



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN**

TEMA:

“SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y CONTROL DE DATOS DE VARIABLES DE RIEGO POR
SURCOS, CON ENVÍO DE DATOS A LA NUBE UTILIZANDO AWS, APLICADOS EN
CULTIVOS DE CAPSICUM ANNUUM Y PHASEOLUS VULGARIS”

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en
Telecomunicaciones**

Línea de Investigación: Desarrollo, aplicación de software y cibersecurity (seguridad
cibernética)

AUTOR:

Benavides Pavón Joseth Steve

DIRECTOR:

Ing. Caranqui Sánchez Víctor Manuel, MSc

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004959761		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Benavides Pavón Joseth Steve		
DIRECCIÓN:	Guayas e Isla Fernandina (Callejón sin salida – casa 2)		
EMAIL:	jsbenavidesp@utn.edu.ec / benavidesjoseth2001@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	-----	TELF. MOVIL	0993720491

DATOS DE LA OBRA				
TÍTULO:	Sistema de recolección y control de datos de variables de riego por surcos, con envío de datos a la nube utilizando AWS, aplicados en cultivos de Capsicum annum y Phaseolus vulgaris.			
AUTOR (ES):	Joseth Steve Benavides Pavón			
FECHA: AAAAMMDD	2025/06/02			
SOLO PARA TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR				
CARRERA/PROGRAMA:	X	GRADO		POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Telecomunicaciones			
DIRECTOR:	Msc. Víctor Manuel Caranqui Sánchez			
ASESOR:	Msc. Luis Edilberto Suárez Zambrano			

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Joseth Steve Benavides Pavón, con cédula de identidad Nro. 1004959761, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 2 días del mes de junio de 2025

EL AUTOR:



.....

Benavides Pavón Joseth Steve

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 2 días del mes de junio de 2025

EL AUTOR:

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the bottom, positioned above a dotted line.

Benavides Pavón Joseth Steve

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 02 de junio de 2025

Ing. Caranqui Sánchez Víctor Manuel, MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



.....
Ing. Caranqui Sánchez Víctor Manuel, MSc

C.C.: 1002006508

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “Sistema de recolección y control de datos de variables de riego por surcos, con envío de datos a la nube utilizando AWS, aplicados en cultivos de *Capsicum annuum* y *Phaseolus vulgaris*” elaborado por Benavides Pavón Joseth Steve, previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



Ing. Caranqui Sánchez Víctor Manuel, MSc

C.C.: 1002006508



Ing. Suárez Zambrano Luis Edilberto, MSc

C.C.: 1002304291

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con mucho amor a mis padres José Luis Benavides y Yajaira Pavón, quienes me brindaron su apoyo y amor infinito cuando más lo necesitaba y quienes fueron testigos de todo el esfuerzo que ponía en todo lo que yo hacía noche tras noche en cada tarea y proyecto. Agradezco a mis abuelitos paternos y maternos María Navarrete, Gonzalo Pavón (+), Elena Rivadeneira y Fausto Benavides (+) quienes fueron mis segundos padres y que con sus palabras de aliento me dieron fuerza para seguir luchando por mis sueños y así no rendirme jamás. A mis tíos, tías, primos y primas, quienes siempre preguntaban atentos sobre cómo iba mi proyecto y siempre me motivaban con sus palabras. Gracias por siempre creer en mí, por estar conmigo en los buenos y malos momentos, gracias por siempre confiar en mí y por brindarme sus buenos consejos.

A mi hermano Luis, quien ha sido mi compañero de vida durante todos estos años y que con sus locuras siempre logra sacarme una sonrisa y me enseña a todos los días no darme por vencido y luchar por mis sueños sin importar lo difícil que haya sido.

A mi novia Joselyn Trujillo, quien se ha convertido en mi mejor amiga y confidente y quien ha sido mi acompañante en todo este camino y con su amor incondicional me brinda siempre su apoyo y jamás me ha dejado solo, ayudándome a enfrentar muchos retos que se han presentado en este largo camino.

A mis ángeles de 4 patas, Linda, Cuquis, Chiki, quienes han estado conmigo noche tras noche, acompañándome en cada momento mientras yo realizaba cada una de mis tareas, gracias por estar conmigo en mis largas noches de desvelo, las amo mucho.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón a mis padres, quienes han sido un apoyo fundamental en mi vida, jamás me han dejado solo y siempre me brindan su amor y nunca dejaron de creer en mí, gracias a ellos puedo culminar mis estudios y gracias por siempre confiar en mí.

A mi director Víctor Caranqui por ser un gran guía para mí, me ha brindado sus consejos y su conocimiento a lo largo de todo este proceso. Su conocimiento y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación, además de sus excelentes valores morales. Agradezco también a mi asesor Luis Suárez por sus aportes, su paciencia y su dedicación que enriquecieron este trabajo.

Agradezco a la Institución de educación superior, la cual considero como mi segunda casa, ya que es el lugar donde día a día con mucho esfuerzo y dedicación se desarrollaron tareas, proyectos e investigaciones. A cada uno de los ingenieros que durante estos 6 años me brindaron su sabiduría y sirvieron de guía para convertirme en un excelente profesional.

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular se centra en la problemática de los campos agrícolas, concentrándose en el cambio radical de la implementación de tecnología para la obtención de datos tanto de cultivos de *Capsicum annuum* y *Phaseolus vulgaris*. Para ello se considera el levantamiento de un sistema de recolección y control de datos de variables de riego por surcos, con envío de datos a la nube utilizando AWS, aplicados en cultivos de *Capsicum annuum* y *Phaseolus vulgaris*. El objetivo principal del proyecto detalla una investigación exhaustiva, para identificar y analizar de manera detallada los factores clave que pueden ejercer influencia en el rendimiento de estos cultivos. Esto se llevará a cabo mediante el levantamiento de un sistema que ayude en la recolección de datos (humedad del suelo, luminosidad y PH del suelo), el sistema se constituye de varios factores importantes, primero el sistema recolecta 14 variables de lectura de sensores de humedad del suelo, 1 lectura de un sensor foto - resistor de luz y 1 sensor de PH del suelo, para lo cual se va a considerar el almacenamiento de todas estas variables en un Arduino 2560, pasado esto se procede a tomar en cuenta la comunicación inalámbrica haciendo uso de módulos LoRA que están integrados en un microcontrolador ESP32, para finalmente recibir los datos desde la parte del receptor y con ayuda de una Raspberry PI 3B+, hacer que los datos puedan ser almacenados en una tabla en AWS y que puedan ser visualizados desde cualquier parte del mundo.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, *Phaseolus Vulgaris*, LoRA, riego por gravedad, sistema IoT, Agricultura de precisión.

ABSTRACT

This curricular integration project focuses on the problems of agricultural fields, concentrating on the radical change in the implementation of technology to obtain data on both *Capsicum annuum* and *Phaseolus vulgaris* crops. To this end, a data collection and monitoring system for furrow irrigation variables is being developed, with data transmission to the cloud using AWS, for use in *Capsicum annuum* and *Phaseolus vulgaris* crops. The main objective of the project details an exhaustive investigation to identify and analyze in detail the key factors that can influence the yield of these crops. This will be carried out by creating a system that assists in data collection (soil moisture, soil pH, and luminosity). The system is made up of several important factors. First, the system collects 14 variables from soil moisture sensor readings, 1 reading from a photoresistor light sensor, and 1 soil pH sensor. All these variables will be stored in Arduino 2560. After this, wireless communication is considered using LoRA modules integrated into an ESP32 microcontroller. Finally, the data is received from the receiver, and, with the help of a Raspberry PI 3B+, the data can be stored in a table in AWS so that it can be viewed from anywhere in the world.

Keywords: *Capsicum annuum*, *Phaseolus vulgaris*, LoRA, gravity irrigation, IoT system, Precision Agriculture.

LISTA DE SIGLAS

IoT: *Internet of Things (Internet de las cosas).*

LoRa: *Long Range (Largo Alcance).*

LPWAN: *Low Power Wide Area Network (Red de Área Amplia de Bajo Consumo).*

AWS: *Amazon Web Services (Servicios Web de Amazon).*

CLI: *Command Line Interface (Interfaz de Línea de Comandos).*

ID: *Identifier / Identification (Identificador / Identificación).*

VCC: *Voltage Common Collector (Voltaje de Alimentación Común).*

GND: *Ground (Conexión a tierra).*

CLK: *Clock (Reloj (señal de sincronización)).*

DAT: *Data (Datos).*

PH: *Potential of Hydrogen (Potencial de Hidrógeno (medida de acidez o alcalinidad)).*

LAN: *Local Area Network (Red de Área Local).*

WAN: *Wide Area Network (Red de Área Amplia).*

SRSH: *“Software Requirements Specification Hierarchy” (Jerarquía de especificaciones de requisitos de software).*

MQTT: *Message Queuing Telemetry Transport (Transporte de Telemetría en Cola de Mensajes).*

CoAP: *Constrained Application Protocol (Protocolo de Aplicación para Dispositivos con Recursos Limitados).*

HTTP: *Hypertext Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Hipertexto).*

USB: *Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie).*

UTP: *Unshielded Twisted Pair (Par Trenzado Sin Blindaje).*

Wi-Fi: *Wireless Fidelity (Fidelidad Inalámbrica).*

TIC: *Trabajo de Integración Curricular.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

LISTA DE SIGLAS	11
1. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	23
1.1. Tema	23
1.2. Problema de investigación.....	23
1.3. Objetivos	24
1.3.1. Objetivo General	24
1.3.2. Objetivos Específicos.....	24
1.4. Formulación del problema de Investigación	25
1.5. Justificación	26
2. CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	29
2.1. Reseña Histórica	29
2.1.1. Historia y evolución de los sistemas de riego	29
2.1.2. Principios de riego por surcos	30
2.2. Especies de plantas seleccionadas para el estudio.....	31
2.2.1. Capsicum annum.....	32
2.2.2. Phaseolus Vulgaris	33
2.3. Sistemas de riego	34
2.3.1. Riego por aspersión	36
2.3.2. Riego por goteo	36
2.3.3. Riego por surcos	37
2.4. Importancia del control de riego	38
2.4.1. Control de riego en Capsicum annum.....	38
2.4.2. Control de riego en Phaseolus Vulgaris.....	39
2.5. Agricultura de Precisión.....	40
2.6. Factores de medición	41
2.6.1. Humedad del suelo	43

2.6.2. Humedad relativa	44
2.6.4. Luminosidad	44
2.6.5. PH del suelo.....	45
2.7. Low Power Wide Area Network (LPWAN)	45
2.7.1. LoRa	47
2.7.2. Lora WAN	48
2.7.3. Arquitectura de LoRa	49
2.8. Sistemas IoT (Internet of Things).....	57
2.8.1. Definición de un Sistema IoT	57
2.8.2. Componentes básicos de un sistema IoT	58
2.8.3. Sistemas IoT aplicados en agricultura inteligente.....	59
2.9. Sistemas de Cloud Computing.....	60
2.9.1. Definición y conceptos clave	60
2.9.2. Arquitectura básica de Cloud Computing	61
2.9.3. Plataformas líderes en Cloud Computing.....	62
2.10. Minería de datos.....	63
2.10.1. Introducción a la minería de datos	64
2.10.2. Preparación y limpieza de datos	64
2.10.3. Algoritmos y agrupaciones	64
2.10.4. Métodos de análisis exploratorios de datos.....	65
3. CAPÍTULO III.	67
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	67
3.1. Metodología	67
3.2. Modelo en cascada	67
3.3. Determinación de Stakeholders	69
3.4. Análisis de la situación actual	69
3.5. Requerimientos del sistema.....	71

3.5.1. Nomenclatura de requerimientos	72
3.5.2. Requerimientos de involucrados y operacionales	73
3.5.3. Requerimientos del sistema	74
3.5.4. Requerimientos de arquitectura	76
3.6. Hardware y software destinado para el sistema	78
3.6.1 Three Way Meter.....	78
3.6.1. Microcontrolador Arduino Mega 2560 o ADK.....	79
3.6.2. LILYGO T3 v1.6.1 LoRa 32 (868/915 MHz).....	81
3.6.3. Sensor de Humedad YL-69.....	83
3.6.4. Sensor Foto Resistor (KY-018)	84
3.6.5. PH-4502C Sensor de PH con Sonda en Modulo para Arduino PH-7BNC	86
3.6.6. Módulo de reloj (DS1302).....	87
3.6.7. Servomotor MG 995.....	88
3.6.6. Raspberry Pi 3B+	90
3.6.7. LCD 16x2 con módulo I2C	91
3.6.7. Software de Arduino Uno	92
3.6.8. Software de Raspberry	94
3.6.9. AWS (Amazon Web Service)	95
3.7. Topología de red	97
3.7.1. Topología proyectada para la alimentación independiente del sistema .	98
3.7.2. Diagrama circuital del sistema	99
3.8. Toma de datos con Three – Way Soil Meter	103
3.9. Diagramas de flujo para la configuración e integración de componentes del sistema.....	105
3.9.1. Configuración Arduino Mega 2560	105
3.9.2. Configuración Lilygo T3 como transmisor	106
3.9.3. Configuración Lilygo T3 como receptor	107

