación de humedad del suelo



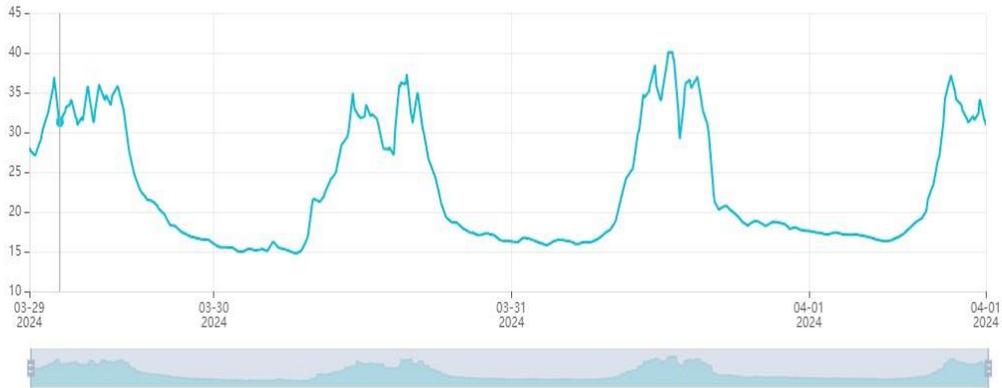
Nota. En esta figura se observa las variaciones que experimenta la variable de humedad absoluta o del suelo. Fuente: Autor.

La Figura 48 muestra las fluctuaciones en la temperatura monitoreada durante un período de tres días, con la finalidad de realizar un análisis de los cambios en la temperatura ambiental. La gráfica revela variaciones que oscilan entre 15°C y 35°C, reflejando las típicas fluctuaciones diurnas y nocturnas de la región. Estas variaciones son significativas ya que afectan directamente

el funcionamiento del sistema de riego y las necesidades de agua de los cultivos. Conocer y analizar estas fluctuaciones es esencial para ajustar adecuadamente las estrategias de riego y garantizar un entorno óptimo para el crecimiento de las plantas.

Figura 48

Variación de la temperatura ambiente

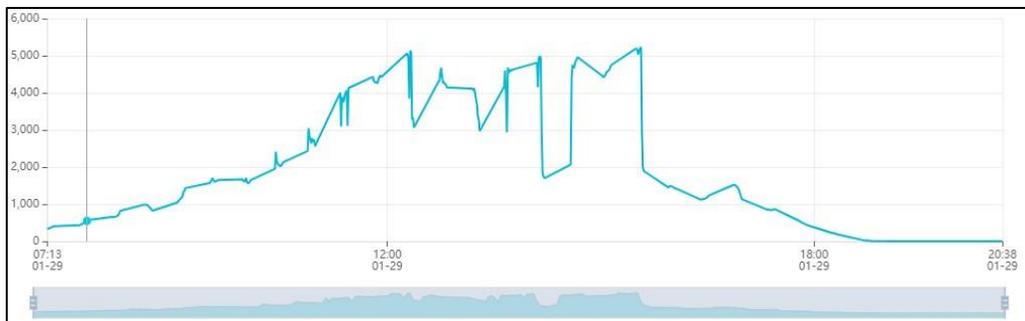


Nota. La figura muestra las fluctuaciones de la temperatura ambiente. Fuente: Autor.

La Figura 49, presenta el comportamiento de la luminosidad, y por ende, de la radiación solar, monitoreada a lo largo de un día completo. Este análisis es importante para entender las variaciones diarias en la intensidad de la luz solar que afectan directamente la eficiencia del sistema de riego automatizado.

Figura 49

Comportamiento de la luminosidad y radiación solar



Nota. En esta figura se observa el comportamiento de la Luminosidad y Radiación Solar monitoreada en el sistema. Fuente: Autor.

En la Figura 49, se observa que la luminosidad varía considerablemente, fluctuando entre valores cercanos a 0 lux durante las primeras horas del día, hasta alcanzar un máximo de aproximadamente 5000 lux. Este pico de luminosidad ocurre entre las 11 a.m. y las 4 p.m., lo que indica un periodo de alta radiación solar. Posteriormente, conforme se acerca la noche, los niveles de luminosidad vuelven a disminuir hasta llegar nuevamente a 0 lux.

Monitorear la radiación solar es fundamental para tomar decisiones informadas sobre la irrigación del huerto. Durante los periodos de mayor radiación, el riego podría ser perjudicial para las plantas, ya que la combinación de altas temperaturas y luz intensa puede causar estrés hídrico y dañar los cultivos.

7.2. Análisis de producción

Para evaluar las mejoras en la producción del huerto tras la implementación del sistema de riego inteligente, se realizó un análisis detallado de los ingresos y costos de producción. Este análisis permitió calcular el beneficio neto, lo que a su vez proporciona una visión clara de la rentabilidad del proyecto. De esta manera, se puede determinar el impacto económico positivo del nuevo sistema de riego en el rendimiento del huerto.

Tabla 5

Ingresos de producción.

Descripción	Cnt. S (p)	Cnt. Perd	Prod. Final	Cant. Vendida	Costo	Ingresos
Cilantro	350	40	310	255	0,10	25,50
Apio	200	40	160	140	0,15	21,00
Lechuga	450	60	390	340	0,50	170,00
Zanahoria	350	12	338	318	0,07	22,26
Rábano	350	25	325	305	0,08	24,40
Col	250	20	230	160	0,75	120,00
Acelga	250	20	230	185	0,25	46,25
Total						383,16

Nota. La producción obtenida genero un total de ingresos de 383,16 dólares.

La Tabla 5, proporciona información valiosa sobre la producción de los cultivos y su impacto en los ingresos. A continuación, se analizará algunos puntos relevantes basados en los datos presentados en la tabla:

La tabla muestra una variedad de cultivos, incluyendo cilantro, apio, lechuga, zanahoria, rábano, col y acelga. Esta diversidad es beneficiosa ya que no solo amplía la oferta de productos agrícolas, sino que también puede diversificar los ingresos y reducir los riesgos asociados con la dependencia de un solo cultivo.

Es importante notar que cada cultivo experimentó cierta pérdida. Esto se debe a diversas razones, como factores climáticos, plagas o problemas de cultivo. Identificar las causas de las pérdidas y tomar medidas para minimizarlas en futuras cosechas es esencial para mejorar la rentabilidad. Se observa que la cantidad vendida es menor que la producción final en la mayoría de los cultivos. Esto se debe a la retención de parte de la cosecha para uso personal por parte de la propietaria del huerto.

A pesar de las diferencias en los costos y los ingresos por cultivo, la rentabilidad total del proyecto se muestra como un total de \$383.16 dólares. Esto indica que, en conjunto, la operación agrícola ha sido rentable. Sin embargo, es importante seguir analizando y mejorando la rentabilidad individual de cada cultivo y buscar maneras de reducir costos y aumentar ingresos.

Tabla 6

Egresos de producción.

Descripción	Costo de Plántulas	Mano de Obra	Transporte	Egresos Totales
Cilantro	7,00	10,00	3,00	20,00
Apio	4,00	8,00	2,50	14,50
Lechuga	9,00	12,00	3,00	24,00
Zanahoria	7,00	11,00	2,00	20,00
Rabano	7,00	10,85	1,50	19,35
Col	5,00	9,00	3,25	18,25
Acelga	5,00	12,00	3,00	20,00
TOTAL	44,00	72,85	18,25	136,10

Nota. Los egresos generados para la producción son de 136,10 dólares.

La Tabla 6 muestra un desglose detallado de los egresos asociados a la producción de los cultivos realizados en el huerto familiar. Los costos se dividen en tres categorías principales: costo de plántulas, mano de obra y transporte. A continuación, se presenta un resumen de los costos para cada tipo de cultivo y el total de egresos:

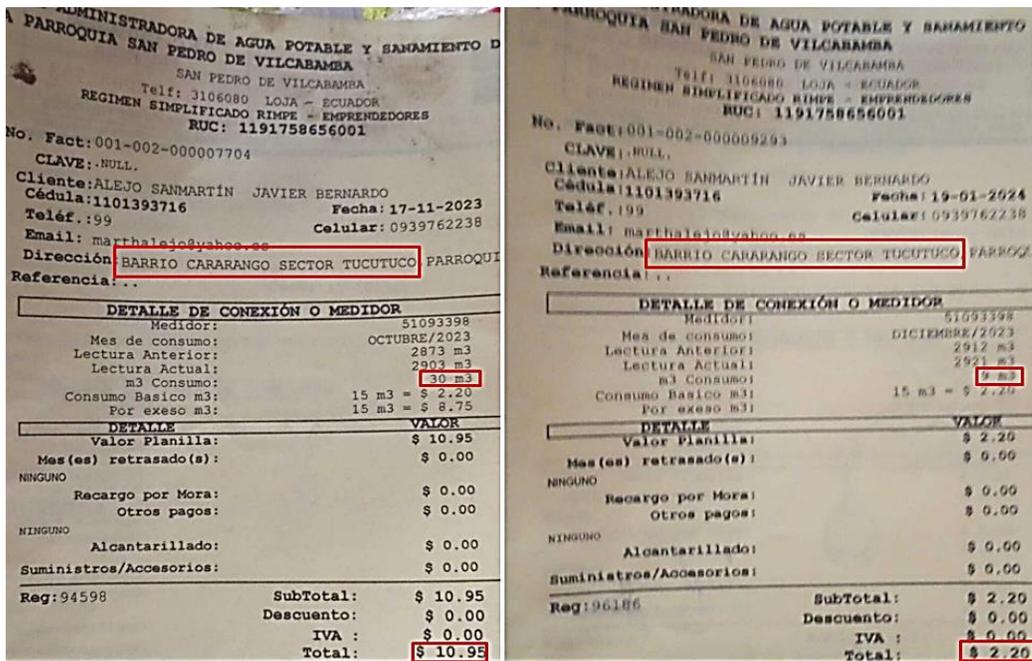
El total de egresos para los cultivos incluidos en la tabla asciende a 136,10 USD. Este total es la suma de los costos de plántulas, mano de obra y transporte para todos los cultivos mencionados.

El beneficio neto del proyecto en el lapso de cuatro meses es de \$247,06. Este resultado positivo demuestra que el proyecto no solo ha cubierto sus costos de producción, sino que ha generado una ganancia adicional. Este margen de beneficio es indicativo de la viabilidad del proyecto.