3.9.4. Creación de tabla en Dynamo DB (AWS)	109
3.9.5. Configuración Raspberry PI 3B+	116
3.9.6. Creación de Bot para recepción de alertas	119
3.9.7. Creación y configuración de DASHBOARD	121
3.9.7. Configuración en Arduino con módulo para automatización de compuerta de riego.....	129
3.10. Implementación del sistema propuesto	131
3.11. Mantenimiento del sistema	132
3.12. Energía del sistema	133
3.13. Escalabilidad y Adaptación a Diferentes Tipos de Cultivos.....	134
3.14. Medición de pH en el agua de riego	135
4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS	136
4.1. Obtención de datos con el Three-Way Meter	136
4.2. Obtención de datos con el sistema aplicado.....	136
4.2.1. Tiempo de muestreo	137
4.2.2. Relaciones y conversiones de valores.....	138
4.3. Verificación de datos mediante un Dashboard	140
4.4. Mensajes recibidos en la App de Telegram	141
4.5. Análisis del cultivo de Capsicum annuum	142
4.5.1. Altura de la planta.....	142
4.5.2. Coloración y número de hojas.....	144
4.5.3. Peso y medida de los frutos de Capsicum annum	145
4.6. Análisis del cultivo de Phaseolus vulgaris	146
4.6.1. Altura de la planta.....	147
4.6.2. Coloración y número de hojas en Phaseolus vulgaris	148
4.6.3. Peso y medida de los frutos de Phaseolus vulgaris.....	148
4.7. Funcionalidad del sistema de riego	150

4.7.1. Penetración de agua en el suelo.....	150
4.7.2. Pruebas de riego con compuerta mecánica.....	150
4.8. Costos del sistema	151
4.8.1. Costos de Hardware	151
4.8.2. Costos de software	152
4.8.3. Costos de Infraestructura	153
4.8.4. Costos Adicionales	154
4.9. Validación de trabajo de frecuencia con un SDR.....	154
CONCLUSIONES	156
RECOMENDACIONES	157
BIBLIOGRAFÍA	158
ANEXOS	166
ANEXO A.- Código de Arduino Almacenamiento de variables de los sensores	166
ANEXO B.- Código de Lilygo T3 - LoRA (Transmisor -TX).....	167
ANEXO C.- Código de Lilygo T3 - LoRA (Receptor - RX)	168
ANEXO D.- Código de Raspberry PI 3B+ (Gateway).....	169
ANEXO E.- Código para la automatización de la compuerta de riego	175
ANEXO F.- Semillas de Pimiento	178
ANEXO F.- Semillas de Fréjol	178
ANEXO G.- Preparación de terreno y reparación de surcos.....	179
ANEXO H.- Fumigación y cuidado en los cultivos	179
ANEXO I.- Verificación de cultivo de Capsicum annuum	180
ANEXO J.- Verificación de cultivo de Phaseolus Vulgaris.....	180
ANEXO L.- Pines de conexión para la Lilygo TTGO T3 V1	181

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Sistema de riego en la antigüedad.....	30
Figura 2	Capsicum annum.....	33
Figura 3	Cultivo de Phaseolus vulgaris	34
Figura 4	Riego por gravedad en cultivos de Phaseolus vulgaris	40
Figura 5	Low Power Wide Area Network	47
Figura 6	Arquitectura de LoRa	50
Figura 7	Representación de la arquitectura del modelo en cascada	68
Figura 8	Representación de la distancia desde el nodo de los sensores hasta el nodo receptor base en la oficina central	71
Figura 9	Fuente del canal de riego principal hasta el inicio del riego por gravedad....	71
Figura 10	Preparación del terreno y riego antes de la plantación.....	72
Figura 11	Three-Way Soil Meter	78
Figura 12	Arduino MEGA 2560	80
Figura 13	LILYGO T3 v1.6.1 LoRa 32 (868/915 MHz).....	81
Figura 14	Sensor de humedad YL-69	83
Figura 15	Sensor Foto Resistor (KY-018)	85
Figura 16	Sensor PH-4502C.....	86
Figura 17	Módulo de reloj (DS1302)	87
Figura 18	Servomotor MG 995	89
Figura 19	Raspberry Pi 3B+	90
Figura 20	LCD 16x2 con módulo I2C.....	91
Figura 21	Arduino IDE.....	93
Figura 22	Raspberry con integración de lenguaje Raspbian	94
Figura 23	Amazon Web Service	96

Figura 24 Diseño de topología para el sistema propuesto	98
Figura 25 Diseño de topología de proyección para el sistema de alimentación independiente.....	99
Figura 26 Diseño del diagrama circuital para el nodo en los cultivos.....	101
Figura 27 Diseño del diagrama circuital del nodo receptor para la oficina.....	102
Figura 28 Diseño del diagrama circuital para la automatización de la compuerta de riego	103
Figura 29 Medición en el cultivo de pimiento con el Three - Way Meter.....	104
Figura 30 Diagrama de flujo para el almacenamiento de los valores de datos en el Arduino Mega 2560.....	106
Figura 31 Diagrama de flujo para la transmisión de datos mediante LoRa con la LilyGO T3	107
Figura 32 Diagrama de flujo para la LilyGO T3 actuando como receptor	108
Figura 33 Primera fase de registro para AWS	109
Figura 34 Envío de código de confirmación para verificación y validación de datos	110
Figura 35 Creación y verificación de contraseña para el usuario raíz.....	110
Figura 36 Ingreso de datos personales, constatación de número telefónico y dirección	111
Figura 37 Datos de tarjeta de débito o crédito para el consumo de servicios	112
Figura 38 Registro exitoso para una cuenta en AWS	112
Figura 39 Ingreso al servicio de Dynamo DB para la creación de la tabla	113
Figura 40 Requisitos para la creación de la tabla	113
Figura 41 Selección de la configuración para la tabla.....	114
Figura 42 Verificación de la creación correcta de la tabla con su respectivo estado...	114
Figura 43 Selección del servicio de IAM en AWS.....	115

Figura 44	Creación de un nuevo permiso para el servicio de Dynamo DB	115
Figura 45	Asignación de políticas de permisos para la tabla en Dynamo DB	116
Figura 46	Diagrama de flujo de las librerías instaladas y las credenciales para el desarrollo del sistema	117
Figura 47	Diagrama de flujo del proceso de almacenamiento de las variables en Dynamo DB en AWS.....	118
Figura 48	Creación del nuevo Bot en Telegram con BotFather	119
Figura 49	Verificación de la creación del nuevo Bot con su respectivo Token.....	120
Figura 50	Obtención del ID del BOT mediante el envío de mensajes	120
Figura 51	Diagrama de flujo del receptor para la configuración de mensajes a mostrar en Telegram	121
Figura 52	Diagrama de flujo de los procesos desarrollados para la comunicación entre AWS e InfluxDB para la creación del Dashboard final.....	122
Figura 53	Creación de un nuevo bucket para la conexión.....	123
Figura 54	Asignación del nombre para el nuevo Bucket.....	123
Figura 55	Verificación de organización y token para la conexión y recibimiento de datos.....	124
Figura 56	Asignación de zona horario y nombre de usuario para Grafana Cloud	125
Figura 57	Selección de conexión y sistema en Grafana Cloud	125
Figura 58	Adición de un nuevo recurso de conexión	126
Figura 59	Establecimiento de parámetros de conexión entre InfluxDB y Grafana....	126
Figura 60	Conexión exitosa entre el Bucket creado y Grafana	127
Figura 61	Selección de presentación de una fila determinada	127
Figura 62	Añadidura del nuevo Dashboard para representación de los datos.....	128
Figura 63	Selección de diseño de indicador para los datos recibidos	128

Figura 64 Visualización final de la fila de datos seleccionada para el diseño determinado	129
Figura 65 Diagrama de flujo de los procesos realizados para la automatización de la compuerta	130
Figura 66 Implementación del sistema en el terreno.....	132
Figura 67 Medición de pH del agua de riego con pH-metro digital tipo lápiz.....	135
Figura 68 Prueba de almacenamiento de datos en una tabla en AWS.....	137
Figura 69 Verificación del recibimiento de cada una de las filas de datos.....	140
Figura 70 Visualización final de datos en Dashboard para el usuario final	141
Figura 71 Recibimiento de mensajes o alertas para cada una de las filas de datos....	141
Figura 72 Altura promedio de Capsicum annuum entre para la fase A y B	144
Figura 73 Coloración en las hojas del cultivo entre la Fase A y B.....	144
Figura 74 Conteo de hojas entre la parte manual y el automatizado.....	145
Figura 75 Peso del pimiento con control manual	146
Figura 76 Altura del fréjol entre la fase A y B.....	147
Figura 77 Promedio del número de hojas para el cultivo en la fase A y B.....	148
Figura 78 Peso de una fila cosechada de fréjol para la fase B	149
Figura 79 Medición de penetración de agua en el suelo	150
Figura 80 Compuerta de riego con la implementación del servomotor	151
Figura 81 Validación de frecuencia de transmisión y recepción de datos a 915 MHz con un SDR.....	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Comparativa sobre las especies vegetales.....	32
Tabla 2	Sistemas de irrigación	35
Tabla 3	Factores de medición e importancia al medio ambiente	42
Tabla 4	Tipos de nodos	53
Tabla 5	Tipos de conexiones	56
Tabla 6	Lista de Stakeholders del proyecto de investigación	69
Tabla 7	Definición de Acrónimos y Abreviaturas para el proyecto	73
Tabla 8	Tabla requisitos del usuario.....	73
Tabla 9	Tabla de requerimientos del sistema	74
Tabla 10	Tabla de los requerimientos de arquitectura	76
Tabla 11	Tabla de características y especificaciones para el Three-Way Soil Meter....	79
Tabla 12	Tabla de características y especificaciones del microcontrolador ATmega2560	80
Tabla 13	Tabla de características y especificaciones del microcontrolador LILYGO T3	82
Tabla 14	Tabla de características y especificaciones del sensor de humedad YL-69 ...	83
Tabla 15	Tabla de características y especificaciones del sensor-foto resistor KY-018.	85
Tabla 16	Tabla de características y especificaciones del sensor PH-4502 C	86
Tabla 17	Tabla de características y especificaciones del módulo de reloj DS1302.....	88
Tabla 18	Características y especificaciones del servomotor MG 995	89
Tabla 19	Características y especificaciones de la Raspberry PI3B+	90
Tabla 20	Tabla de características y especificaciones del LCD 16X2 con I2C.....	92
Tabla 21	Tabla de características y especificaciones de Arduino IDE.....	93
Tabla 22	Tabla de características y especificaciones del software Raspberry	95

Tabla 23	Tabla de características y especificaciones de AWS	96
Tabla 24	Tabla de variables para la medición de variables con Three-Way Soil Meter	104
Tabla 25	Tabla de tiempos de llegada de datos de cada fila de variables	137
Tabla 26	Tabla de relaciones entre los sensores y el medidor analógico para la humedad	138
Tabla 27	Tabla de relaciones entre los sensores y el medidor analógico para la luminosidad	139
Tabla 28	Tabla de relaciones entre los sensores y el medidor analógico para el pH del suelo.....	139
Tabla 29	Tabla resumen de la altura y número de hojas entre el cultivo para la fase A y B	142
Tabla 30	Tabla de resumen de cultivo de Phaseolus vulgaris.....	146
Tabla 31	Cosecha en gramos y libras de Phaseolus vulgaris por fila	149
Tabla 32	Tabla de costos de Hardware para el sistema.....	152
Tabla 33	Tabla de costos de software para el sistema.....	153
Tabla 34	Tabla de costos de infraestructura para el sistema	153
Tabla 35	Costos adicionales para el levantamiento de cultivos y sistema.....	154

1. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. Tema

Sistema de recolección y control de datos de variables de riego por surcos, con envío de datos a la nube utilizando AWS, aplicados en cultivos de *Capsicum Annuum* y *Phaseolus Vulgaris*.

1.2. Problema de investigación

Hoy en día es importante mantener vivos los ecosistemas terrestres, al igual la manera de gestionar de manera sostenible estos (David, 2020), luchar en contra de los problemas causados por factores de control de plagas, tener un control considerable de los factores ambientales o simplemente la acción del mismo humano (Agropinos, 2022).