7.3. Optimización del consumo de agua

Figura 50

Consumo de agua antes y después de la implementación del sistema



Nota. En esta figura se muestra la optimización en cuanto al consumo de agua que se obtuvo con la implementación del sistema de riego inteligente. Fuente: Autor.

La implementación del sistema de riego inteligente ha mostrado una notable optimización en el consumo de agua, como se ilustra en la Figura 50. En dicha figura, se presentan dos planillas de consumo de agua: una correspondiente al periodo anterior a la implementación del sistema de riego y otra posterior a dicha implementación.

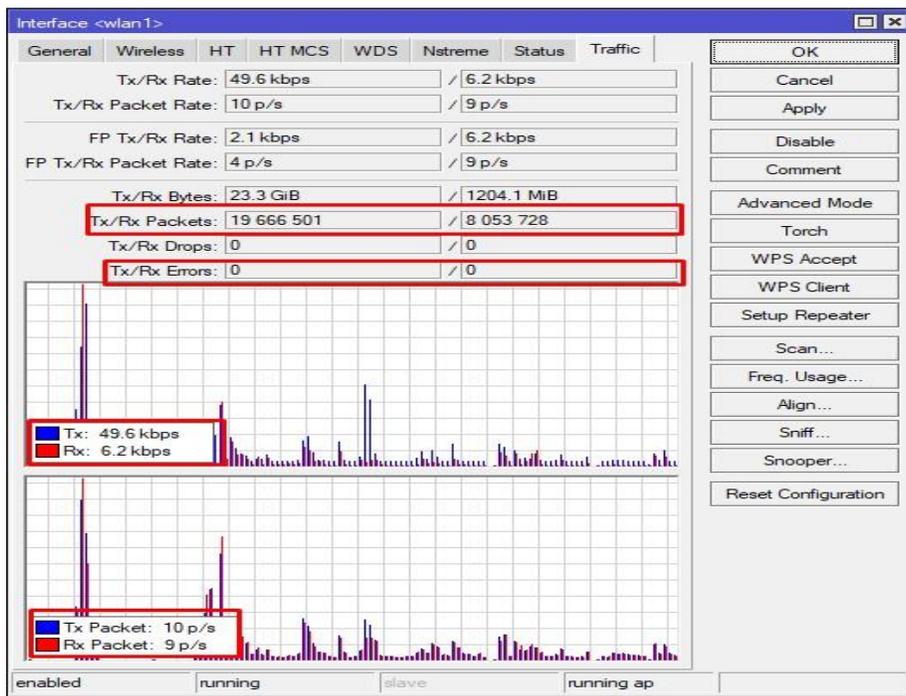
Antes de la implementación del sistema, el consumo de agua ascendía a 30 metros cúbicos, lo que indica un uso ineficiente y elevado del recurso hídrico. Sin embargo, tras la implementación del sistema de riego inteligente, el consumo de agua se redujo significativamente a 9 metros cúbicos. Esta reducción representa una disminución del 70% en el uso de agua, evidenciando la efectividad del sistema en la optimización de este recurso.

Esta mejora en la eficiencia del uso del agua a más de contribuir a la conservación de un recurso vital, también implica una reducción en los costos asociados al consumo de agua pasando de un pago mensual 10,95 a 2,20 dólares lo que refleja un ahorro de 8,75 dólares. El análisis de estos resultados demuestra que la tecnología de riego inteligente es una solución viable y efectiva para enfrentar los desafíos de la gestión sostenible del agua en la agricultura.

7.4. Análisis de la red LoRaWAN

Figura 51

Tráfico de la red del sistema



Nota. En esta figura se muestra el análisis del tráfico de la red LoRaWAN implementada para la comunicación de los nodos finales. Fuente: Autor.

La red LoRaWAN implementada para el sistema de riego ha demostrado un desempeño sólido en términos de tráfico y transmisión de datos. Al acceder a la administración del gateway, se han podido observar detalles importantes que confirman la eficiencia y confiabilidad del sistema.

En la Figura 51, se muestra el tráfico de la red donde la tasa de transmisión (Tx) es de 49.6 kbps y la tasa de recepción (Rx) es de 6.2 kbps. Estos valores indican un flujo constante de datos desde los sensores hacia el servidor, manteniendo una comunicación estable que es esencial para el monitoreo continuo del sistema de riego.

Además, se destaca que la cantidad de paquetes transmitidos (Tx Packets) alcanza los 19,666,501, mientras que la cantidad de paquetes recibidos (Rx Packets) es de 8,053,728. Esta diferencia en el número de paquetes refleja el tráfico de datos en la red, donde una mayor cantidad de datos se envía desde los sensores hacia el servidor, lo cual es esperado en un sistema de monitoreo.

Es importante resaltar que no se han registrado paquetes perdidos (Tx/Rx Drops) ni errores de transmisión o recepción (Tx/Rx Errors), lo cual subraya la calidad y estabilidad de la comunicación en la red LoRaWAN. La ausencia de errores y pérdidas es fundamental para asegurar que la información recopilada por los sensores llegue de manera íntegra al servidor para su procesamiento y análisis.

Por último, los gráficos de tasa de transmisión y recepción, junto con el conteo de paquetes, proporcionan una visualización clara del tráfico en tiempo real, facilitando la identificación de patrones o posibles anomalías en la red. Estos datos permiten realizar ajustes si es necesario, garantizando un rendimiento óptimo del sistema de riego automatizado.

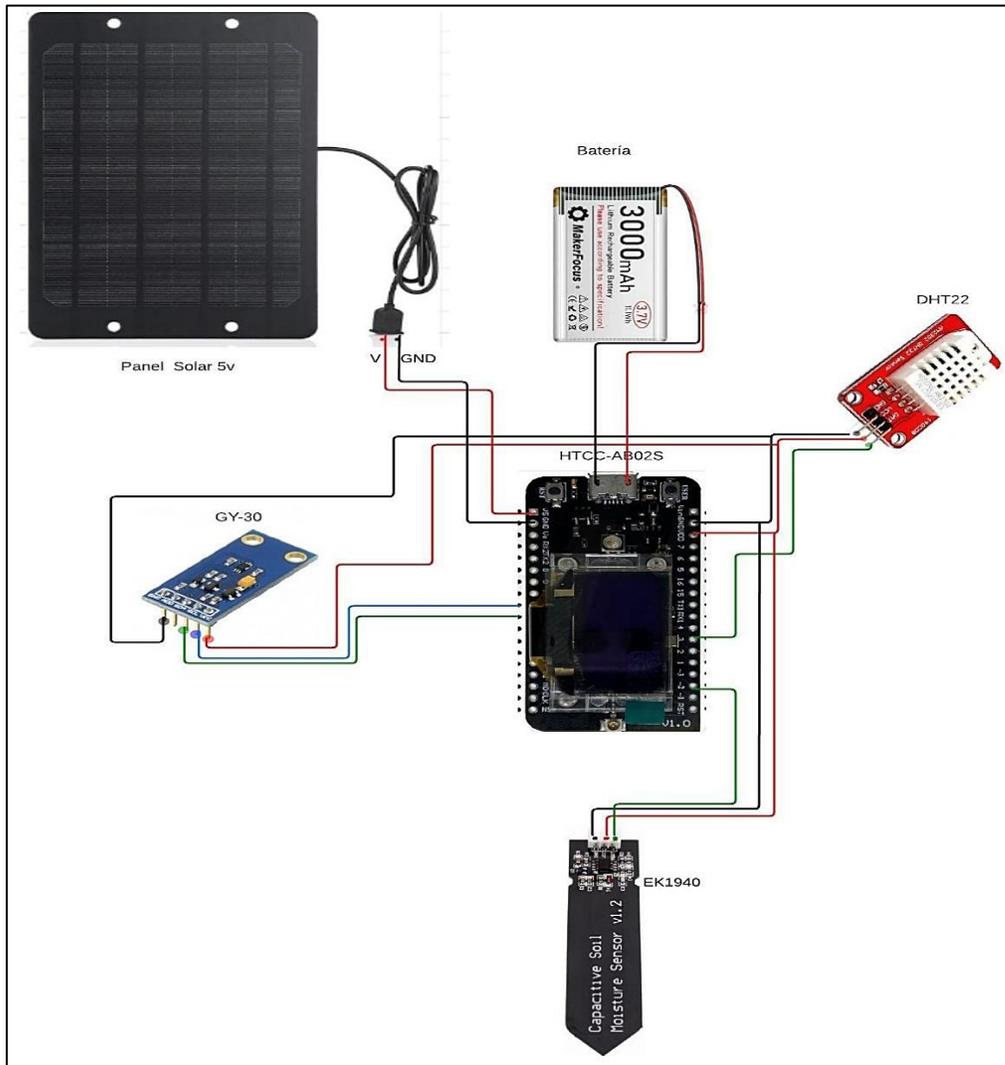
7.5. Análisis de los circuito y consumo energético de los nodos finales del sistema

La Figura 52 muestra la estructura del nodo sensor del sistema de riego inteligente. Este nodo se compone de una tarjeta CubeCell HTCC-AB02S con capacidad de transmisión LoRa, un sensor de humedad del suelo, un sensor de temperatura y humedad DHT22, y un sensor de luz GY-30. Todos estos componentes están alimentados por un panel solar de 5V y una batería

de 3000mAh, lo que permite la operación continua del sistema incluso en condiciones de baja luminosidad.

Figura 52

Diagrama del circuito Nodo Sensor



Nota. En esta figura se muestra cómo se encuentra integrado el nodo sensor. Fuente: Autor.

La Tabla 7 detalla el consumo de energía de cada uno de los componentes del nodo sensor, en función de su corriente de funcionamiento y el voltaje de operación:

Tabla 7*Consumo de Energía del Nodo Sensor*

Componente	Consumo de Corriente	Voltaje de Operación	Consumo de Potencia
HTCC-AB02S	24 mA	3,7V	79,2 mW
EK1940	5 mA	3,3V	16,5 mW
DHT22	1,5 mA	3,3V	4,95 mW
GY-30	0,12 mA	3,3V	0,396 mW
Total	30,62 mA	3,7-3,3 V	101,046 mW

Nota. El consumo de energía del nodo sensor es de 101,046 mW y 30,62 mA.