En la sociedad, existen campos agrícolas que han quedado totalmente abandonados o han sido destruidos por acción del hombre, en lo referente a agricultura se suele poner el foco en las medidas orientadas al crecimiento y desarrollo de los cultivos en las mejores condiciones posibles (Aepla, 2023). Los sensores que se utilizan en la parte del sector agrícola allanan el camino para la digitalización de la agricultura. Los datos que revelan estos, permiten evaluar prácticamente los efectos de salud de los cultivos y realizar cierta comparación con los valores obtenidos, para planificar y aplicar medidas específicas sobre estos. El uso de estos datos de igual forma puede ayudar a reducir la mano de obra fuerte y facilitar el trabajo de las personas (Sgargi, 2022). Actualmente, el desperdicio del agua es uno de los problemas más grandes que se presenta en este tipo de proyectos, El sector agrícola se enfrenta a numerosos problemas relacionados con el agua principalmente debido al cambio climático y al aumento de la demanda de agua. En este sentido, el crecimiento económico y demográfico son dos de las amenazas más grandes para el planeta. La agricultura de regadío sigue siendo la mayor fuente de consumo hídrico del mundo. En parte esto se entiende porque en muchos países los agricultores no asumen el coste del agua que utilizan. El riego agrícola representa el 70% del uso del agua en todo el mundo, llegando al 80% en algunos países. Por esta razón, es importante integrar el uso humano del agua en el ciclo hidrológico natural. De esta manera, podremos diseñar modelos de uso hídrico que sean adecuados, eficaces, sostenibles y justos (Fundación AQUAE, 2021).

El sector San Vicente de Pusir, en la parte agrícola, se considera falto un sistema de control de las variables que se pueden obtener del riego por surcos, las cuales pueden afectar en los diversos cultivos que se tienen en esta zona. Se ha experimentado una alta demanda de desperdicio de agua por el tipo de riego con el que se trabaja, de manera que no se aprovecha de manera sustentable este recurso hídrico en cultivos de *Capsicum annuum*. En el mismo sentido, en la Pradera de la Universidad Técnica del Norte, en el sector de Chaltura; la falta de un sistema de recolección de datos en cultivos de *Phaseolus vulgaris*, debido a la falta de control de variables en estos cultivos de ciclo corto, para el control del desperdicio de agua, aplicado a las condiciones y factores de este lugar.

Dentro del sistema de manejo de control de riego del sector tanto de San Vicente de Pusir como en Chaltura, se observa día a día el uso inadecuado del recurso hídrico, haciendo riegos por minutos determinadas o simplemente en una mayor cantidad de días, poniendo en riesgo no solo la pérdida completa de un cultivo específico, sino también, del uso no consciente por parte del dueño de este recurso hídrico. Con el fin de controlar las variables de riego por surcos en cultivos de *Capsicum annuum* y *Phaseolus vulgaris*, es imprescindible resolver este problema de manera eficiente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Realizar una investigación exhaustiva, para identificar y analizar de manera detallada los factores clave que pueden ejercer influencia en el rendimiento de una plantación de *Capsicum annuum* y *Phaseolus vulgaris*.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de recolección de datos de variables de riego por surcos, para garantizar medidas orientadas al crecimiento y desarrollo de estos cultivos de *Capsicum annuum* y *Phaseolus vulgaris*.
- Implementar el sistema en el terreno en el sector propuesto, para el levantamiento de estos cultivos, haciendo un uso adecuado del recurso del agua.
- Realizar las pruebas respectivas, con la obtención de datos obtenidos, almacenándolos en la nube en un Dashboard a fin de poder tomar control de estos cultivos de ciclo corto.

1.4. Formulación del problema de Investigación

El presente proyecto tiene como objetivo principal el desarrollo de un sistema de monitoreo de los cultivos levantados en un terreno agrícola en el sector de San Vicente de Pusir en el que se tendrá un campo lleno de cultivos de 1000 plantas de *Capsicum annum*; de la misma manera con una cantidad de 850 cultivos de *Phaseolus vulgaris*, en el que el sistema en general tiene la funcionalidad principal de recopilar datos a fin de aplicar medidas necesarias para que estos cultivos tengan el mejor control con respecto al crecimiento del mismo. Con la recopilación de los datos es importante llevar a cabo el control de estos, para el análisis respectivo de este tipo de riego por surcos a través de gráficos estadísticos, a fin de poder aprovechar al máximo este recurso hídrico, de manera que no exista desperdicio de este recurso y que estos cultivos aprovechen al máximo de este recurso sin que se desperdicie.

Para el desarrollo de este proyecto es necesario el uso de metodologías de diseño de sistemas que incluyan el prototipado, por esta razón se escoge el modelo en V, el cual guía la integración del sistema permitiendo la retroalimentación durante el proceso de desarrollo. El Modelo en V, permite llevar a cabo un proceso de control adecuado para el desarrollo de proyectos, debido a que este modelo relaciona las pruebas de validación con las etapas de análisis, diseño e implementación del proyecto. De esta manera, se puede identificar en qué fase se debe iniciar si falla alguna prueba, lo que garantiza altas posibilidades de éxito y ayuda a minimizar los riesgos de fallas en la fase final del proyecto.

La fase de especificaciones ayuda en la recopilación de la información bibliográfica sobre el cuidado de los cultivos de forma inteligente y como poder controlar la producción haciendo buen uso del recurso hídrico. Se comprende también recopilar información sobre el sector geográfico donde se aplicará el proyecto, las dimensiones del terreno, la tecnología que se utilizará y realizar el análisis a fondo de la problemática que se tiene en el sector para poder aportar con la aplicación de la solución para solventar el problema presentado..

En la fase de diseño e implementación del sistema, se procederá a recopilar información necesaria para el control respectivo de estos cultivos, para ello se hará uso de sensores que recolecten información de humedad, PH y luminosidad. Debido a la textura del terreno y los diferentes requerimientos, se tendrá que utilizar nodos Lora

WAN los cuales enviarán la información de los datos a la nube y estará habilitada una aplicación final en la que indique el control de estos datos obtenidos. Si los niveles de los sensores varían, estos se visualizarán en la aplicación desarrollada para el análisis y control de estas variables de riego por surcos.

En la fase de verificación del sistema se pretende hacer pruebas de campo respectivos en los lugares designados, a fin de poder juntar las habilidades de estudiantes que ayuden en la resolución del problema, en conjunto al sistema implementado, para lo cual el sistema que se va a implementar debe estar listo, para empezar a desarrollar las respectivas pruebas de tomas de datos incluido con el sistema que ayudará a recopilar los datos de los cultivos respectivos, para poder tener un constante monitoreo del desperdicio de agua.

1.5. Justificación

El presente proyecto es muy pertinente para la provincia de Imbabura, la región-1 y el país, así lo manifiesta la normativa legal que a continuación se menciona: En la constitución de la república (2008), el artículo 385 en su literal 3 indica que se debe desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad. El Plan de Creación de Oportunidades 2021 -2025 dentro del Eje económico Objetivo 3 políticas 3.1 E11 Desarrollar programas enfocados en incrementar la productividad agropecuaria, con un enfoque de conservación y mantenimiento de la fertilidad de los suelos, G9 Promover la investigación científica y la transferencia de conocimiento que permitan la generación de oportunidades de empleo en función del potencial del territorio. El Eje Social, Objetivo 7 indica en las políticas 7.4 G8 Generar redes de conocimiento vinculadas a la educación superior, que promuevan espacios territoriales de innovación adaptados a las necesidades de la sociedad y el sector productivo local. G9 Promover la investigación científica y la transferencia de conocimiento que permiten la generación de oportunidades de empleo en función del potencial del territorio. El Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Imbabura muestra que existe una baja implementación de nuevos sistemas tecnificados y equipos tecnológicos en la producción, comercialización y valor agregado a los productos, afectando a la soberanía alimentaria. Por lo que es necesario la propuesta y ejecución de Proyectos de incentivo al uso de nuevas tecnologías agropecuarias. La presente investigación está inmersa en el eje temático “Tecnología en Software, Hardware y Servicios informáticos” de la SENESCYT y en la línea de investigación " Desarrollo,

aplicación de software y seguridad cibernética", sublínea "Inteligencia Artificial" que pertenecen a la Carrera de Software modalidad en línea de la FICA-UTN. Realizar investigaciones en estas áreas que permitan tecnificar el sector agro, no solo es prioritario para la UTN, sino también para la provincia de Imbabura y la región-1. Además, al ser una investigación multidisciplinaria (agropecuaria, matemática e informática) se considera también el área temática de “Soberanía Alimentaria y Transformación Agro-productiva” relacionada con las líneas de investigación de la FICAYA-UTN.

El presente proyecto se desarrollará en la Zona de Planificación 1 que propone la División Político-Administrativa de la Agenda Zonal para el buen vivir, esta tiene un área de 42.065 km cuadrados, la cual cubre el 15.46% de la superficie nacional (Zona de planificación 1, 2011). Esta zona comprende las provincias de Esmeraldas, Carchi, Imbabura y Sucumbíos; para lo cual se va a referenciar el proyecto en San Vicente de Pusir, el cual es una Parroquia ubicada al Norte del Ecuador, Provincia del Carchi, en el Cantón Bolívar.

Para realizar el proyecto, se hace un análisis enfocado en los objetivos de desarrollo sostenible, el cual realiza su estudio relacionado en 4 objetivos específicos. Mejorar la eficiencia en el uso del agua en el sector agrícola, un gran usuario de recursos hídricos está directamente vinculado a este propósito. Implementar un sistema que recolecte y controle datos para un riego más efectivo es una contribución valiosa hacia la administración sostenible del agua, este va enfocado en el análisis del Objetivo de Desarrollo Sostenible N°6 (Agua Limpia y Saneamiento) (Las Naciones Unidas en Ecuador, s.f.). El Trabajo de Amazon Web Services (AWS) para procesar y guardar datos en la nube es una innovación en la infraestructura tecnológica usada en agricultura. Esta estrategia contribuye a la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad en los sistemas agrícolas, lo cual va enfocado en el análisis de Objetivo de Desarrollo Sostenible N°9 (Industria, Innovación e Infraestructura) (Las Naciones Unidas en Ecuador, s.f.).

El uso eficiente del agua y la mejora en la gestión de recursos en la agricultura contribuyen positivamente a combatir el cambio climático. Esto se debe a que estas prácticas ayudan a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero que suelen ser generadas por métodos agrícolas menos eficaces, este va enfocado en el análisis del Objetivo de Desarrollo Sostenible N°13 (Acción por el Clima) (Las Naciones Unidas en Ecuador, s.f.). Administrar de manera sostenible la tierra y utilizar el agua de forma eficaz son factores clave en la preservación de los ecosistemas terrestres. La implementación de

un sistema de riego optimizado puede ayudar a minimizar tanto la degradación del suelo como los efectos negativos en el medio ambiente de estos ecosistemas, lo cual va enfocado en el análisis de Objetivo de Desarrollo Sostenible N°15 (Vida de Ecosistemas Terrestres) (Las Naciones Unidas en Ecuador, s.f.).

2. CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Reseña Histórica

2.1.1. Historia y evolución de los sistemas de riego

La evolución de los sistemas de riego a lo largo de la historia ha sido un proceso fascinante que se remonta a las antiguas civilizaciones. Desde épocas prehistóricas, las comunidades han desarrollado métodos ingeniosos para gestionar el suministro de agua y maximizar la producción agrícola. Las primeras formas de irrigación, que se originaron en lugares como Mesopotamia, Egipto, China e India, implicaron la construcción de complejas redes de canales y zanjás para canalizar el agua desde fuentes naturales hacia los campos cultivados. La aplicación de la gravedad para dirigir el agua mediante canales representó una innovación fundamental en ese tiempo (Buades, 2020).

La civilización romana desempeñó un papel esencial en la evolución de los sistemas de riego, estableciendo extensas redes de acueductos y canales para transportar agua a largas distancias, facilitando así la irrigación en diversas regiones del Imperio Romano.

En la Edad Media, las técnicas de irrigación se transmitieron y refinaron en todo el mundo. En la península ibérica, los sistemas de acequias se convirtieron en una característica destacada de la agricultura en áreas áridas, mientras que en la India se emplearon tecnologías avanzadas como las norias para extraer agua de pozos (Robles C. A., 2011).

La Revolución Industrial marcó un cambio significativo con la introducción de bombas y motores, permitiendo una distribución más eficiente del agua. En el siglo XX, se adoptaron ampliamente sistemas de riego por aspersión y goteo, haciendo uso de tecnologías más avanzadas para aplicar el agua de manera precisa y conservadora.

En la actualidad, los sistemas de riego han avanzado hacia la automatización y la digitalización. La incorporación de sensores, controladores y tecnologías de la información ha posibilitado una gestión más precisa y eficiente del riego. Actualmente, los agricultores tienen la capacidad de monitorear y controlar los sistemas de riego de forma remota, optimizando así el uso del agua y mejorando la productividad agrícola. La trayectoria histórica y evolutiva de los sistemas de riego refleja la constante búsqueda de métodos más (Cuchí, 2015).

Figura 1

Sistema de riego en la antigüedad



Nota. En la figura 1 se puede observar unos de los primeros sistemas de irrigación a los 5000 a.C. Fuente: Obtenido de (Costa, 2022).