Los valores de consumo de energía presentados en la tabla indican que el nodo sensor tiene un consumo energético relativamente bajo, con un consumo total de corriente de 30,62 mA y un consumo total de potencia de 101,046 mW. El componente principal, el CubeCell HTCC-AB02S, consume 24 mA y 79,2 mW, representando la mayor parte del consumo del nodo.

Este bajo consumo de energía es indispensable para prolongar la vida útil del nodo cuando se alimenta con un panel solar, el cual tiene una corriente de carga máxima de 1000 mAh y una corriente de carga normal de 500 mA. Estas características aseguran que el nodo pueda operar de manera continua y autónoma, incluso en condiciones de suministro de energía limitado. La eficiencia en el consumo permite que el sistema funcione de manera óptima, asegurando la sostenibilidad del sistema de riego inteligente en áreas remotas. Además, la combinación de todos los componentes se ha diseñado para mantener el consumo de energía en un nivel mínimo, optimizando el rendimiento sin comprometer la funcionalidad del sistema.

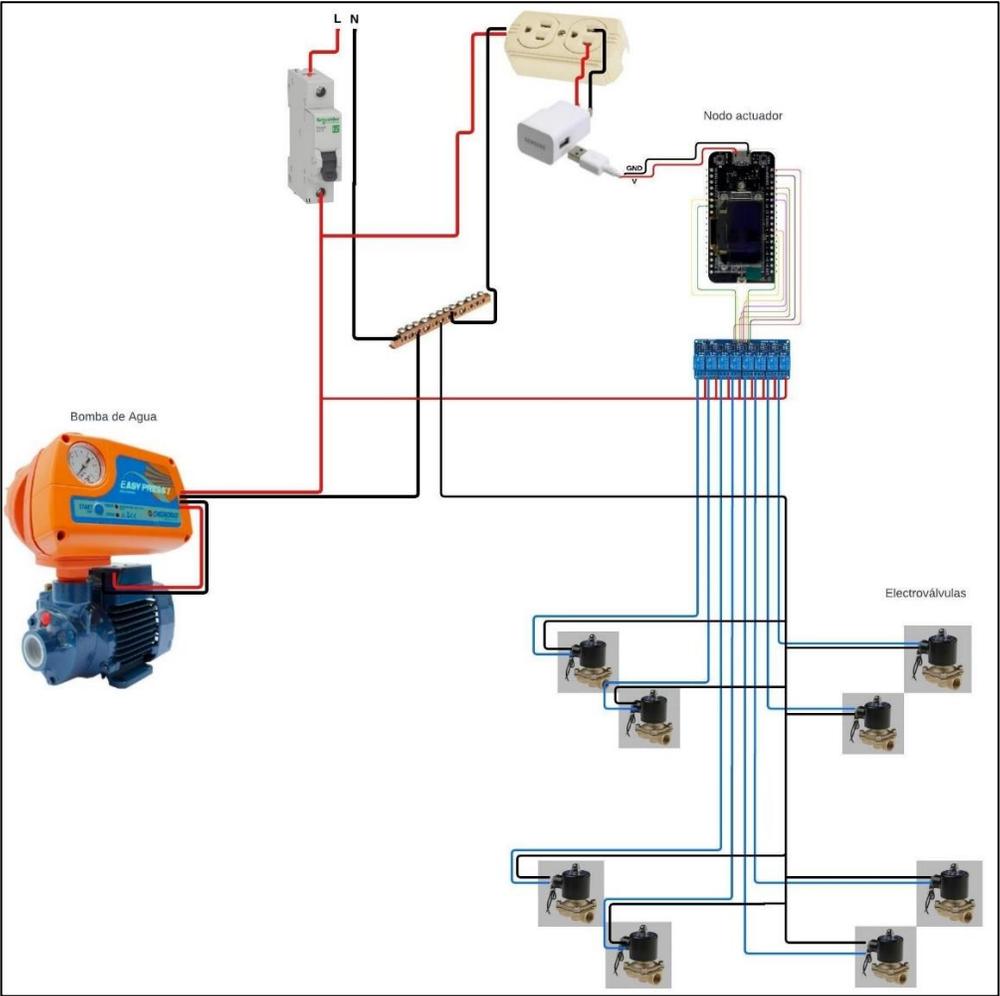
La Figura 53 muestra el diseño del circuito del nodo actuador del sistema de riego inteligente. Este nodo es el encargado de controlar los elementos que interactúan directamente con el sistema de riego, tales como la bomba de agua y las electroválvulas.

En la Figura, se observa que el nodo actuador está compuesto por varios componentes clave que trabajan en conjunto para gestionar el sistema de riego inteligente. El núcleo del nodo es un microcontrolador, que recibe señales de activación desde la plataforma de control y ejecuta acciones en los actuadores, como la bomba de agua y las electroválvulas. Los relés actúan como intermediarios, permitiendo que el microcontrolador controle estas cargas de corriente alterna,

asegurando la separación entre el circuito de control de bajo voltaje y los dispositivos que operan con voltajes más altos. El circuito se alimenta a través de un adaptador que convierte la corriente alterna de 110V a corriente continua, necesaria para el funcionamiento del microcontrolador y los relés. Este diseño permite un control automatizado y preciso del riego, optimizando el uso del agua y garantizando la eficiencia del sistema.

Figura 53

Diagrama del circuito Nodo Actuador



Nota. En esta figura se muestra cómo se encuentra integrado el nodo sensor. Fuente: Autor.

En la Tabla 8 se muestra el consumo de energía de los componentes del nodo actuador del sistema de riego inteligente. Este análisis es fundamental para evaluar la demanda energética del sistema y su impacto en la sostenibilidad operativa.

Tabla 8

Consumo de Energía del Nodo Actuador

Componente	Consumo de Corriente	Voltaje de Operación	Consumo de Potencia
HTCC-AB02S	24 mA	5V	120 mW
Módulo relé	90 mA	5V	450 mW
Electroválvulas	0,19 A	110V	20,9 W
Electrobomba	6,8 A	110V	748W
Total	7,1 A		769,47 W

Nota. El consumo de energía del nodo actuador es de 13,31 kW y 12,664 A.

El HTCC-AB02S, que actúa como controlador, tiene un consumo de corriente de 24 mA a 5V, resultando en un consumo de potencia de 0,12 W, lo que representa un impacto mínimo en el consumo total del sistema. El módulo relé, que es responsable de la conmutación de los actuadores, consume 90 mA a 5V, equivalente a 0,45 W. Este valor también es relativamente bajo, lo que lo convierte en un componente eficiente en términos de energía.

Por otro lado, las electroválvulas, que regulan el flujo de agua, operan a 110V y consumen 0,19 A, resultando en un consumo de potencia de 20,9 W. Este componente, aunque consume más que los anteriores, sigue siendo moderado en comparación con la electrobomba, que es el componente con el mayor consumo energético, con 748 W. La electrobomba es esencial para el funcionamiento del sistema, y su alto consumo de energía debe ser considerado en la planificación y diseño de la fuente de alimentación del sistema.

En total, el nodo actuador tiene un consumo de energía de 769,47 W y una corriente total de 7,1 A. Estos valores son críticos para dimensionar adecuadamente las fuentes de energía del sistema, especialmente si se considera la posibilidad de utilizar energía solar o algún otro método de generación renovable. Sin embargo, debido a su alto consumo, este nodo se encuentra conectado a la red eléctrica domiciliar para garantizar la eficiencia del sistema de riego.

El análisis del consumo energético del sistema de riego inteligente revela un total de 778,27 W, donde el nodo actuador, con 769,47 W, representa la mayor carga debido al funcionamiento de electroválvulas y una electrobomba. Este nodo, junto con el gateway y la antena LoRa, están conectados a la red eléctrica domiciliaria para asegurar un suministro constante de energía. Los nodos sensor, que consumen en total 0,8 W, están diseñados para funcionar con energía solar, lo que contribuye a la sostenibilidad del sistema. Estos resultados destacan la necesidad de una gestión eficiente de los recursos energéticos, equilibrando la conexión a la red eléctrica con el uso de fuentes renovables, para garantizar la operatividad continua y sostenible del sistema de riego.

8. Conclusiones

- Se ha identificado un conjunto de variables ambientales esenciales para el riego adecuado de los cultivos, que incluyen la humedad ambiente, temperatura, luminosidad y, en particular la humedad absoluta o del suelo, que es la base para controlar el sistema. Además, se ha establecido la instrumentación necesaria incluyendo equipos de red, sensores y actuadoras para un control y monitoreo preciso del sistema que no implique un costo elevado de implementación, lo que contribuye significativamente a la conservación de uno de los recursos más valiosos del planeta: el agua.
- La implementación de sensores y sistemas de control mediante actuadores permite una gestión más precisa y oportuna de los recursos vitales para el crecimiento de las plantas. La monitorización en tiempo real de los niveles de humedad del suelo y la eficiencia energética brindan a los agricultores la capacidad de tomar decisiones informadas y reaccionar de manera proactiva ante las fluctuaciones ambientales.
- La implementación de este sistema de riego inteligente ha permitido monitorear y controlar de manera práctica el uso del agua, lo que a su vez ha conducido a una mejora en la productividad de los cultivos y una reducción de los costos de producción
- El funcionamiento del sistema, que ha sido evaluado durante un período de más de seis meses, ha demostrado ser efectivo en la gestión del riego. El uso de sensores de humedad del suelo, temperatura y luminosidad han permitido un suministro de agua óptimo para las plantas, lo que ha llevado a un aumento significativo en la producción. La Tabla 5 y la Tabla 6 muestran los ingresos y egresos de producción resultante, que se traduce en un beneficio neto por un total de 236,10 dólares. Esto representa una mejora sustancial en comparación con la situación anterior, donde la producción era mínima.

9. Recomendaciones

- Es recomendable establecer un programa de monitoreo continuo del sistema de riego automatizado y realizar un mantenimiento regular. Los sensores y equipos electrónicos pueden desgastarse con el tiempo, por lo que es fundamental asegurarse de que funcionen correctamente para garantizar la eficiencia del sistema.
- Es recomendable continuar evaluando y ajustando el sistema en función de los datos recopilados y la experiencia adquirida.
- Se recomienda buscar constantemente maneras de optimizar el uso de recursos como el agua para mejorar la productividad y reducir los costos.