2.1.2. Principios de riego por surcos

El riego por surcos, como método arraigado en la agricultura, se guía por principios fundamentales que buscan asegurar una distribución eficiente del agua en los cultivos. Un componente esencial de este enfoque es el diseño meticuloso de los surcos, donde la profundidad, amplitud y espaciado se adaptan a las particularidades específicas del suelo y del cultivo, facilitando así una dispersión homogénea del agua (González, 2019).

La esencia del riego por surcos descansa en la aplicación del principio de gravedad como motor principal del flujo de agua. Este método aprovecha la inclinación natural del terreno, minimizando la necesidad de bombeo y capitalizando la fuerza gravitatoria para dirigir el agua a lo largo de los surcos.

La uniformidad en la distribución del agua constituye otro principio fundamental. Se busca garantizar que cada surco reciba una cantidad similar de agua, evitando disparidades que podrían impactar la calidad y rendimiento del cultivo, reduciendo las pérdidas por evaporación y escorrentía y maximizando la cantidad de agua que realmente alcanza las raíces de los cultivos (Chumpitaz, 2020).

El riego por surcos también implica una consideración cuidadosa de las necesidades individuales de cada cultivo. La cantidad y frecuencia de riego se ajustan en función de los requisitos hídricos específicos de las plantas, promoviendo así un manejo personalizado del agua.

La programación y monitoreo constante son prácticas esenciales para el éxito del riego por surcos. Los agricultores deben planificar y ajustar los tiempos y duraciones del riego según las condiciones climáticas, la fase de crecimiento del cultivo y otros factores pertinentes. Además, se persigue un manejo sostenible del suelo, minimizando la erosión y maximizando la retención de humedad para fomentar la salud a largo plazo del suelo agrícola (Amaya, 2020).

2.2. Especies de plantas seleccionadas para el estudio

La investigación se centrará en especies vegetales específicas, escogidas según criterios particulares que consideran su importancia en distintos contextos, desde la agricultura hasta la investigación botánica. Entre las plantas seleccionadas para este análisis se destaca el *Capsicum annuum*, comúnmente conocido como pimiento. Este cultivo ha sido elegido debido a su destacada relevancia agronómica y su frecuente uso culinario. Explorar sus exigencias hídricas y patrones de crecimiento puede aportar información valiosa para mejorar las prácticas de riego en cultivos de hortalizas (Calderón & Linares, 2020).

Otra especie incluida en el estudio es el *Phaseolus vulgaris*, representante de las judías o frijoles. La elección de esta planta se basa en su importancia nutricional y su papel significativo en la dieta humana. Analizar sus requerimientos de riego contribuirá a obtener información esencial.

Además de estas dos especies específicas, se considerarán otras plantas hortícolas relevantes para la agricultura, como tomates, zanahorias o lechugas. La inclusión de diversas especies hortícolas busca proporcionar una comprensión más completa de las estrategias de riego aplicables a diferentes tipos de cultivos. Este enfoque integral permitirá la aplicación, beneficiando así a la gestión eficiente del riego en distintos entornos de cultivo (Robles & Muros, 2020).

Tabla 1*Comparativa sobre las especies vegetales*

Especie Vegetal	Capsicum annuum (Pimiento)	Phaseolus vulgaris (Frijol)	Otras Especies Hortícolas
Importancia	Destacada en agricultura y uso culinario	Importancia nutricional y en la dieta humana	Variadas, incluyendo tomates, zanahorias y lechugas
Razones de Elección	Relevancia agronómica, frecuente uso culinario	Importancia nutricional y papel en la dieta	Representativas de la diversidad hortícola
Enfoque de Investigación	Exigencias hídricas y patrones de crecimiento	Requerimientos de riego	Estrategias de riego para diferentes cultivos
Contribución Esperada	Mejora de prácticas de riego en cultivos de hortalizas	Información esencial para la gestión del riego	Comprensión integral de estrategias de riego

Fuente: Elaborado por el autor.**2.2.1. Capsicum annuum**

Capsicum annuum, conocido comúnmente como pimiento, pertenece a la familia Solanaceae y constituye una especie vegetal destacada por su relevancia en la agricultura y la gastronomía. Este cultivo anual se caracteriza por su amplia diversidad de formas, tamaños y colores de frutas, que van desde los pequeños pimientos picantes hasta los pimientos dulces y jugosos. Originario de América, el Capsicum annuum ha sido cultivado y apreciado en todas las regiones del mundo por su versatilidad culinaria y su capacidad para añadir sabor y color a una variedad de platos (Pérez & Gómez, 2020).

Las plantas de Capsicum annuum generalmente alcanzan alturas que varían entre 30 y 120 centímetros, con hojas simples y flores de forma estrellada. Las frutas, que constituyen las partes más notables de la planta, pueden variar en sabor desde suave y dulce hasta fuerte y picante, dependiendo de la variedad. Este cultivo es valorado no solo por su utilidad culinaria, sino también por su contenido de vitaminas.

En el ámbito agrícola, el análisis detallado de Capsicum annuum aborda aspectos como sus requerimientos hídricos, patrones de crecimiento y condiciones óptimas de cultivo. Esta información contribuye de manera significativa a perfeccionar las técnicas

agrícolas, especialmente en lo que respecta al riego y a la gestión eficaz de los recursos, impulsando así un cultivo más productivo y sostenible (Zurawik & Jadczyk, 2020).

Figura 2

Capsicum annuum



Nota. La figura indica una foto de *Capsicum annuum*. Fuente: Obtenido de (*Capsicum Annuum* (Bell Pepper), 2019)

2.2.2. Phaseolus Vulgaris

Phaseolus vulgaris, comúnmente llamado judía o frijol, pertenece a la familia Fabaceae y desempeña un rol destacado tanto en la agricultura como en la alimentación humana. Este cultivo anual se caracteriza por su capacidad para generar vainas que albergan las semillas comestibles conocidas como frijoles. Originaria de América, la *Phaseolus vulgaris* ha sido cultivada y apreciada en todo el globo debido a su valor nutricional y versatilidad culinaria (Suástegui & Silvera, 2020).

Las plantas de *Phaseolus vulgaris* generalmente presentan un crecimiento arbustivo con hojas trifoliadas y flores de tonalidades diversas, que varían desde el blanco hasta el púrpura. Las vainas resultantes contienen las semillas, que constituyen una fuente rica en proteínas, fibra, vitaminas y minerales esenciales. Esta especie vegetal es valorada por su capacidad para enriquecer las dietas humanas y contribuir a la seguridad alimentaria.

La exploración minuciosa de la *Phaseolus vulgaris* aborda aspectos cruciales como sus exigencias hídricas, patrones de crecimiento y condiciones de cultivo ideales. Comprender estos factores es esencial, así como para implementar prácticas agrícolas sostenibles. La información derivada de dicho análisis contribuye al desarrollo de estrategias efectivas de riego y gestión de cultivos, fomentando así un cultivo más eficiente y beneficioso para la salud humana (Bernal & Silvera, 2020).

Figura 3

Cultivo de Phaseolus vulgaris



Nota. La ilustración muestra un cultivo de *Phaseolus Vulgaris*. Fuente: Obtenido de (Bitocchi et al., 2012).

2.3. Sistemas de riego

Los sistemas de irrigación, elementos fundamentales en la agricultura contemporánea, consisten en conjuntos organizados de componentes y dispositivos diseñados para suministrar agua de forma regulada a los cultivos, garantizando su desarrollo óptimo. Estos sistemas desempeñan una función crucial al proporcionar una administración eficaz del agua y maximizar la productividad agrícola. Existen distintos tipos de sistemas de riego adaptados a las peculiaridades específicas de los cultivos y las condiciones del entorno (Ascencios & Meza, 2020).

El riego por gravedad se vale de la inclinación natural del terreno, guiando el agua desde una fuente más elevada hacia los cultivos mediante canales y zanjas, logrando así una distribución homogénea en el campo. Por su parte, el riego por aspersión dispone

agua a través de aspersores que rocían gotas finas sobre los cultivos, siendo ajustable a diferentes tipos de suelos y plantas.

En el riego por goteo, el agua se administra directamente a la base de cada planta mediante tuberías y goteros, destacando por su eficiencia en el uso del agua y su beneficio para cultivos sensibles al exceso de humedad (Arohuanca & Pinazo, 2020).

En la hidroponía, las plantas se desarrollan en soluciones nutritivas en lugar de suelo, con un suministro preciso de agua y nutrientes mediante sistemas controlados. Finalmente, los sistemas de riego automatizado utilizan tecnología para programar y controlar la distribución del agua, ajustándose automáticamente a las condiciones climáticas y las necesidades de los cultivos.

Tabla 2

Sistemas de irrigación

Tipo de Sistema de Riego	Descripción	Ventajas
Riego por Gravedad	Utiliza la inclinación natural del terreno para guiar el agua desde una fuente elevada mediante canales y zanjas.	Distribución homogénea en el campo, adecuado para terrenos inclinados.
Riego por Aspersión	Dispone agua a través de aspersores que rocían gotas finas sobre los cultivos, ajustable a diferentes tipos de suelos y plantas.	Versatilidad, aplicable a diversos cultivos y suelos, reduce pérdidas por evaporación.
Riego por Goteo	Administra agua directamente a la base de cada planta mediante tuberías y goteros. Destaca por eficiencia en el uso del agua.	Ahorro de agua, beneficioso para cultivos sensibles al exceso de humedad.
Hidroponía	Las plantas crecen en soluciones nutritivas en lugar de suelo, con suministro preciso de agua y nutrientes en sistemas controlados.	Uso eficiente de recursos, control preciso de nutrientes, cultivo sin suelo.
Riego Automatizado	Utiliza tecnología para programar y controlar la distribución del agua, ajustándose automáticamente a condiciones climáticas y necesidades de los cultivos.	Eficiencia en la gestión del agua, adaptabilidad a condiciones cambiantes.

Fuente: Elaborado por el autor.

2.3.1. Riego por aspersión

El sistema de irrigación mediante aspersión representa un enfoque eficiente y ampliamente empleado para abastecer de agua a los cultivos en la agricultura. Este método se caracteriza por la dispersión uniforme de agua sobre los campos mediante el empleo de rociadores, los cuales liberan pequeñas gotas sobre la superficie cultivada. Estratégicamente ubicados en el terreno, estos rociadores operan con la asistencia de bombas y redes de tuberías para asegurar una cobertura integral (León & León, 2020).

Esta modalidad de riego presenta diversas ventajas notables. En primer lugar, ofrece una aplicación homogénea del agua, evitando áreas con déficit o exceso de humedad. Además, el riego por aspersión es sumamente adaptable a distintos tipos de suelos y cultivos, ya que los rociadores pueden ajustarse para satisfacer las necesidades particulares de cada región (Huamani, 2020).

El riego por aspersión resulta particularmente eficaz para áreas extensas de terreno, siendo una elección común en campos agrícolas de gran envergadura. Asimismo, permite una programación precisa del riego, con la capacidad de modificar la frecuencia y duración conforme a las condiciones climáticas y las exigencias hídricas específicas de los cultivos (Bellido, 2020).

A pesar de sus beneficios, es importante señalar que el riego por aspersión puede enfrentar desafíos, como las pérdidas por evaporación en climas cálidos y la posibilidad de mojar las hojas de las plantas, lo que podría propiciar el desarrollo de enfermedades foliares. A pesar de estos aspectos, el riego por aspersión persiste como una opción valiosa, contribuyendo a la eficiencia y productividad de los cultivos.

2.3.2. Riego por goteo

La irrigación mediante goteo, un método altamente eficiente, sobresale por su enfoque dirigido a la entrega de agua directamente a las raíces. se basa en la instalación de tuberías y goteros que liberan agua de forma gradual y controlada, asegurando una distribución exacta en la zona radicular de cada cultivo (García, 2020).

Una de las principales virtudes del riego por goteo reside en su habilidad para conservar el agua al reducir las pérdidas por evaporación y escorrentía. Este enfoque minimiza el desperdicio de recursos hídricos al dirigir el agua específicamente hacia donde se necesita, optimizando así la eficiencia del riego.

El sistema de riego por goteo se adapta de manera excelente a diversos cultivos y condiciones del suelo. Su versatilidad permite su implementación en terrenos con distintas pendientes y texturas, asegurando una aplicación homogénea del agua. Además, este método ofrece la posibilidad de programar el riego con precisión, ajustando la frecuencia y duración según las necesidades específicas de cada cultivo y las condiciones climáticas (Vásquez & Vasquez, 2020).

Aunque la irrigación por goteo puede implicar inicialmente una inversión en infraestructura, a largo plazo demuestra ser una alternativa eficaz y sostenible. Este sistema contribuye de manera significativa a la conservación del agua y al aumento de la productividad agrícola al garantizar un suministro controlado y eficiente de agua a las plantas.