10. Bibliografía

- Innovatione AgroFood Design. (2019). Sistemas de riego: características y tipos.
Innovatione. <https://innovatione.eu/2019/07/08/riego-agricultura/>
- ADAMA Colombia. (2023). Agua: Un reto de gestión en la agricultura.
Recuperado de <https://www.adama.com/colombia/es/sostenibilidad/agua-un-reto-de-gestion-en-la-agricultura>
- Brown, D. (2018). Avances tecnológicos en sistemas de riego. Revista de Agricultura Sostenible, 15(2), 98-115.
- Agr, M. L. I. (2019). Sistema de Riego Por Superficie, Localizado y de Aspersión. Tipos, Características y Ventajas. Marketing Agropecuario. Blog de Bialar. AgroMarketing Digital. <https://www.bialarblog.com/sistema-de-riego-tipos-ventajas/>
- Cv, M. A. D. E. N. S. A. (2021). Riego por aspersión. 411448200-MOTO ASPERSION DE NAYARIT SA DE CV.
<https://www.motoaspersiondenayarit.com/blog/articles/riego-aspersion>
- Martínez, J. (2018). Sistema Inteligente para la Medida y Monitorización en Agricultura Inteligente. Universidad Politécnica de Cataluña.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/181566/Mart%C3%ADnez-18_.pdf
- Netafim - Redagícola Perú. (2020). Redagícola Perú.
<https://www.redagricola.com/pe/redagricola-360/netafim/>
- Cherlinka, V. (2020). Controlar La Humedad Del Suelo Es Clave Para Tener Éxito. EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/humedad-del-suelo/>
- Angulo, J. R. (2014). Humedad del suelo. Cómo se comporta y su importancia Agromática. <https://www.agromatico.es/humedad-del-suelo/>
- Daniel. (2019). Métodos para medir la humedad del suelo. (Parte 1) .
Consejos y Temas Agronómicos. <https://www.tipsytemasagronomicos.com/metodos-para-medir-la-humedad-del-suelo-parte-1/>
- Tecnología, P. (2021). La humedad del suelo y como monitorearla.

- ProainShop. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/la-humedad-del-suelo-y-como-monitorearla>
- Kluepfel, M., Lippert, B., & Williamson, J. (2012, octubre 22). Cambiando el pH del Suelo. Home & Garden Information Center | Clemson University, South Carolina. <https://hgic.clemson.edu/factsheet/cambiando-el-ph-del-suelo/>
- Cherlinka, V. (2021, 28 de julio). Temperatura Del Suelo Y Crecimiento Saludable De Los Cultivos. Análisis de datos de EOS. <https://eos.com/es/blog/temperatura-del-suelo/>
- Electrónica, M. (2019). Sistema de Riego Automático: En qué consiste y cuáles son sus ventajas. Obtenido de Maher Electrónica. <https://www.maherelectronica.com/sistema-riego-automatico/>
- Infoagro. (2023). Fundamentos sistemas control del riego y fertilización. Recuperado de https://www.infoagro.com/documentos/fundamentos_sistemas_control_del_riego_y_fertilizacion__parte_i_.asp
- García, M. F. (2020). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO. Obtenido de Tesis Fabin Varga-Valeria Cortes: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25546/1/Tesis%20Fabian%20Vargas-%20Valeria%20Cortes.pdf>
- Microcontroladores: Fundamentos y Aplicaciones con PIC" por Fernando E. Valdés-Pérez, Editorial Alfaomega Grupo Editor, 2008.
- Aula21. (2023). QUÉ SON LAS REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL. Obtenido de Formación para la Industria Blog Industria 4.0: <https://www.cursosaula21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/>
- Rose, K. (2017). LA INTERNET DE LAS COSAS UNA BREVE RESEÑA. Obtenido de Internet Society: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>

- ISTEC Digital. (2022). Internet of Things (IoT). Recuperado de <https://www.istecdigital.es/internet-of-things-iot/>.
- González, A. (2016). Definición de IoT. Obtenido de DefiniciónABC: <https://www.definicionabc.com/tecnologia/iot.php>
- PRASUN, Guchhait, PRANAV, Sehgal, VIDYADHAR, Aski. Sensoponics: IoTEnabled Automated Smart Irrigation and Soil Composition Monitoring System. Singapur: in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020. 93p–101p
- Equipo de expertos del departamento Digital Connectivity de Siemens España. (2021, febrero 5). Tecnologías de Conectividad Digital Inalámbrica para IoT en la industria. automaticaeinstrumentacion.com.
<https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/2733890/tecnologias-conectividad-digital-inalambrica-iot-industria>
- Efor. (2021). Tecnologías de Comunicación. Obtenido de Efor Internet y tecnología: <https://www.efor.es/sites/default/files/tecnologias-de-comunicacion-para-iot.pdf>
- Sabas, A. (2015). Tecnologías Inalámbricas para el Internet de las Cosas. Obtenido de SG #56: <https://sg.com.mx/revista/56/tecnologias-inalambricas-iot>
- Ulloa, E. (2015). “EFICIENCIA DEL CONSUMO ELECTRICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL URBANO DE CUENCA” [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22992>
- Cascallana, T. A. (2018). Agricultura 4.0: la revolución IoT en el campo español. Obtenido de Hablemos de Empresas: <https://hablemosdeempresas.com/grandes-empresas/iot-en-agricultura/>
- Guaca, N. A., & Hurtado, M. A. (2020). EXPOTECH 2020 Ciencia, Ingeniería y Sociedad «Tecnologías exponenciales para la consolidación de la industria 4.0» Selección de tecnologías LPWAN para la implementación de un sistema IoT aplicado a la lombricultura.
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/memorias/article/view/4170/4152>
- Guambuquete Manuel. (2021). Repositorio Nacional en ciencia y tecnología.

- Hernández Silvia. (2020). Estudio a detalle de LoRaWAN [Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación Universitat Politècnica de València]. <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>
- Creativos, J. L. C. (2021, diciembre 2). RIEGO DE PRECISIÓN. Hermisan. <https://hermisan.com/riego-de-precision/>
- Axayacatl, O. (2021). El riego de precisión será clave en la agricultura sustentable. Com.mx. <https://www.netafim.com.mx/blog/el-riego-de-precision-sera-clave-en-la-agricultura-sustentable/>
- Hernandez, R. (2019). ¿Qué es la tecnología LoRa y por qué es importante para IoT? Obtenido de The Things Network: <https://www.thethingsnetwork.org/community/santa-rosa/post/que-es-la-tecnologia-lora-y-por-que-es-importante-para-iot>
- Pickering, P. (2017). Desarrollar con LoRa para aplicaciones IoT de baja tasa y largo alcance. Obtenido de Digi Key: <https://www.digikey.com/es/articles/develop-lora-for-low-rate-long-range-iot-applications>
- CATSENSORS. (2019). Soluciones LoRa para agricultura inteligente. iAgua. <https://www.iagua.es/noticias/catsensors/soluciones-lora-agricultura-inteligente>
- Bernal Enrique. (2020). Internet of Things (IoT) DISEÑO DE UNA RED DE IoT PARA EL HOGAR [UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA SEMINARIO DE REDES Y TELECOMUNICACIONES SECCIONAL BOGOTÁ D.C.]. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/17670/1/2020_diseno_red_iot.pdf
- LoRa (Long Range). (2022). LoRa - Redes de Computadores I. <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2019-1/vf/lora/arquitetura.html>
- Vargas, J. (2022, junio 14). Conceptos básicos que te ayudarán a entender LoRa y

LoRaWAN en minutos. M2M - Logitek. <https://www.m2mlogitek.com/conceptos-tecnicos-basicos-que-te-ayudaran-a-entender-lora-y-lorawan-low-power-wide-area-network-en-pocos-minutos/>

Medina Jorge. (2010). Conciencia Tecnológica. 50-53.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94415753009>

Pascua Eugenio. (2021). 5 cosas que debe saber sobre el mercado LPWAN en 2021. <https://iot-analytics.com/5-things-to-know-lpwan-market/>

PB Psiborg. (2022). Wireless Sensor Network in IoT - PsiBorg. <https://psiborg.in/wireless-sensor-network-in-iot/>

Planes Ana. (2020). Estudio experimental de tecnologías LPWAN en entornos industriales 4.0. www.etsit.upv.es

Romero Amondaray, L., Artigas Fuentes, F. J., & Anias Calderón, C. (2020). Redes de Sensores Inalámbricos Definidas por Software: revisión del estado del arte. En RIELAC (Vol. 41, Issue 2).

Brunete, A., & Segundo y Rebeca Herrero, P. S. (s/f). Capítulo 2 Sensores y Actuadores. Bookdown.org. Recuperado de https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/sensoractuador.html

11. Anexos

Anexo 1. Manual de operación y mantenimiento.

1. Descripción del Sistema:

Este sistema de riego inteligente utiliza una serie de sensores para monitorear variables ambientales clave como la humedad del suelo, la temperatura ambiente, la humedad ambiental y la luminosidad. Los datos recolectados se envían a través de la tecnología LoRa a un servidor central para su análisis y control.

Beneficios: Automatización del riego basado en condiciones ambientales, optimización del uso del agua, mejora en el rendimiento de cultivos y ahorro de tiempo para el usuario.

2. Instalación del Sistema

Componentes:

- 4 nodos sensores (equipado con un DHT22, sensor de humedad del suelo capacitivo y sensor de luminosidad GY-30, estos sensores conectados al módulo HTCC-AB02S el que se encuentra alimentado por un panel solar de 5V y una batería de 3000 mA)
- 1 nodo actuador (equipado con 2 módulos de 4 relés conectados al módulo HTCC-AB02S)
- 1 gateway (MikroTik kit 9 LR)
- 1 antena Lora (8 dBi)
- 8 válvulas electromagnéticas de latón de 3/4" 110V AC, normalmente cerrada
- 1 bomba Pedrollo de 1 HP
- 1 cisterna de 1200 litros
- Tuberías y válvulas de riego para aspersión y goteo
- Materiales y equipos para instalación eléctrica
- Fuente de alimentación y cables de conexión

Requisitos Previos:

Herramientas: destornilladores, alicates, ponchadora de cable Utp, martillo, cinta aislante, cautín, estaño, alambre, llave de tubo, teflón, taladro, moladora, cajas plásticas 15cmx15cm, etc.

Ubicación adecuada para los sensores y el gateway.

Pasos de Instalación:

Preparación del Terreno: Marcar las áreas donde se instalarán los nodos sensores en cada parcela.

Instalación de Sensores:

- Sensor de temperatura y humedad DHT22: Colocar en un lugar protegido del sol directo y la lluvia, a una altura conveniente.



- Sensor de Humedad del Suelo: Insertar en el suelo a una profundidad adecuada para las raíces de las plantas.



- Sensor GY-30: Montar en un lugar que reciba luz directa, pero esté protegido de la intemperie.



Configuración del Controlador (Gateway): Conectar el MikroTik kit 9 LR a la fuente de alimentación y configurarlo para la red LoRa.

Conexión de Válvulas y Tuberías: Conectar las válvulas a las tuberías de riego siguiendo el diseño del sistema.



Instalación de la Bomba y Cisterna:

- Colocar la electrobomba Pedrollo de 1 HP cerca de la cisterna.
- Conectar la bomba a la fuente de energía y a las tuberías de riego.
- Conexión Eléctrica: Asegurar que todos los nodos sensores, el nodo actuador, las válvulas electromagnéticas y la bomba estén correctamente conectados a su fuente de energía.

3. Configuración Inicial

Encendido del Sistema:

- Encender todos los nodos sensores, el nodo actuador, las válvulas electromagnéticas y el gateway.
- Activar la alimentación de la electrobomba.

Conexión a la Red LoRa:

Configurar el gateway MikroTik kit 9 LR para construir una red LoRa utilizando la plataforma TTN.

Configuración del Software:

- Registrar el gateway, los nodos sensores y el nodo actuador en la plataforma The Things Network (TTN).
- Integrar TTN con la plataforma Ubidots para el monitoreo y control.

4. Uso del Sistema

Interfaz de Usuario:

Descripción General: La interfaz de Ubidots muestra gráficos en tiempo real de las variables ambientales y permite programar los horarios de riego según estas variables monitoreadas.

Navegación: Utilizar el menú principal para acceder a diferentes secciones: datos en vivo, historial de datos, programación de riego y ajustes del sistema.

Programación de Riegos:

Programación Automática: Configurar reglas automáticas basadas en los datos de humedad del suelo y las otras variables medidas.

Activación Manual: Acceder a la sección de control manual en Ubidots y Activar o desactivar el riego según las necesidades.

Monitoreo y Ajustes:

Monitoreo de Datos: Revisar los datos en tiempo real y los gráficos históricos para entender las condiciones ambientales.

Ajustes del Sistema: Realizar ajustes en los umbrales de riego y otros parámetros según sea necesario.

5. Mantenimiento del Sistema

Revisión de Sensores:

- Inspeccionar periódicamente los sensores para asegurarse de que están limpios y funcionando correctamente.
- Reemplazar cualquier sensor que muestre lecturas inexactas o inconsistentes.
- Limpieza de Componentes:
 - Limpiar las válvulas y tuberías regularmente para evitar obstrucciones.
 - Verificar y limpiar la electrobomba y la cisterna.
- Actualización del Software:
 - Verificar y aplicar actualizaciones de firmware tanto para los nodos sensores como para el gateway.

6. Solución de Problemas

Problemas Comunes y Soluciones:

Problema: No se reciben datos de un sensor.

Solución: Verificar las conexiones del sensor, asegurarse de que esté correctamente alimentado y reiniciar el nodo sensor.

Problema: El sistema no se conecta a la red LoRa.

Solución: Verificar la configuración del gateway, asegurarse de que la red LoRa esté operativa y que el gateway esté dentro del rango de la señal.

Problema: La válvula electromagnética no se abre.

Solución: Verificar la conexión eléctrica de la válvula y asegurarse de que esté recibiendo la señal de apertura.

Problema: La bomba no funciona.

Solución: Verificar la fuente de alimentación de la bomba, revisar si hay obstrucciones en las tuberías y asegurar que la bomba esté en buen estado.

7. Especificaciones Técnicas:

DHT22: Rango de temperatura: -40 a 80°C, precisión de humedad: $\pm 2-5\%$.

Sensor de Humedad del Suelo: Rango de humedad: 0-100%.

Sensor GY-30: Rango de luminosidad: 0-65535 lux.

MikroTik kit 9 LR: Frecuencia: 902-928 MHz (dependiendo de la región).

Cubecell HTCC-AB02S: Tecnología: LoRaWAN, frecuencia: 868 MHz (dependiendo de la región).

Válvula Electromagnética de Latón de 3/4": Voltaje: 110V AC, tipo: normalmente cerrada.

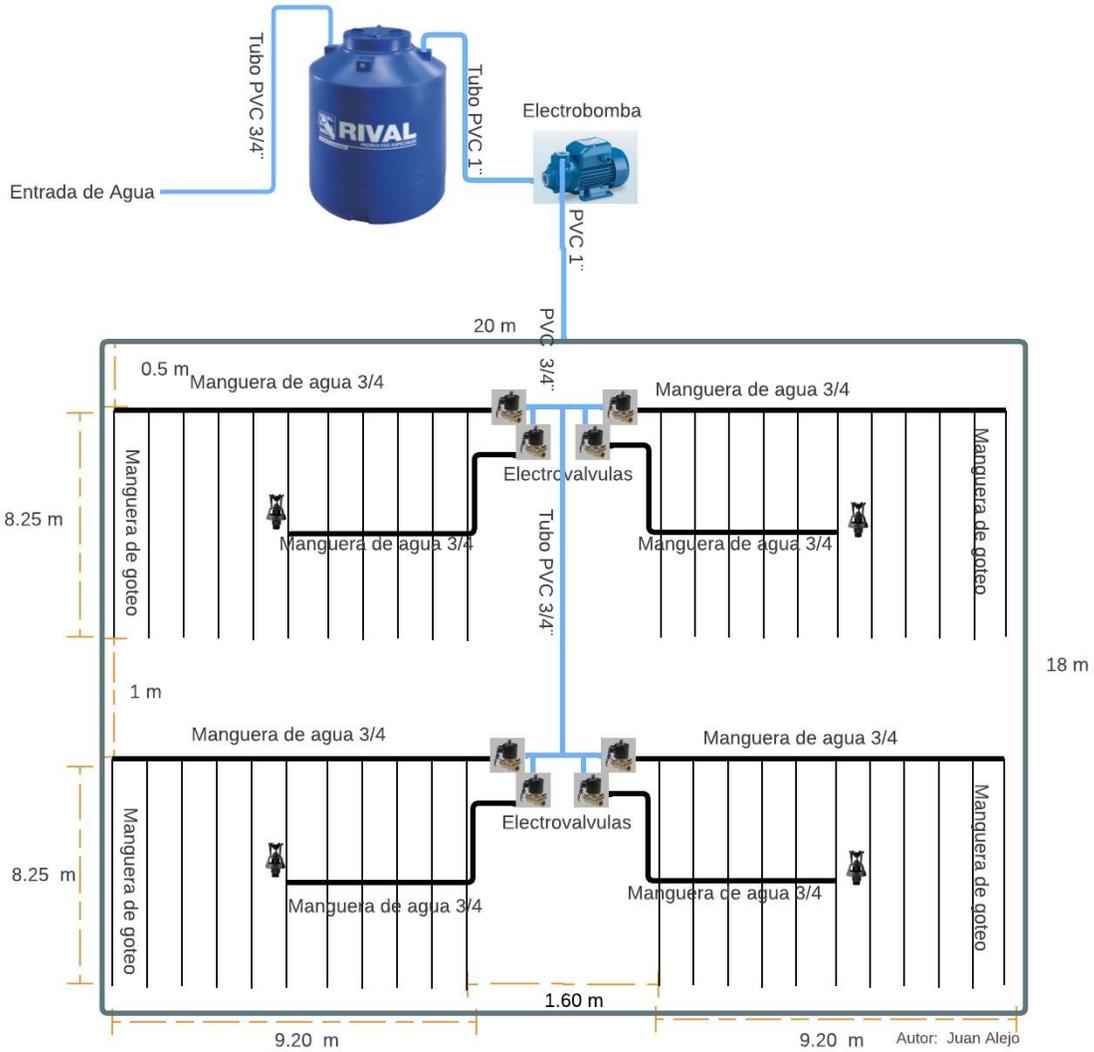
Bomba Pedrollo de 1 HP: Potencia: 1 HP, tipo: centrífuga.

Cisterna: Capacidad: 1200 litros.

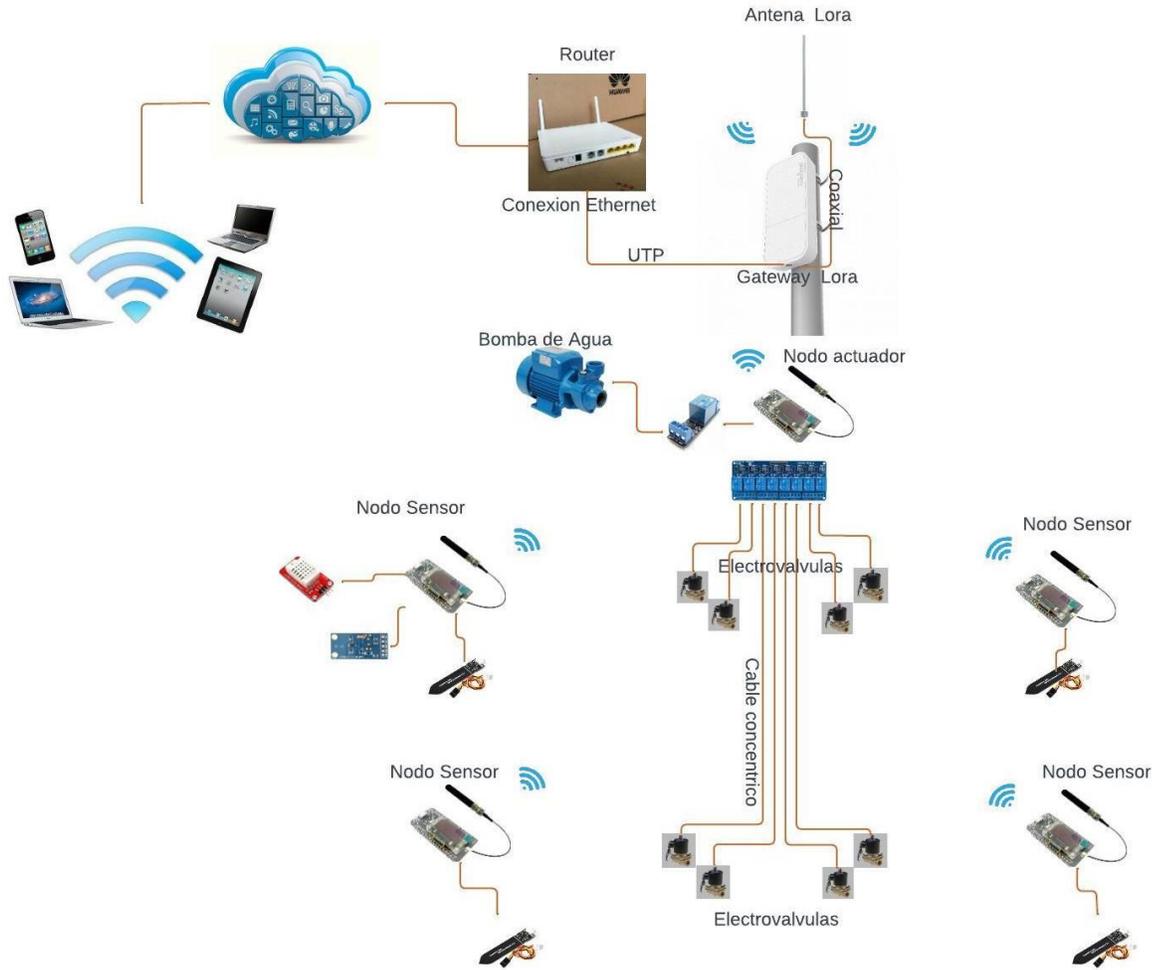
Diagramas y Esquemas:

A continuación, se muestra los diagramas diseñados para instalación y conexión del sistema de riego IoT.

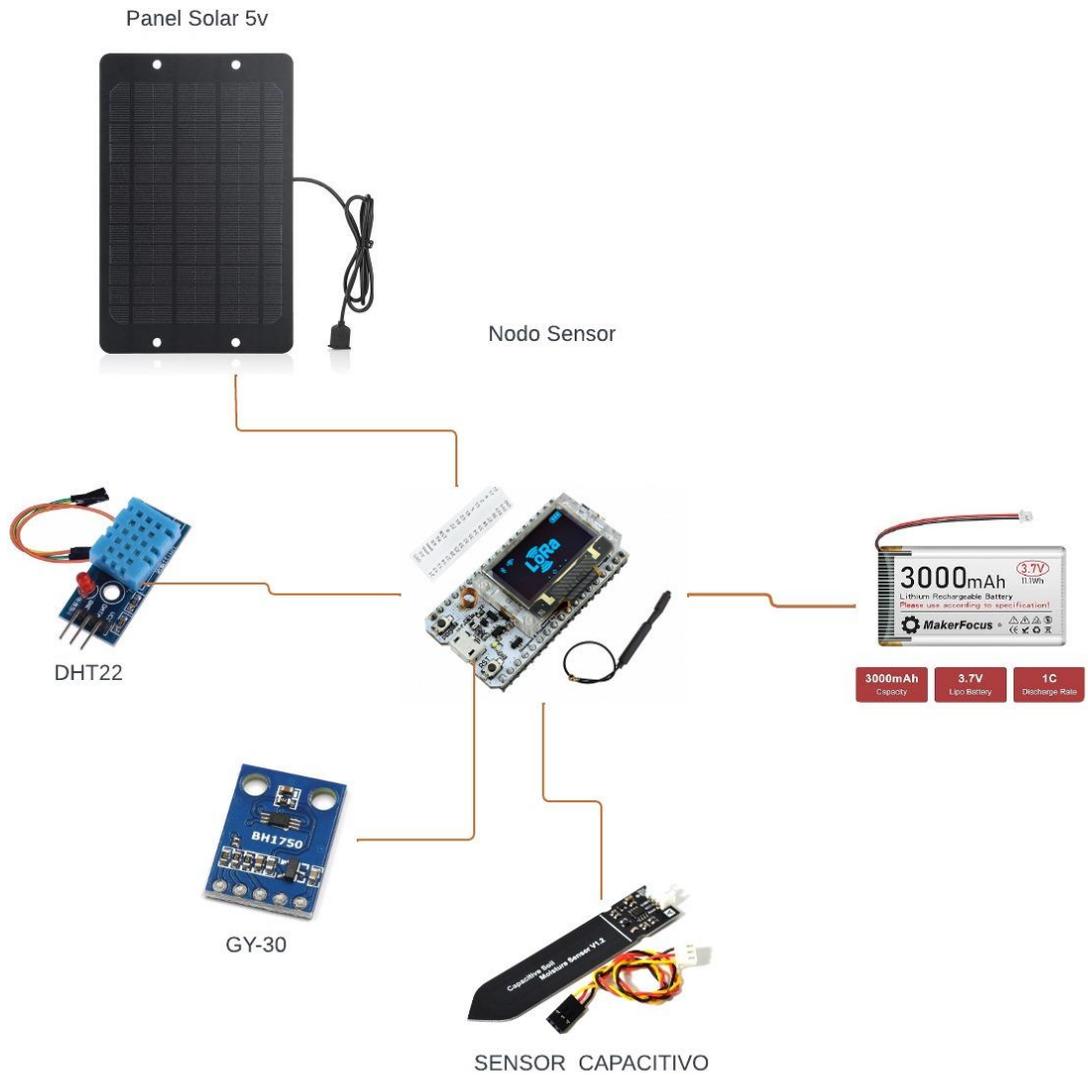
DISEÑO HIDRAULICO PARA SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE CON TECNOLOGIA IOT



DISEÑO ELECTRICO, ELECTRONICO Y DE RED PARA SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE CON TECNOLOGIA IOT



Autor: Juan Alejo



Anexo 2. Presupuesto

<i>Descripción</i>	<i>Cost. c/u (\$)</i>	<i>Cant./compra</i>	<i>Costo total (\$)</i>
SISTEMA DE RED			
Gateway Lora	185,55	1	185,55
Tarjetas (HTCC-AB02S)	33,5	8	268
Antena Lora (8 dBi)	35	1	35
Cable utp (m)	1,2	20	24
SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO			
Cable concéntrico 2x18	0,4	60	24
Cable concéntrico 3x12	2,332	18	41,976
Correas plásticas	0,0267	100	2,67
Riel para breakes 1x16	1,5	1	1,5
Breaks	3,57	6	21,42
Barras puestas a tierra	2,23	2	4,46
Rollo manguera de luz	13,8	1	13,8
Contactador 32 A-110V	15,18	1	15,18
Cable micro USB	9	1	9
Baterías recargables de Litio 3.5 V	30	1	30
Tomacorriente externo	2,5	1	2,5
Relé térmico 23-32 ^a	9,82	1	9,82
Tablero Eléctrico 30x30	14,17	1	14,17
Caja nodo sensor	3,57	4	14,28
Paneles solares	16	4	64
Sensor de humedad (10u)	15	1	15
Sensor de temperatura (DS18B20)	17	1	17
Sensor de luminosidad	6,4	1	6,4
Placa perforada	4,15	4	16,6
Sockets	1,15	20	23
Sensor de humedad y temperatura (DHT22)	8,15	1	8,15
<i>Descripción</i>	<i>Cost. c/u (\$)</i>	<i>Cant./compra</i>	<i>Costo total (\$)</i>
Medidor analógico de Humedad/luz/PH	12,21	1	12,21
SISTEMA HIDRICO			
Tanque cisterna (1200 L)	147,28	1	147,28
Filtro Rotoplas	18,81	1	18,81
Bomba Pedrollo M2C1HP	215	1	215
Tubo 1 pulg	20,09	1	20,09

Tubo de ½	7,098	1	7,098
Tubo ¾	12,946	3	38,838
Electronivel	24,78	1	24,78
Válvula Flotador	25,78	1	25,78
Rollo Manguera ¾ (100m)	43	1	43
Manguera de goteo (400m)	0,1518	400	60,72
Electroválvulas	34	8	272
Unión Universal ¾	2,17	12	26,04
Válvula SP-1pie	12,14	1	12,14
Adaptadores ¾	0,446	12	5,352
Goteros L/H Regulable	0,06	1000	60
Válvula de aire BD 34	6,61	1	6,61
Cortadora plástica ¾	2,233	10	22,33
Cortadora Plástica 1 pulg	2,455	1	2,455
Unión Universal 1 pulg	4,911	2	9,822
T Metálica 1 pulg	1,785	1	1,785
T Plástica de 1 pulg	2,7	2	5,4
Codo 90° de 1 pulg	0,97	3	2,91
Codo ¾	2,165	8	17,32
Codo 45° de 1 pulg	2,0661	1	2,0661
Manguera de 1 pulg (100M)	53,22	1	53,22
T de ¾ roscable	1,294	10	12,94
Neplo de 1 pulg metálico	2,321	1	2,321
Neplo de ¾	0,71	16	11,36
Conector GM 16 mm	0,13	60	7,8
Adaptador 1 pulg	0,35	2	0,7
Teflón	1,1	4	4,4
Abrazaderas ¾	0,581	16	9,296
Reductor ¾ a ½	1,339	2	2,678
Bushing ¾ a ½	0,669	1	0,669
Tapón ¾	0,758	6	4,548
OTROS MATERIALES			
Cemento	8,2	5	41
Disco de corte/metal	1,339	1	1,339
Suelda Indura (60-11)	1,65	1	1,65
Mano de obra	20	30	600
Total			2681,2331