2.3.3. Riego por surcos

La irrigación por surcos constituye un método convencional y eficaz para proveer agua a los cultivos en la agricultura. Este sistema se caracteriza por la creación de surcos o canales entre las hileras de plantas, permitiendo que el agua fluya a lo largo de ellos y se distribuya de manera controlada. La esencia de este método radica en aprovechar la gravedad para dirigir el flujo de agua hacia las áreas de cultivo.

En el riego por surcos, la topografía del terreno desempeña un papel crucial, ya que se busca aprovechar la inclinación natural para guiar el flujo de agua de manera descendente a través de los surcos. La regulación del suministro de agua se logra mediante la apertura y cierre de compuertas en las entradas y salidas de los surcos, posibilitando un control preciso sobre la cantidad de agua distribuida.

Una de las ventajas destacadas del riego por surcos es su simplicidad y facilidad de implementación. Requiere una infraestructura básica, como surcos trazados en el suelo, y puede adaptarse a distintos tipos de cultivos. Además, este método es especialmente adecuado para terrenos con una pendiente suave (Millian & Manrique, 2019).

A pesar de que el riego por surcos ha sido utilizado durante mucho tiempo, su eficacia ha sido demostrada en numerosas situaciones agrícolas. Sin embargo, es esencial gestionar cuidadosamente la cantidad de agua utilizada para evitar problemas como la escorrentía y la pérdida de nutrientes del suelo. En términos generales, el riego por surcos

continúa siendo una técnica valiosa y ampliamente empleada para garantizar el suministro adecuado de agua a los cultivos.

2.4. Importancia del control de riego

La gestión del riego se erige como un componente esencial en el manejo eficiente de recursos en la agricultura, desempeñando una función crucial en la optimización del desempeño de los cultivos y en la fomentación de la sostenibilidad agrícola. Primordialmente, la relevancia de un control preciso del riego se manifiesta en el uso eficaz del agua. Al proveer la cantidad exacta que los cultivos demandan, se contribuye de manera significativa a la preservación de este recurso vital, evitando tanto la insuficiencia como el excedente.

Adicionalmente, el manejo adecuado del riego desempeña una función esencial en la mejora del crecimiento vegetal. La regulación exacta del suministro de agua influye directamente en la salud de los cultivos. La minimización de las pérdidas por escorrentía y evaporación es otro aspecto central. Al dirigir el agua con precisión a las raíces de las plantas.

La administración del riego también guarda una estrecha relación con la prevención de problemas ambientales. Además, el ahorro de energía se presenta como un beneficio adicional, dado que la implementación de sistemas de riego automatizados y la programación eficiente resultan en un menor consumo de recursos energéticos, promoviendo una gestión más sostenible de la producción agrícola (Salazar, 2010).

En un contexto de cambio climático, la gestión del riego destaca por su habilidad para adaptarse a condiciones climáticas cambiantes. La capacidad de ajustar el suministro de agua en tiempo real, basándose en datos climáticos y necesidades particulares de los cultivos, emerge como un componente esencial para atenuar los impactos adversos y fomentar la resiliencia en la agricultura, la gestión eficaz del riego no solo optimiza la productividad y rentabilidad para los agricultores, sino que también contribuye de manera significativa a la preservación de los recursos naturales y al desarrollo sostenible de la agricultura.

2.4.1. Control de riego en *Capsicum annuum*

La administración del riego en el cultivo de *Capsicum annuum*, comúnmente conocido como pimiento, representa un componente vital para potenciar el desempeño

de esta especie en particular. El manejo preciso del suministro de agua se convierte en una herramienta esencial para asegurar condiciones hídricas óptimas que favorezcan el crecimiento saludable de frutos de alta calidad (Pérez & Gómez, 2020).

Capsicum annuum, perteneciente a la familia de las Solanáceas, exhibe una elevada sensibilidad a las fluctuaciones en el suministro de agua. La regulación cuidadosa del riego evita situaciones de estrés hídrico que podrían impactar negativamente el desarrollo.

Adicionalmente, la utilización de tecnologías contemporáneas, como sensores de humedad del suelo y sistemas de monitoreo automatizado, facilita un control más eficiente del riego en tiempo real. Estos dispositivos permiten ajustar el suministro de agua según las necesidades particulares de las plantas y las condiciones ambientales, contribuyendo a una gestión más eficaz de los recursos hídricos (Bellido, 2020).

La supervisión del riego en *Capsicum annuum* emerge como una práctica esencial para asegurar el desarrollo robusto de este cultivo, así como la optimización de la producción y la calidad de los pimientos cosechados. La combinación de estrategias específicas de riego para esta especie, junto con tecnologías innovadoras, contribuye a maximizar la eficiencia y la sostenibilidad en el cultivo de *Capsicum annuum*.

2.4.2. Control de riego en *Phaseolus Vulgaris*

La administración de la irrigación en el cultivo de *Phaseolus vulgaris*, comúnmente conocido como frijol, desempeña un papel esencial para garantizar un desarrollo óptimo de las plantas y una producción eficiente de este relevante cultivo leguminoso. El manejo preciso del suministro de agua se convierte en una herramienta clave para mantener condiciones hídricas adecuadas que fomenten el crecimiento saludable de las plantas y la formación de vainas de calidad (Bernal & Silvera, 2020).

Phaseolus vulgaris, perteneciente a la familia de las Fabáceas, muestra sensibilidad a las variaciones en el suministro de agua. La regulación cuidadosa del riego es fundamental para evitar situaciones de estrés hídrico que podrían impactar negativamente la formación de vainas y la producción de granos. Además, se debe evitar un exceso de agua para prevenir problemas como la pudrición de raíces y enfermedades asociadas a la humedad excesiva (Robles & Muros, 2020).

La elección de sistemas de riego adecuados, como el riego por goteo o el riego por surcos, puede ser particularmente beneficiosa para el cultivo de *Phaseolus vulgaris*. Estos métodos permiten un control más preciso sobre la cantidad y frecuencia del riego, asegurando que las raíces de las plantas reciban la cantidad óptima de agua de manera eficiente.

La implementación de tecnologías modernas, como sensores de monitoreo automatizado, facilita un control más eficaz de la irrigación en tiempo real. Estos dispositivos permiten ajustar el suministro de agua según las necesidades específicas de las plantas y las condiciones ambientales.

La gestión de la irrigación en *Phaseolus vulgaris* se presenta como una práctica esencial para asegurar un desarrollo saludable de este cultivo, así como para optimizar la producción de frijoles. La combinación de prácticas específicas de irrigación adaptadas a esta especie, junto con tecnologías avanzadas, contribuye a maximizar la eficiencia y sostenibilidad en el cultivo de *Phaseolus vulgaris* (León & León, 2020).

Figura 4

Riego por gravedad en cultivos de Phaseolus vulgaris



Nota: La ilustración muestra el control de riego por gravedad en cultivos de *Phaseolus Vulgaris*. Fuente: Obtenido de (Cenicaña, 2015).

2.5. Agricultura de Precisión

La Agricultura de Precisión, también denominada agricultura de manejo de precisión o agricultura de exactitud, representa un enfoque avanzado que emplea tecnologías contemporáneas para optimizar la eficiencia y la productividad en las

prácticas agrícolas. Este campo se basa en la recopilación, análisis y aplicación de datos exactos sobre las condiciones del suelo, el clima y los cultivos con el propósito de tomar decisiones fundamentadas y personalizadas (León & León, 2020).

Un pilar esencial de la Agricultura de Precisión es la utilización de sistemas de posicionamiento global (GPS) para cartografiar detalladamente los campos agrícolas. Estos mapas, combinados con datos obtenidos mediante sensores remotos, permiten identificar variaciones en la fertilidad del suelo, la humedad y otros factores que influyen en el rendimiento de los cultivos.

La aplicación de la Agricultura de Precisión facilita la utilización específica de insumos agrícolas, como fertilizantes, herbicidas y agua, conforme a las necesidades particulares de cada zona del campo. Esto no solo optimiza el empleo de recursos, sino que también reduce los costos y minimiza el impacto ambiental al evitar la aplicación innecesaria de productos.

Adicionalmente, la Agricultura de Precisión integra sistemas de monitoreo continuo, permitiendo a los agricultores realizar un seguimiento en tiempo real del estado de los cultivos. A través del empleo de drones, sensores y otras tecnologías, los agricultores pueden identificar problemas como plagas, enfermedades o estrés hídrico, tomando medidas correctivas de manera oportuna (Pérez & Gómez, 2020).

La Agricultura de Precisión se posiciona como una estrategia innovadora que utiliza tecnología de vanguardia para personalizar y mejorar la gestión agrícola. Este enfoque no solo incrementa la eficiencia y la rentabilidad, sino que también contribuye a una agricultura más sostenible y consciente del medio ambiente.

2.6. Factores de medición

Los elementos de medición desempeñan un papel esencial en una variedad de contextos, suministrando datos cuantificables que guían el proceso decisonal. En términos ambientales, la evaluación de variables como la calidad del aire, la temperatura y la concentración de contaminantes resulta crucial para analizar el impacto medioambiental y supervisar la vitalidad de los ecosistemas. Dentro del ámbito industrial, se examinan factores como la eficacia de producción, la excelencia del producto y la seguridad ocupacional para perfeccionar procedimientos y asegurar estándares de calidad y seguridad.

En la agricultura, se miden factores tales como la calidad del suelo, la humedad y la productividad de los cultivos, brindando datos fundamentales para decisiones relativas a la gestión agrícola y la programación de cosechas. En la esfera económica, indicadores como el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), las tasas de empleo y la inflación son elementos críticos para evaluar la situación económica de una región y orientar políticas económicas.

En el ámbito de la salud, la medición de parámetros como la presión arterial, el Índice de Masa Corporal (IMC) y los niveles de glucosa resulta esencial para evaluar la salud de individuos y poblaciones, permitiendo intervenciones preventivas y terapéuticas. En educación, la evaluación del rendimiento académico, las tasas de graduación y la calidad del aprendizaje provee datos esenciales para evaluar la eficacia de programas educativos y orientar mejoras en los sistemas educativos.

La identificación y evaluación precisa de los factores de medición son fundamentales para comprender, perfeccionar y tomar decisiones informadas en diversos campos, desde el medio ambiente y la industria hasta la agricultura, la economía, la salud y la educación.

Tabla 3

Factores de medición e importancia al medio ambiente

Contexto	Factores de Medición Principales	Importancia
Medio Ambiente	Calidad del aire, temperatura, concentración de contaminantes	Crucial para analizar el impacto medioambiental y supervisar la vitalidad de los ecosistemas.
Industria	Eficacia de producción, excelencia del producto, seguridad ocupacional	Perfecciona procedimientos, asegura estándares de calidad y seguridad en entornos industriales.
Agricultura	Calidad del suelo, humedad, productividad de cultivos	Fundamentales para decisiones en la gestión agrícola y la programación de cosechas.
Economía	Crecimiento del PIB, tasas de empleo, inflación	Críticos para evaluar la situación económica de una región y orientar políticas económicas.
Salud	Presión arterial, Índice de Masa Corporal (IMC), niveles de glucosa	Esenciales para evaluar la salud de individuos y poblaciones, permitiendo intervenciones preventivas y terapéuticas.

Educación	Rendimiento académico, tasas de graduación, calidad del aprendizaje	Proveen datos esenciales para evaluar la eficacia de programas educativos y orientar mejoras en los sistemas educativos.
-----------	---	--

Fuente: Elaborado por el autor.

2.6.1. Humedad del suelo

El contenido hídrico del suelo emerge como un parámetro esencial en el ámbito agrícola, referente a la proporción de agua presente en el suelo en relación con su capacidad de retención. Este elemento resulta fundamental para evaluar las condiciones ambientales que inciden directamente en el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Buades, 2020).

La medición de la humedad del suelo se lleva a cabo mediante diversos métodos, como sensores de contenido hídrico, sondas y técnicas de muestreo. Estos dispositivos suministran datos precisos acerca de la cantidad de agua existente en el suelo a diferentes profundidades, capacitando a agricultores y expertos para evaluar la disponibilidad hídrica para las plantas.

El conocimiento preciso del contenido hídrico del suelo resulta crucial para la toma de decisiones vinculadas a la irrigación. Un nivel apropiado de humedad propicia el desarrollo saludable de las raíces, la absorción de nutrientes y la fotosíntesis, contribuyendo al rendimiento óptimo de los cultivos. En contraste, un exceso o déficit de humedad puede ocasionar problemas como la descomposición de raíces o la insuficiencia de agua para las plantas, afectando adversamente la producción (Pérez & Gómez, 2020).

La tecnología moderna ha facilitado la monitorización continua del contenido hídrico del suelo mediante sistemas automatizados que suministran datos en tiempo real. Estos avances posibilitan ajustar con precisión los programas de riego, optimizando la utilización del agua y mejorando la eficiencia en la producción agrícola (Pérez & Gómez, 2020).

La medición y comprensión del contenido hídrico del suelo son aspectos cruciales para una gestión eficaz de los recursos acuíferos en la agricultura, contribuyendo al éxito de los cultivos y a la sostenibilidad del sistema agrícola.

2.6.2. Humedad relativa

La humedad relativa constituye un indicador que refleja la proporción de vapor presente. Este parámetro resulta esencial para comprender y evaluar las condiciones atmosféricas, ya que influye en una diversidad de aspectos, desde la salud humana hasta los procesos meteorológicos y la calidad del entorno interior (Millian & Manrique, 2019).

Se expresa en porcentaje. este valor impacta significativamente en la percepción del clima, dado que niveles elevados de humedad relativa pueden hacer que la temperatura se sienta más alta, mientras que niveles bajos pueden intensificar la sensación de frescura.

En la agricultura, la humedad relativa también desempeña una función crucial al influir en la transpiración de las plantas y, por ende, en su demanda de agua. Además, en el ámbito industrial, la humedad relativa puede afectar procesos de fabricación y almacenamiento, especialmente en sectores sensibles a las condiciones atmosféricas, como la producción de dispositivos electrónicos (Zurawik & Jadczyk, 2020).

En ambientes interiores, la humedad relativa emerge como un factor determinante para la comodidad y la salud. Niveles inadecuados pueden propiciar la proliferación de moho, afectar la calidad del aire en interiores y contribuir a problemas respiratorios. Por consiguiente, el control y monitoreo de la humedad relativa son cruciales en diversas aplicaciones para asegurar condiciones ambientales óptimas.

2.6.4. Luminosidad

La claridad luminosa se refiere a la cantidad de luz visible presente en un área o que incide sobre una superficie específica. Este concepto es crucial en diversas disciplinas, desde la meteorología y la fotografía hasta la biología y la ingeniería de iluminación (Vásquez & Vasquez, 2020).

En meteorología, la brillantez luminosa está asociada con la intensidad de la luz solar que llega a la superficie terrestre, impactando la visibilidad y la percepción climática. En fotografía, la luminiscencia es un factor esencial para lograr exposiciones adecuadas y capturar imágenes con nitidez y detalle. En biología, la luminiscencia afecta procesos como la fotosíntesis en las plantas y los ritmos circadianos en los seres vivos.

La ingeniería de iluminación también se basa en el concepto de resplandor luminoso para diseñar sistemas de iluminación artificial eficaces y apropiados para

diversos entornos. En este contexto, se busca lograr una distribución equitativa de la luz para optimizar la visibilidad y la comodidad visual (Cuchí, 2015).

La medición de la luminosidad se realiza utilizando unidades como lux o lúmenes, que cuantifican la cantidad de luz visible en un área específica o la cantidad total de luz emitida por una fuente. La tecnología contemporánea ha permitido desarrollar sensores y dispositivos de medición precisos para evaluar la claridad luminosa en diferentes aplicaciones.

La claridad luminosa es un elemento esencial que influye en nuestra percepción del entorno, afectando áreas tan variadas como la meteorología, la fotografía, la biología y la iluminación artificial. La comprensión y medición acertadas de la luminosidad son fundamentales para asegurar condiciones visuales óptimas en diversos contextos.

2.6.5. PH del suelo

El nivel de acidez o alcalinidad del suelo, conocido como índice de pH, es un factor crítico que describe la acidez o basicidad de un suelo específico. Este indicador desempeña un papel fundamental en la agricultura y la horticultura, ya que tiene un impacto directo en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influenciando así su salud y desarrollo (León & León, 2020).

La corrección del pH del suelo, también conocida como enmienda del suelo, se lleva a cabo mediante la adición de materiales específicos, como cal para elevar la alcalinidad o azufre para incrementar la acidez. Este procedimiento es esencial para garantizar que los nutrientes estén disponibles en formas que las plantas puedan absorber (Cuchí, 2015).

El índice de pH del suelo constituye un elemento determinante en la salud de los cultivos, al influir en la disponibilidad de nutrientes esenciales. La comprensión y gestión apropiadas del pH del suelo son prácticas fundamentales para optimizar las condiciones de crecimiento y la producción

2.7. Low Power Wide Area Network (LPWAN)

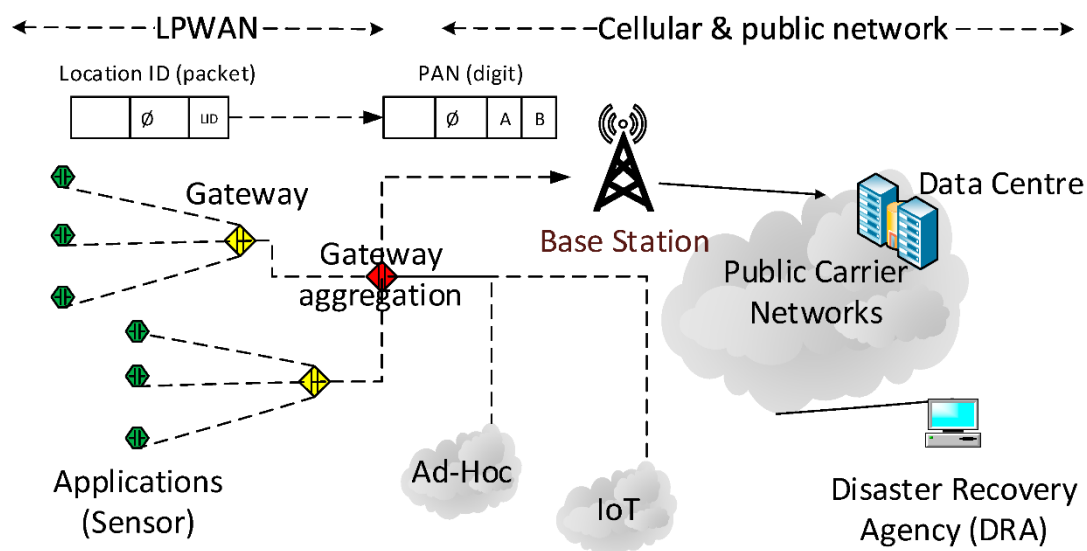
Las Redes de Área Amplia de Bajo Consumo Energético, conocidas por su acrónimo en inglés LPWAN (Low Power Wide Area Network), constituyen una categoría de tecnologías de comunicación inalámbrica diseñadas para facilitar la conectividad eficiente y de largo alcance para dispositivos que requieren bajos niveles de consumo de

energía. Este tipo de redes se ha vuelto esencial en el ámbito de la Internet de las Cosas (IoT), donde la conectividad de dispositivos de manera remota y la preservación de la duración de la batería son prioritarias (Onumanyi & Abu-Mahfouz, 2020).

LPWAN proporciona una cobertura extensa en comparación con tecnologías inalámbricas convencionales, permitiendo la comunicación a distancias considerables. A través de protocolos de comunicación optimizados y eficientes en términos de energía, estas redes permiten la transmisión de pequeñas cantidades de datos de manera regular, siendo particularmente beneficiosas para aplicaciones de monitoreo, seguimiento y recolección de datos en entornos donde la eficiencia energética es esencial.

Entre las tecnologías LPWAN más comunes se encuentran LoRa (Long Range), Sigfox y NB-IoT (Narrowband IoT). Cada una de estas opciones ofrece características específicas para satisfacer diversas necesidades de aplicaciones. Por ejemplo, LoRa destaca por su flexibilidad y capacidad para adaptarse a diversas aplicaciones, Sigfox se centra en proporcionar una red global de baja velocidad y bajo costo, mientras que NB-IoT se integra con las redes celulares existentes para ofrecer una cobertura más amplia (Nurelmadina & Hasan, 2021).

LPWAN se presenta como una solución fundamental para habilitar la conectividad eficiente y de bajo consumo energético en el creciente entorno de la Internet de las Cosas, posibilitando la implementación de aplicaciones inteligentes y sensores conectados en diversos sectores.

Figura 5*Low Power Wide Area Network*

Nota: La figura indica un simple funcionamiento de una red LPWAN. Fuente: Obtenido de (Riego Por Surcos – Cenicaña, n.d.; Xiong et al., 2015).

2.7.1. LoRa

LoRa, abreviatura de "Long Range" (alcance extenso), se presenta como una tecnología inalámbrica diseñada para abordar las complejidades de conectividad en el diverso escenario de la Internet de las Cosas (IoT). Su característica más distintiva radica en su capacidad para facilitar la comunicación a larga distancia, superando obstáculos urbanos y barreras físicas con eficacia, gracias a su uso de la modulación de espectro ensanchado.

Una de las virtudes sobresalientes de LoRa es su eficiencia energética, convirtiéndola en una opción idónea para dispositivos IoT que dependen de baterías. Su adaptabilidad se evidencia en su capacidad para adecuarse a diversas aplicaciones, desde vigilancia ambiental y agricultura hasta implementaciones en ciudades inteligentes y gestión de activos. La tecnología LoRa destaca además por su infraestructura de red de bajo costo y su capacidad para operar en bandas de frecuencia no licenciadas, facilitando su despliegue en distintas regiones globales.

Otro atributo distintivo de LoRa es su capacidad de penetración, permitiéndole atravesar estructuras y obstáculos físicos, mejorando así la conectividad en entornos desafiantes. Esta tecnología ha demostrado ser especialmente eficaz en implementaciones

a gran escala, donde la posibilidad de crear redes privadas o públicas se adapta a las necesidades específicas de los usuarios. En conclusión, LoRa se erige como una tecnología sobresaliente que satisface las demandas de conectividad de larga distancia y eficiencia energética en el cada vez más expansivo ámbito de la Internet de las Cosas.

2.7.2. Lora WAN

Lora WAN, que se deriva de "Long Range Wide Area Network" (Red de Área Amplia de Largo Alcance), constituye un protocolo de comunicación inalámbrica diseñado para abordar las necesidades particulares de la Internet de las Cosas (IoT). Esta norma se basa en la tecnología LoRa (Long Range), enfocándose en establecer una infraestructura de red que facilite la transmisión eficiente de datos entre dispositivos IoT y estaciones base (Kufakunesu & Hancke, 2020).

Un aspecto destacado de Lora WAN es su eficiencia energética, heredada de la tecnología LoRa, lo que lo hace especialmente adecuado para dispositivos alimentados por batería, contribuyendo así a una duración prolongada de la energía. Además, Lora WAN proporciona una cobertura a larga distancia, destacándose en situaciones donde la comunicación abarca extensas áreas o en entornos urbanos.

La arquitectura de red de Lora WAN se organiza en una topología de estrella de estrellas, donde varios dispositivos IoT se comunican con una estación base central. Esta estructura simplifica la administración y escalabilidad de la red, facilitando su implementación en diversos contextos. Además, se prioriza la seguridad, incorporando medidas sólidas como la encriptación de extremo a extremo para salvaguardar la integridad de los datos transmitidos (Codeluppi & Cilfone, 2020).

Otra ventaja distintiva de Lora WAN es su flexibilidad de implementación, ya que puede desplegarse en diferentes frecuencias, adaptándose así a las regulaciones regionales y ajustándose a las necesidades específicas de cada entorno. Asimismo, la infraestructura de red Lora WAN es reconocida por su relativo bajo costo de implementación, incentivando su adopción en diversas aplicaciones y escenarios.

Lora WAN se ha consolidado como un estándar esencial para la conectividad eficiente y de bajo consumo energético en el cambiante panorama de la Internet de las Cosas, proporcionando una base sólida para el despliegue y la gestión de dispositivos IoT a gran escala (Cotrim & Kleinschmidt, 2020).

2.7.3. Arquitectura de LoRa

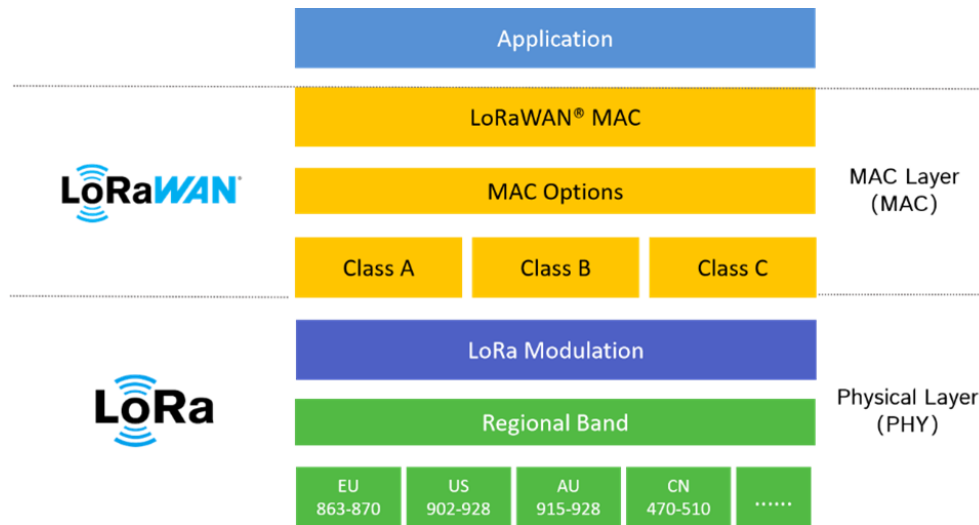
La estructura de LoRa, fundamentada en la tecnología "Long Range" (Largo Alcance), ha sido concebida para brindar una plataforma eficaz y confiable destinada a la comunicación inalámbrica dentro del ámbito de la Internet de las Cosas (IoT). Esta configuración comprende diversos elementos que colaboran para facilitar la conectividad de dispositivos IoT a larga distancia y con un consumo de energía reducido (Kufakunesu & Hancke, 2020).