Anexo 3. Cobertura Gateway



Anexo 4. Código para decodificar la carga útil en The Things Network

```
1 //Decoficador Uplink
2 function bytesToInt(by) {
3     f = by[0] | by[1]<<8 | by[2]<<16 | by[3]<<24;
4     return f;
5 }
6
7 function bytesToFloat(by) {
8     var bits = by[3]<<24 | by[2]<<16 | by[1]<<8 | by[0];
9     var sign = (bits>>>31 === 0) ? 1.0 : -1.0;
10    var e = bits>>>23 & 0xff;
11    var m = (e === 0) ? (bits & 0x7fffffff)<<1 : (bits & 0x7fffffff) | 0x800000;
12    var f = sign * m * Math.pow(2, e - 150);
13    return f;
14 }
15
16 function Decoder(bytes, port) {
17     i = 0;
18     //arb = bytesToFloat(bytes.slice(i,i+=4));
19     //br = bytesToFloat(bytes.slice(i,i+=4));
20     ahum = bytesToFloat(bytes.slice(i,i+=4));
21     btem = bytesToFloat(bytes.slice(i,i+=4));
22     cHum_Ab = bytesToFloat(bytes.slice(i,i+=4));
23     dlux = bytesToFloat(bytes.slice(i,i+=4));
24     //eHum_AbP2 = bytesToFloat(bytes.slice(i,i+=4));
25
26     var decoded = {};
27
28     decoded.field1 = ahum;
29     decoded.field2 = btem;
30     decoded.field3 = cHum_Ab;
31     decoded.field4 = dlux;
32
33     return decoded;
34 }
```

Anexo 5. Código para decodificar la carga útil en Ubidots

```
1  async function formatPayload(args){
2    var ubidots_payload = {};
3    // Log received data for debugging purposes:
4    console.log(JSON.stringify(args));
5    // Get RSSI and SNR variables using gateways data:
6    var gateways = args['uplink_message']['rx_metadata'];
7    for (const i in gateways) {
8      // Get gateway EUI and name
9      var gw = gateways[i];
10     var gw_eui = gw['gateway_ids']['eui'];
11     var gw_id = gw['gateway_ids']['gateway_id'];
12     // Build RSSI and SNR variables
13     ubidots_payload['rssi-' + gw_id] = {
14       "value": gw['rssi'],
15       "context": {
16         "channel_index": gw['channel_index'],
17         "channel_rssi": gw['channel_rssi'],
18         "gw_eui": gw_eui,
19         "gw_id": gw_id,
20         "uplink_token": gw['uplink_token']
21       }
22     }
23     ubidots_payload['snr-' + gw_id] = gw['snr'];
24
25   }
26
27   // Get Fcnt and Port variables:
28   ubidots_payload['f_cnt'] = args['uplink_message']['f_cnt'];
29   ubidots_payload['f_port'] = args['uplink_message']['f_port'];
30
31   // Get uplink's timestamp
32   ubidots_payload['timestamp'] = new Date(args['uplink_message']['received_at']).getTime();
33
34   // If you're already decoding in TTS using payload formatters,
35   // then uncomment the following line to use "uplink_message.decoded_payload".
36   // PROTIP: Make sure the incoming decoded payload is an Ubidots-compatible JSON (See https://u
37   data)
38   var decoded_payload = args['uplink_message']['decoded_payload'];
39
40   // By default, this plugin uses "uplink_message.frm_payload" and sends it to the decoding func
41   // For more vendor-specific decoders, check out https://github.com/TheThingsNetwork/lorawan-de
42   //let bytes = Buffer.from(args['uplink_message']['frm_payload'], 'base64');
43   //var decoded_payload = decodeUplink(bytes)['data'];
44   // Merge decoded payload into Ubidots payload
45   Object.assign(ubidots_payload, decoded_payload);
46   return ubidots_payload
47 }
```

```
48
49 //function decodeUplink(bytes) {
50 // Decoder for the RAK1906 WisBlock Environmental Sensor (https://store.rakwireless.com/produ
51 sensor)
52 // var decoded = {};
53 //if (bytes[0] == 1) {
54 // If received data is of Environment Monitoring type
55 //decoded.temperature = (bytes[1] << 8 | (bytes[2])) / 100;
56 //decoded.humidity = (bytes[3] << 8 | (bytes[4])) / 100;
57 // decoded.pressure = (bytes[8] | (bytes[7] << 8) | (bytes[6] << 16) | (bytes[5] << 24)) /
58 // decoded.gas = bytes[12] | (bytes[11] << 8) | (bytes[10] << 16) | (bytes[9] << 24);
59 // }
60 // return {"data": decoded};
61 //}
62 module.exports = { formatPayload };
```

Anexo 6. Código para Nodo Sensor

```
1 #include "LoRaWan_APP.h"
2 #include "Arduino.h"
3 #include <Wire.h>
4 #include <BH1750.h>;
5 #include <DHT.h>;
6 #include <Math.h>
7 #include "HT_SSD1306Wire.h"
8
9 extern SSD1306Wire display;
10
11 /* OTAA para*/
12 uint8_t devEui[] = { 0x70, 0xB3, 0xD5, 0x7E, 0xD8, 0x00, 0x11, 0xBD };
13 uint8_t appEui[] = { 0xDB, 0xBA, 0xDE, 0xFE, 0xD2, 0x3E, 0xD1, 0xA9 };
14 uint8_t appKey[] = { 0x14, 0xD2, 0x00, 0x42, 0xED, 0xF4, 0x58, 0x5D, 0x56, 0xC4, 0x88, 0x33, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 };
15
16 /* ABP para*/
17 uint8_t nwkSKey[] = { 0x15, 0xb1, 0xd0, 0xef, 0xa4, 0x63, 0xdf, 0xbe, 0x3d, 0x11, 0x18, 0x1e, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 };
18 uint8_t appSKey[] = { 0xd7, 0x2c, 0x78, 0x75, 0x8c, 0xdc, 0xca, 0xbf, 0x55, 0xee, 0x4a, 0x77, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 };
19 uint32_t devAddr = (uint32_t)0x007e6ae1;
20 /*Máscara de canales LoRaWan, canales predeterminados 0-7*/
21 uint16_t userChannelsMask[6] = { 0x00FF, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000 };
22 /*Región de LoRaWan, seleccione en herramientas IDE de arduino*/
23 LoRaMacRegion_t loraWanRegion = ACTIVE_REGION;
24 /*Se admiten la clase LoRaWan, la clase A y la clase C*/
25 DeviceClass_t loraWanClass = LORAWAN_CLASS;
26 /*el ciclo de trabajo de transmisión de datos de la aplicación. valor en [ms].*/
27 uint32_t appTxDutyCycle = 5000; //(1*60*60*1000)(hora*minutos*segundos*miliseq)
28 /*OTAA or ABP*/
29 bool overTheAirActivation = LORAWAN_NETMODE;
30 /*ADR enable*/
31 bool loraWanAdr = LORAWAN_ADR;
32 /* configure LORAWAN_Net_Reserve ON, el nodo podría guardar la información de la red en flash, c
33 necesita unirse nuevamente */
34 bool keepNet = LORAWAN_NET_RESERVE;
35 /* Indica si el nodo está enviando mensajes confirmados o no confirmados */
36 bool isTxConfirmed = LORAWAN_UPLINKMODE;
37 /*Puerto de aplicación */
38 uint8_t appPort = 2;
39 uint8_t confirmedNbTrials = 4;
40
41 // Definir el tiempo de recolección de datos
42 unsigned long tiempo_de_recoleccion = 300000; //30seg //30000; // 5 minutos en milisegundos //
43 unsigned long t_trama = 10000;
44 unsigned long t_descanzo = 20*60*1000; //20*60*1000; //20 min;
45 int ciclos = 0;
46 //Definición del Objeto DHT22 y Asignación del pin out
47 #define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
```

```

48 #define SOIL_MOISTURE_PIN ADC1 // Define el pin de datos del sensor de humedad de suelo
49 DHT dht(GPIO3, DHTTYPE); //// Inicializar el PIN GPIO3
50 /* Variables a medir */
51 float hum = 0; // Almacena la humedad relativa
52 float tem = 0; // Almacena la temperatura ambiente
53 float soilHumidity; // Almacena la humedad del suelo medida por el sensor
54 float lux; // Almacena la intensidad de luz
55 BH1750 lightMeter;
56 //desde aki
57 static void prepareTxFrame( uint8_t port )
58 {
59     dht.begin();
60     Wire.begin();
61     lightMeter.begin();
62     hum = dht.readHumidity(); // Lee el valor de humedad relativa sensor dht22
63     tem = dht.readTemperature(); // Lee el valor de Temperatura ambiente sensor dht22
64     soilHumidity = analogRead(SOIL_MOISTURE_PIN); // Lee el valor de humedad del suelo del sensor
65     soilHumidity = map(soilHumidity, 4095.00, 1680.00, 0, 100); // Mapea el valor de humedad del sensor
66     if(soilHumidity > 100) soilHumidity = 100;
67     lux = lightMeter.readLightLevel(); // Leer luminocidad sensor GY-30
68     /* Formación del Payload para decodificar en TTI */
69     unsigned char *puc;
70     puc = (unsigned char *)&hum;
71     appDataSize = 16;
72     appData[0] = puc[0];
73     appData[1] = puc[1];
74     appData[2] = puc[2];
75     appData[3] = puc[3];
76     puc = (unsigned char *)&tem;
77     appData[4] = puc[0];
78     appData[5] = puc[1];
79     appData[6] = puc[2];
80     appData[7] = puc[3];
81     puc = (unsigned char *)&soilHumidity;
82     appData[8] = puc[0];
83     appData[9] = puc[1];
84     appData[10] = puc[2];
85     appData[11] = puc[3];
86     puc = (unsigned char *)&lux;
87     appData[12] = puc[0];
88     appData[13] = puc[1];
89     appData[14] = puc[2];
90     appData[15] = puc[3];
91     /* Impresion de Pantalla */
92     Serial.print("Humedad: ");
93     Serial.print(hum);
94     Serial.print(" %, Temperatura: ");
95     Serial.print(tem);
96     Serial.println(" Grados");
97     Serial.print("Humedad del suelo: ");

```

```

98   Serial.print(soilHumidity);
99   Serial.println("%");
100  Serial.print("Lux: ");
101  Serial.print(lux);
102  Serial.println("lx");
103  delay(2000);
104  }
105  /* Función principal */
106  void setup() {
107  boardInitMcu();
108  Serial.begin(115200);
109  #if(AT_SUPPORT)
110  enableAt();
111  #endif
112  deviceState = DEVICE_STATE_INIT;
113  LoRaWAN.ifskipjoin();
114  }
115  /* Protocolo LoraWan */
116  void loop() {
117  switch( deviceState )
118  {
119  case DEVICE_STATE_INIT:
120  {
121  #if(LORAWAN_DEVEUI_AUTO)
122  LoRaWAN.generateDeveuiByChipID();
123  #endif
124  #if(AT_SUPPORT)
125  getDevParam();
126  #endif
127  printDevParam();
128  LoRaWAN.init(loraWanClass,loraWanRegion);
129  deviceState = DEVICE_STATE_JOIN;
130  break;
131  }
132  case DEVICE_STATE_JOIN:
133  {
134  LoRaWAN.join();
135  break;
136  }
137  case DEVICE_STATE_SEND:
138  {
139  prepareTxFrame( appPort );
140  LoRaWAN.send();
141  deviceState = DEVICE_STATE_CYCLE;
142  break;
143  }
144  case DEVICE_STATE_CYCLE:
145  {
146  // Sigiente paquete de la transmisión
147  txDutyCycleTime = appTxDutyCycle + randr( 0, APP_TX_DUTYCYCLE_RND );