En el núcleo de esta arquitectura reside la tecnología LoRa, la cual permite la transmisión de datos a grandes distancias y la penetración eficiente de barreras físicas. Los dispositivos finales, como sensores o dispositivos de monitoreo, hacen uso de módulos LoRa para establecer comunicación con las pasarelas LoRa.

Las pasarelas LoRa desempeñan el papel de puntos de acceso, retransmitiendo los datos entre los dispositivos finales y la red central. Estas pasarelas, estratégicamente distribuidas, amplían la cobertura de la red y mejoran la eficacia de la comunicación. Frecuentemente, estas pasarelas se encuentran conectadas a una infraestructura de red convencional, como internet, para facilitar la transferencia de datos hacia servicios en la nube o servidores de aplicaciones (Kufakunesu & Hancke, 2020).

La red central de LoRa, también conocida como red de acceso de área amplia (WAN), supervisa y coordina la comunicación entre los dispositivos finales y las pasarelas. Utiliza protocolos y estándares LoRaWAN para gestionar la transmisión de datos de manera eficiente, priorizando la eficiencia energética y la capacidad de larga distancia.

La configuración de LoRa establece una infraestructura jerárquica que incluye dispositivos finales, pasarelas y una red central, proporcionando una solución integral para la conectividad inalámbrica de larga distancia. Este diseño está especialmente adaptado para el entorno diverso y desafiante de la Internet de las Cosas.

Figura 6*Arquitectura de LoRa*

Nota: La figura muestra una arquitectura básica de la tecnología LoRa. Fuente: Obtenido de (*Qué Es LoRa, Cómo Funciona y Características Principales* - Venco Electrónica, n.d.)

2.7.3.1. Modulación y espectro de frecuencia de trabajo

La alteración de una onda portadora para transportar información, conocida como modulación, y la amplitud del rango de frecuencias en el cual opera una tecnología específica, referida como espectro de frecuencia de trabajo, son componentes esenciales en la transmisión de señales inalámbricas. Estos conceptos adquieren especial importancia en tecnologías como LoRa, donde la optimización de la transmisión de datos a larga distancia y con bajo consumo de energía es un requisito fundamental (Robles & Muros, 2020).

La modulación de espectro ensanchado en LoRa implica dispersar la energía de la señal a lo largo de un amplio rango de frecuencias en lugar de concentrarla en una frecuencia estrecha. Esta técnica no solo facilita la penetración de obstáculos y la superación de interferencias, sino que también contribuye a la eficiencia energética al permitir una comunicación robusta con bajos niveles de potencia.

En lo que respecta al rango de frecuencias de trabajo, se refiere al espectro de frecuencias en el cual una tecnología específica lleva a cabo sus operaciones. En el caso de LoRa, se emplean frecuencias no licenciadas en las bandas ISM (Industrial, Scientific, and Medical), las cuales varían según la región geográfica. Esta característica no solo

posibilita una implementación más sencilla, sino que también brinda una mayor flexibilidad en términos de regulaciones, facilitando así la expansión global de la tecnología (Kufakunesu & Hancke, 2020).

La combinación de una modulación eficiente, como la de espectro ensanchado, con un rango de frecuencias de trabajo adecuado, contribuye significativamente a la capacidad de LoRa para ofrecer comunicaciones inalámbricas de larga distancia con bajos niveles de consumo energético. Estos principios son esenciales para optimizar la conectividad en entornos desafiantes y diversos, siendo características clave en el contexto de la Internet de las Cosas.

2.7.3.2. Características de LoRa

LoRa, cuya abreviatura se origina en "Long Range" (Alcance Extensivo), destaca por una serie de atributos clave que lo convierten en una tecnología inalámbrica excepcionalmente eficiente para la conectividad de dispositivos en la Internet de las Cosas (IoT). Su capacidad de extenso alcance es una de las facetas más destacadas, posibilitando una comunicación fiable que se extiende a distancias considerables, alcanzando varios kilómetros en entornos urbanos y superando los 10 kilómetros en áreas rurales.

Una característica fundamental de LoRa es su eficiencia energética, diseñada para minimizar el consumo de energía y, por consiguiente, alargar la duración de la batería de los dispositivos IoT. Esta eficiencia no solo contribuye a una mayor autonomía operativa, sino que también reduce la necesidad de intervenciones frecuentes para el reemplazo de baterías.

La capacidad de LoRa para penetrar obstáculos físicos y estructuras, como edificios urbanos, es otra característica distintiva que mejora significativamente la conectividad en entornos desafiantes. Además, su flexibilidad de frecuencia, al operar en bandas no licenciadas, facilita su implementación en diversas regiones del mundo, adaptándose a las regulaciones locales y regionales.

La adaptabilidad a diversas aplicaciones es una virtud clave de LoRa, abarcando desde la agricultura y el monitoreo ambiental hasta las ciudades inteligentes y la gestión de activos. Esta versatilidad ha propiciado su adopción en diferentes sectores, ofreciendo soluciones de conectividad resistentes y versátiles.

El bajo costo de implementación de la infraestructura de red LoRa ha sido un factor determinante en su adopción a gran escala. La asequibilidad de la tecnología es un componente clave para proyectos extensos, permitiendo una implementación más amplia y accesible.

Las características distintivas de LoRa, como su extenso alcance, eficiencia energética y adaptabilidad a diversas aplicaciones lo consolidan como una solución resistente y versátil para aplicaciones de IoT que requieren conectividad fiable y sostenible a larga distancia.

2.7.3.3. Tipos de nodos

Dentro del ámbito de las redes y sistemas, los nodos asumen funciones específicas que contribuyen al funcionamiento integral de la red. Uno de los tipos de nodos más habituales es el "nodo de conexión", que funge como punto de unión entre diferentes segmentos de la red, facilitando así la transferencia eficaz de datos entre dispositivos ubicados en distintos lugares. Por otro lado, los "nodos finales o terminales" representan dispositivos de usuario, como computadoras o teléfonos móviles, que generan o consumen datos, actuando como puntos de inicio o destino en la comunicación.

En el contexto del enrutamiento de datos, los "nodos de enrutamiento" desempeñan una función esencial al tomar decisiones sobre la mejor ruta para dirigir la información desde el origen hasta el destino, optimizando la eficiencia de la red. Los "nodos intermedios" actúan como intermediarios en la transmisión de datos entre nodos finales, llevando a cabo funciones de almacenamiento temporal o procesamiento antes de reenviar los datos hacia su destino final.

Los "nodos de acceso" son cruciales para conectar dispositivos finales a la red, facilitando la entrada y salida de datos. A nivel de la red completa, los "nodos de red" pueden cumplir funciones de gestión de recursos, asignación de direcciones IP o administración del tráfico en una red específica. En el ámbito de Internet de las Cosas (IoT), los "nodos sensores" se destacan al ser dispositivos especializados diseñados para recolectar datos del entorno circundante, siendo compactos y eficientes en términos de energía para su implementación en redes de sensores.

La variedad de funciones y roles desempeñados por estos diversos tipos de nodos contribuye a la complejidad y adaptabilidad de las redes, permitiendo satisfacer diversas necesidades y aplicaciones en entornos tecnológicos diversos.

Tabla 4*Tipos de nodos*

Tipo de Nodo	Descripción	Función Principal
Nodo de Conexión	Punto de unión entre diferentes segmentos de la red, facilita la transferencia eficaz de datos entre dispositivos ubicados en distintos lugares.	Facilita la conectividad y comunicación eficiente entre segmentos de la red.
Nodos Finales o Terminales	Dispositivos de usuario como computadoras o teléfonos móviles, generan o consumen datos, actuando como puntos de inicio o destino en la comunicación.	Generan o consumen datos, puntos de inicio o destino en la comunicación.
Nodos de Enrutamiento	Toman decisiones sobre la mejor ruta para dirigir la información desde el origen hasta el destino, optimizando la eficiencia de la red.	Optimizan la ruta de datos, asegurando eficiencia en la transmisión.
Nodos Intermedios	Actúan como intermediarios en la transmisión de datos entre nodos finales, realizan funciones de almacenamiento temporal o procesamiento antes de reenviar los datos hacia su destino final.	Intermediarios en la transmisión de datos, procesamiento antes de reenviar.
Nodos de Acceso	Conectan dispositivos finales a la red, facilitando la entrada y salida de datos.	Facilitan la conexión de dispositivos finales a la red.
Nodos de Red	A nivel de la red completa, pueden cumplir funciones de gestión de recursos, asignación de direcciones IP o administración del tráfico en una red específica.	Realizan funciones de gestión y administración a nivel de toda la red.
Nodos Sensores	Dispositivos especializados en IoT diseñados para recolectar datos del entorno circundante, compactos y eficientes en términos de energía para implementación en redes de sensores.	Recolectan datos del entorno en entornos IoT, eficientes en términos de energía.

Fuente: Elaborado por el autor.

2.7.3.4. Seguridad del sistema

La protección del sistema emerge como un elemento crítico en la concepción y operatividad de cualquier estructura tecnológica. Comprende la implementación de medidas y procedimientos destinados a resguardar los activos digitales, información confidencial y la integridad del sistema frente a posibles amenazas y vulnerabilidades. La seguridad del sistema aborda diversos aspectos fundamentales para asegurar una protección efectiva (Palacios, 2020).

En primer lugar, el manejo de accesos resulta esencial para restringir quiénes tienen autorización para acceder a recursos y datos sensibles. La autenticación y la autorización son elementos vitales para verificar la identidad de los usuarios y otorgar los privilegios apropiados. Esto se logra mediante contraseñas sólidas, autenticación multifactor y políticas de acceso bien definidas.

La administración de actualizaciones y parches es esencial para corregir vulnerabilidades conocidas en el sistema operativo y en las aplicaciones. Mantener el software al día reduce la exposición a amenazas de seguridad y asegura que las últimas correcciones de seguridad estén implementadas (Palacios, 2020).

Los cortafuegos y sistemas de detección de intrusiones se erigen como herramientas esenciales para supervisar y filtrar el tráfico de red. Estos elementos actúan como barreras defensivas, identificando y bloqueando intentos no autorizados de acceso al sistema.

La educación y concienciación del usuario son componentes cruciales en materia de seguridad del sistema. La capacitación constante de los usuarios sobre prácticas seguras en línea, el reconocimiento de correos electrónicos de suplantación de identidad y la utilización responsable de contraseñas contribuyen significativamente a la mitigación de riesgos.

La seguridad del sistema se configura como un enfoque integral que demanda un abordaje continuo y proactivo. La combinación de tecnologías avanzadas, políticas sólidas y la participación activa de los usuarios se traduce en un entorno más seguro y resistente frente a las crecientes amenazas cibernéticas.

2.7.3.5. Tipos de conexiones

En el extenso ámbito de las tecnologías de la información y las comunicaciones, se encuentran una variedad de tipos de conexiones que desempeñan un papel crucial en facilitar la comunicación entre dispositivos y sistemas. Dentro de la categoría de conexiones cableadas, sobresalen tecnologías como Ethernet, ampliamente utilizada para redes locales, USB (Universal Serial Bus), que posibilita la conexión de periféricos y almacenamiento externo, y HDMI (High-Definition Multimedia Interface), específica para la transmisión de audio y video de alta definición.

En el ámbito de las conexiones inalámbricas, Wi-Fi se destaca como una opción común para redes locales sin la necesidad de cables. Bluetooth facilita la conexión inalámbrica de dispositivos cercanos, mientras que NFC (Near Field Communication) posibilita la comunicación de corto alcance, siendo utilizada en transacciones sin contacto y transferencia de datos.

En el entorno móvil, las conexiones de datos son esenciales, con estándares como 3G, 4G y 5G que permiten la conexión a internet y la transmisión de datos a través de redes móviles. Además, el sistema GPS (Global Positioning System) emplea señales de satélites para proporcionar información precisa de ubicación en dispositivos móviles.

En el contexto empresarial, las conexiones de red adquieren una relevancia significativa, donde las VPN (Virtual Private Network) facilitan conexiones seguras a redes privadas a través de internet, y las intranets, redes internas de organizaciones, utilizan protocolos de internet para compartir información y recursos entre empleados.

En el ámbito de almacenamiento, las conexiones desempeñan un papel vital, con tecnologías como SATA (Serial ATA) para dispositivos como discos duros

Estos distintos tipos de conexiones constituyen la infraestructura de comunicación en el panorama digital actual, siendo seleccionados conforme a los requisitos específicos de cada aplicación y los dispositivos que se desean interconectar.