```

```

148     LoRaWAN.cycle(txDutyCycleTime);
149     deviceState = DEVICE_STATE_SLEEP;
150     break;
151 }
152 case DEVICE_STATE_SLEEP:
153 {
154     LoRaWAN.sleep();
155     break;
156 }
157 default:
158 {
159     deviceState = DEVICE_STATE_INIT;
160     break;
161 }
162 }
163 }
164
165 void displayInof() {
166     display.clear();
167     display.setFont(ArialMT_Plain_10);
168     display.drawString(0, 0, "----- SQA & N -----");
169     display.drawString(0, 10, "hum: " + String(hum) + " %");
170     display.drawString(0, 20, "tem: " + String(tem) + " °C");
171     display.drawString(0, 30, "HumAb: " + String(soilHumidity) + " %");
172     display.drawString(0, 40, "Lux: " + String(lux) + " lx");
173     display.drawString(50, 50, "Riego_IoT");
174     display.display();
175 }
176 void enviando() {
177     display.setFont(ArialMT_Plain_16);
178     display.clear();
179     display.drawString(30, 20, "Enviando...");
180     display.display();
181     delay(2500);
182 }
183
184 void exito() {
185     display.setFont(ArialMT_Plain_16);
186     display.clear();
187     display.drawString(30, 20, "LISTO..!!");
188     display.display();
189     delay(2500);
190     display.clear();
191     display.display();
192 }

```

Anexo 7. Código para Nodo Actuador

```
1 #include "LoRaWan_APP.h"
2 #include "Arduino.h"
3 /* Configuración OTAA */
4 uint8_t devEui[] = { 0x70, 0xB3, 0xD5, 0x7E, 0xD0, 0x05, 0xFD, 0x90 };
5 uint8_t appEui[] = { 0xA9, 0x07, 0xFE, 0x11, 0xCB, 0xB8, 0x2F, 0xAA };
6 uint8_t appKey[] = { 0x3F, 0xFD, 0x1F, 0x42, 0x57, 0x98, 0x49, 0x74, 0x11, 0x8F, 0x09, 0x75, 0xFF };
7 /* Configuración ABP */
8 uint8_t nwkSKey[] = { 0x15, 0xb1, 0xd0, 0xef, 0xa4, 0x63, 0xdf, 0xbe, 0x3d, 0x11, 0x18, 0x1e, 0x00 };
9 uint8_t appSKey[] = { 0xd7, 0x2c, 0x78, 0x75, 0x8c, 0xdc, 0xca, 0xbf, 0x55, 0xee, 0x4a, 0x77, 0x00 };
10 uint32_t devAddr = ( uint32_t )0x007e6ae1;
11 /* Máscara de canales LoRaWan, canales predeterminados del 0 al 7 */
12 uint16_t userChannelsMask[6] = { 0x00FF, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000 };
13 /* Región LoRaWan, seleccionada en las herramientas del IDE de Arduino */
14 LoRaMacRegion_t loraWanRegion = ACTIVE_REGION;
15 /* Clase LoRaWan, se admiten Clase A y Clase C */
16 DeviceClass_t loraWanClass = LORAWAN_CLASS;
17 /* Ciclo de trabajo de transmisión de datos de la aplicación, valor en [ms] */
18 uint32_t appTxDutyCycle = 15000;
19 /* OTAA o ABP */
20 bool overTheAirActivation = LORAWAN_NETMODE;
21 /* Activar ADR */
22 bool loraWanAdr = LORAWAN_ADR;
23 /* Establecer LORAWAN_Net_Reserve EN, el nodo podría guardar la información de la red en la memoria
24 reinicie no es necesario unirse de nuevo */
25 bool keepNet = LORAWAN_NET_RESERVE;
26 /* Indica si el nodo está enviando mensajes confirmados o no confirmados */
27 bool isTxConfirmed = LORAWAN_UPLINKMODE;
28 /* Puerto de la aplicación */
29 uint8_t appPort = 2;
30 uint8_t confirmedNbTrials = 4;
31 //Declaracion de pines para cada actuador
32 const int act1Pin = GPIO2;
33 const int act2Pin = GPIO3;
34 const int act3Pin = GPIO4;
35 const int act4Pin = GPIO5;
36 const int act1AsPin = GPIO6;
37 const int act2AsPin = GPIO7;
38 const int act3AsPin = GPIO8;
39 const int act4AsPin = GPIO9;
40 /* Prepara la carga útil del marco */
41 static void prepareTxFrame( uint8_t port )
42 {
43     appDataSize = 16;
44     appData[0] = 0x00;
45     appData[1] = 0x01;
46     appData[2] = 0x02;
47     appData[3] = 0x03;
```

```

48     appData[4] = 0x04;
49     appData[5] = 0x05;
50     appData[6] = 0x06;
51     appData[7] = 0x07;
52     appData[0] = 0x09;
53     appData[1] = 0x10;
54     appData[2] = 0x11;
55     appData[3] = 0x12;
56     appData[4] = 0x13;
57     appData[5] = 0x14;
58     appData[6] = 0x15;
59     appData[7] = 0x16;
60
61 }
62 void downLinkDataHandle(McpsIndication_t *mcpsIndication) {
63     if (mcpsIndication->BufferSize == 1) {
64         byte command = mcpsIndication->Buffer[0];
65         switch (command) {
66             case 0x00:
67                 digitalWrite(act1Pin, LOW);
68                 digitalWrite(act2Pin, LOW);
69                 digitalWrite(act3Pin, LOW);
70                 digitalWrite(act4Pin, LOW);
71                 digitalWrite(act1AsPin, LOW);
72                 digitalWrite(act2AsPin, LOW);
73                 digitalWrite(act3AsPin, LOW);
74                 digitalWrite(act4AsPin, LOW);
75                 break;
76             case 0x01:
77                 digitalWrite(act1Pin, HIGH);
78                 break;
79             case 0x02:
80                 digitalWrite(act2Pin, HIGH);
81                 break;
82             case 0x03:
83                 digitalWrite(act3Pin, HIGH);
84                 break;
85             case 0x04:
86                 digitalWrite(act4Pin, HIGH);
87                 break;
88             case 0x05:
89                 digitalWrite(act1AsPin, HIGH);
90                 break;
91             case 0x06:
92                 digitalWrite(act2AsPin, HIGH);
93                 break;
94             case 0x07:
95                 digitalWrite(act3AsPin, HIGH);
96                 break;
97             case 0x08:

```

```

98         digitalWrite(act4AsPin, HIGH);
99         break;
100     }
101 }
102 }
103 void setup() {
104     pinMode(act1Pin, OUTPUT);
105     pinMode(act2Pin, OUTPUT);
106     pinMode(act3Pin, OUTPUT);
107     pinMode(act4Pin, OUTPUT);
108     pinMode(act1AsPin, OUTPUT);
109     pinMode(act2AsPin, OUTPUT);
110     pinMode(act3AsPin, OUTPUT);
111     pinMode(act4AsPin, OUTPUT);
112     Serial.begin(115200);
113     #if(AT_SUPPORT)
114         enableAt();
115     #endif
116     deviceState = DEVICE_STATE_INIT;
117     LoRaWAN.ifskipjoin();
118 }
119
120 void loop(){
121     switch( deviceState )
122     {
123         case DEVICE_STATE_INIT:
124             {
125             #if(LORAWAN_DEVEUI_AUTO)
126                 LoRaWAN.generateDeveuiByChipID();
127             #endif
128             #if(AT_SUPPORT)
129                 getDevParam();
130             #endif
131                 printDevParam();
132                 LoRaWAN.init(loraWanClass,loraWanRegion);
133                 deviceState = DEVICE_STATE_JOIN;
134                 break;
135             }
136         case DEVICE_STATE_JOIN:
137             {
138                 LoRaWAN.join();
139                 break;
140             }
141         case DEVICE_STATE_SEND:
142             {
143
144                 prepareTxFrame( appPort );
145                 LoRaWAN.send();
146                 deviceState = DEVICE_STATE_CYCLE;
147                 break;

```

```
148     }
149     case DEVICE_STATE_CYCLE:
150     {
151         // Programa la siguiente transmisión de paquetes
152         txDutyCycleTime = appTxDutyCycle + randr( 0, APP_TX_DUTYCYCLE_RND );
153         LoRaWAN.cycle(txDutyCycleTime);
154         deviceState = DEVICE_STATE_SLEEP;
155         break;
156     }
157     case DEVICE_STATE_SLEEP:
158     {
159         LoRaWAN.sleep();
160         break;
161     }
162     default:
163     {
164         deviceState = DEVICE_STATE_INIT;
165         break;
166     }
167 }
168 }
```

Anexo 8. Certificación de traducción del Resumen



Loja, 25 de septiembre de 2024

Lic. Karina Yajaira Martínez Luzuriaga

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS

CERTIFICO:

Yo, Karina Yajaira Martínez Luzuriaga con cédula de identidad Nro. 1104902679, **Licenciada en Ciencias de la Educación Mención Inglés** por la Universidad Técnica Particular de Loja, con número de registro 1031-2022-2574017 en la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, señalo que el presente documento es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen del Trabajo de Titulación denominado **Implementación de un Sistema de Riego Inteligente para Huertos Familiares en la Parroquia San Pedro de Vilcabamba haciendo uso de Tecnología IoT.**, elaborado por el Sr. Juan Enrique Alejo Palacios, con cédula de identidad Nro. 1105207813, estudiante egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Loja.



Lic. Karina Yajaira Martínez Luzuriaga

C.I. 1104902679

REGISTRO SENESCYT N°: 1031-2022-2574017