Tabla 5*Tipos de conexiones*

Tipo de Conexión	Descripción	Aplicaciones Destacadas
Conexiones Cableadas	Ethernet: Ampliamente utilizada para redes locales, proporciona conexión por cable para dispositivos en una red. USB (Universal Serial Bus): Permite la conexión de periféricos y almacenamiento externo a través de cables. HDMI(High-Definition Multimedia Interface): Específica para la transmisión de audio y video de alta definición mediante cables.	Redes locales, conexión de periféricos, transmisión de audio y video de alta definición.
Conexiones Inalámbricas	Wi-Fi: Común para redes locales sin cables, permite la conexión inalámbrica de dispositivos. Bluetooth: Facilita la conexión inalámbrica de dispositivos cercanos. NFC (Near Field Communication): Habilita la comunicación de corto alcance, utilizado en transacciones sin contacto y transferencia de datos.	Redes locales inalámbricas, conexión de dispositivos cercanos, transacciones sin contacto.
Conexiones de Datos Móviles	3G, 4G, 5G: Estándares para la conexión a internet y la transmisión de datos a través de redes móviles. GPS (Global Positioning System): Utiliza señales de satélites para proporcionar información precisa de ubicación en dispositivos móviles.	Conexión a internet y transmisión de datos móviles, localización precisa en dispositivos móviles.
Conexiones Empresariales	VPN (Virtual Private Network): Facilita conexiones seguras a redes privadas a través de internet. Intranets: Redes internas de organizaciones que utilizan protocolos de internet para compartir información y recursos entre empleados.	Conexiones seguras a redes privadas a través de internet, redes internas para compartir información y recursos en organizaciones.
Conexiones de Almacenamiento	SATA (Serial ATA): Utilizada para dispositivos como discos duros, permite la conexión y transferencia de datos de almacenamiento.	Conexión y transferencia de datos de almacenamiento en dispositivos como discos duros.

Fuente: Elaborado por el autor.

2.8. Sistemas IoT (Internet of Things)

Los sistemas pertenecientes al Internet de las Cosas (IoT) constituyen una categoría tecnológica en constante crecimiento que está redefiniendo la manera en que nos relacionamos con el entorno digital y físico. En esencia, el IoT implica la interconexión de dispositivos y objetos cotidianos a través de la internet, habilitándolos para recopilar, transmitir y recibir datos de forma autónoma (Espinosa & Ponte, 2020).

En el núcleo de estos sistemas se hallan los dispositivos inteligentes, dotados de sensores, actuadores y capacidad de conectividad a la red. Estos dispositivos abarcan desde electrodomésticos y vehículos hasta sensores agrícolas y dispositivos médicos, creando una red extensa y diversificada de nodos interconectados.

La captura de datos en tiempo real representa una característica esencial de los sistemas IoT. Los sensores incorporados en los dispositivos registran información sobre el entorno, como temperatura, humedad, ubicación y diversos parámetros, los cuales se transmiten posteriormente a plataformas centralizadas para su procesamiento. Este flujo constante de datos proporciona una comprensión más profunda de los patrones y eventos en el mundo real.

La comunicación entre dispositivos constituye un componente vital de los sistemas IoT. Utilizando protocolos de comunicación estandarizados, como MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) o CoAP (Constrained Application Protocol), los dispositivos pueden intercambiar información de manera eficiente, posibilitando la coordinación y la toma de decisiones colaborativa (Yumizaca, 2023).

La seguridad en los sistemas IoT emerge como un aspecto crítico dada la diversidad y conectividad constante de los dispositivos. La implementación de medidas como la encriptación de datos, la autenticación sólida y la gestión segura de dispositivos resulta esencial para resguardar la integridad y la privacidad de la información.

2.8.1. Definición de un Sistema IoT

Un Sistema de Internet de las Cosas (IoT) se caracteriza como una infraestructura tecnológica interconectada que facilita la comunicación y colaboración entre una variedad de dispositivos inteligentes y objetos cotidianos mediante el uso de la red global. Fundamentalmente, el IoT tiene como objetivo capacitar a estos dispositivos para

recopilar, transmitir y compartir datos de forma autónoma, dando origen a una red inteligente y dinámica (Ortiz & Fajardo, 2020).

En el centro de un sistema IoT se encuentran dispositivos dotados de sensores, actuadores y capacidades de conectividad. Estos dispositivos abarcan desde electrodomésticos y vehículos hasta sensores industriales y dispositivos médicos. La característica distintiva radica en la capacidad de estos objetos para capturar información del entorno y compartir dichos datos a través de la red.

La esencia del sistema reside en la recolección de datos en tiempo real provenientes de diversos sensores incorporados en los dispositivos IoT. Estos sensores pueden medir una amplia gama de variables, como temperatura, humedad, ubicación y otros parámetros relevantes. La información recolectada se transmite a plataformas centralizadas, donde se procesa y analiza para obtener perspectivas valiosas.

La comunicación entre los dispositivos dentro del sistema IoT se lleva a cabo mediante protocolos estandarizados que permiten un intercambio eficiente de información. Esto facilita la coordinación entre dispositivos y la toma de decisiones colaborativas, contribuyendo a la creación de un ecosistema conectado y eficiente (Alarcón, 2020).

Un Sistema IoT representa una red interconectada de dispositivos inteligentes que busca transformar la forma en que interactuamos con el entorno digital y físico, ofreciendo una conectividad sin igual entre objetos cotidianos y estableciendo una base para la continua innovación.

2.8.2. Componentes básicos de un sistema IoT

Los sistemas pertenecientes al Internet de las Cosas (IoT) se conforman mediante la colaboración de componentes esenciales que establecen un entorno interconectado y eficaz. En el epicentro de este sistema se encuentran los dispositivos IoT, dotados de sensores para la obtención de datos del entorno y actuadores que ejecutan acciones específicas. Estos dispositivos constituyen la base para la adquisición y transmisión de datos en el marco del IoT (Lopera, 2020).

La conectividad juega un papel vital, posibilitando la comunicación entre los dispositivos. Tecnologías inalámbricas como Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee o LTE facilitan la transferencia eficiente de datos en diversos entornos. Los protocolos de comunicación,

tales como MQTT, CoAP o HTTP, establecen estándares para el intercambio efectivo de datos entre los dispositivos IoT.

Las plataformas IoT, particularmente en la nube, resultan esenciales para el almacenamiento, procesamiento y gestión de grandes volúmenes de datos generados por los dispositivos. Estas plataformas ofrecen capacidades analíticas, de almacenamiento y servicios en tiempo real, creando un entorno centralizado para la gestión eficiente de la información.

El software de aplicación desempeña un papel crucial, con aplicaciones específicas diseñadas para abordar necesidades particulares. Estas aplicaciones utilizan los datos generados por el IoT para proporcionar servicios especializados, como el monitoreo de la salud, la gestión agrícola o la automatización del hogar.

La seguridad se erige como una consideración crítica en los sistemas IoT, con como encriptación y autenticación que garantizan la confidencialidad y la autenticidad de los datos. La gestión de identidades asegura que solo los dispositivos autorizados tengan acceso al sistema, disminuyendo posibles amenazas de seguridad (Rozo, 2019).

Finalmente, las herramientas de análisis de datos, mediante el empleo de algoritmos y técnicas de inteligencia artificial, extraen información valiosa de los datos generados por los dispositivos IoT. Estos análisis proporcionan perspicacias útiles que respaldan la toma de decisiones informadas en diversas aplicaciones y sectores. En conjunto, estos elementos configuran un sistema integral y dinámico que optimiza el potencial de Internet de las Cosas.

2.8.3. Sistemas IoT aplicados en agricultura inteligente

Los Sistemas de Internet de las Cosas (IoT) implementados en la agricultura inteligente constituyen una transformación notable en la administración y optimización de los procesos agrícolas. Estos sistemas capitalizan la interconexión de dispositivos, sensores y plataformas para ofrecer soluciones innovadoras que potencian la eficiencia y la sostenibilidad en el ámbito agrícola (LópezHurtado, 2020).

En el núcleo de la agricultura inteligente basada en IoT se encuentran los dispositivos dotados de sensores especializados. Estos dispositivos pueden medir parámetros críticos como la humedad del suelo, la temperatura, la calidad del aire y la radiación solar. La información recopilada se transmite a través de redes inalámbricas,

permitiendo a los agricultores acceder a datos en tiempo real sobre las condiciones del cultivo.

La gestión del riego destaca como uno de los beneficios clave de estos sistemas. Mediante sensores de humedad del suelo conectados a plataformas IoT, los agricultores pueden monitorear de cerca los niveles de humedad y programar sistemas de riego automatizados. Esto no solo optimiza el consumo de agua, sino que también garantiza que cada planta reciba la cantidad adecuada de agua según sus necesidades específicas.

Otro aspecto fundamental es la monitorización de cultivos mediante tecnologías de imágenes satelitales y drones. Estos dispositivos recopilan datos visuales que, junto con análisis de datos avanzados, permiten a los agricultores detectar problemas como enfermedades, plagas o deficiencias nutricionales en las etapas tempranas. Esto facilita una respuesta rápida y precisa, mejorando la salud general de los cultivos (Choque, 2020).

La trazabilidad y la cadena de suministro también se benefician de los sistemas IoT en agricultura inteligente. Cada fase del proceso. La eficacia operativa se ve potenciada por la automatización y la toma de decisiones basada en datos. Los agricultores pueden recibir alertas y recomendaciones personalizadas sobre el manejo de cultivos, el control de plagas o la optimización de recursos, respaldadas por análisis de datos en tiempo real.

Los sistemas IoT en la agricultura inteligente representan un avance significativo al proporcionar soluciones tecnológicas que no solo aumentan la productividad y la eficiencia, sino que también contribuyen a la sostenibilidad y a una gestión más informada de los recursos agrícolas.

2.9. Sistemas de Cloud Computing

2.9.1. Definición y conceptos clave

Los Sistemas de Computación en la Malla Digital se definen como un modelo de suministro de servicios informáticos a través de la red, permitiendo el acceso remoto a recursos como almacenamiento, procesamiento y aplicaciones. En lugar de depender de infraestructuras locales, los usuarios pueden aprovechar recursos alojados en servidores remotos, proporcionados y administrados por proveedores de servicios en la nube. Estos sistemas implican la virtualización de recursos, facilitando la creación de entornos virtuales para el almacenamiento, cómputo y redes, lo que posibilita una gestión eficiente

y flexible de los recursos. La escalabilidad, caracterizada por la capacidad de aumentar o disminuir rápidamente la capacidad de cómputo según las necesidades, proporciona agilidad y eficiencia en el uso de recursos (León E. , 2021).

La prestación de servicios bajo demanda es una característica fundamental, permitiendo el acceso a recursos informáticos según las necesidades inmediatas, sin requerir inversión previa ni gestión directa por parte del usuario. El acceso remoto, posibilitado mediante la conexión a internet, permite a los usuarios utilizar y gestionar servicios y recursos desde cualquier ubicación. La elasticidad, entendida como la capacidad de adaptarse dinámicamente a las cargas de trabajo, escala recursos automáticamente para mantener el rendimiento.

La característica de multi-tenancy destaca la capacidad de proporcionar servicios y recursos compartidos de manera segura entre múltiples usuarios o clientes. La automatización se refiere a la implementación de procesos automáticos para gestionar y optimizar recursos, mejorando la eficiencia operativa. La seguridad en la nube comprende protocolos y medidas diseñadas para proteger datos y aplicaciones almacenados en entornos de computación en la nube. Los servidores remotos, hardware alojado fuera de las instalaciones del usuario, son gestionados por proveedores de servicios en la nube, proporcionando los recursos necesarios para la prestación de servicios.

2.9.2. Arquitectura básica de Cloud Computing

La estructura primordial de Computación en la Malla Digital se enfoca en la disposición y organización de los elementos esenciales que facilitan la entrega eficaz de servicios computacionales a través de la red. En este modelo, resaltan los componentes fundamentales que constituyen la infraestructura subyacente de la computación en la nube. En primera instancia, se encuentran los centros de datos, los cuales albergan servidores, almacenamiento y dispositivos de red. Estos centros de datos conforman la columna vertebral de la infraestructura de la nube y actúan como el punto central desde el cual se suministran los servicios a los usuarios (Cruz & Paez, 2023).

La virtualización desempeña una función crucial al posibilitar la creación de máquinas virtuales (MV) y la gestión eficiente de recursos. Esto permite la compartición de recursos físicos entre diversas aplicaciones y usuarios, mejorando la flexibilidad y la optimización del uso de la capacidad de cómputo. La capa de servicios, compuesta por Software como Servicio (SaaS), Plataforma como Servicio (PaaS) e Infraestructura como

Servicio (IaaS), determina cómo se ofrecen y consumen los servicios en la nube. Cada capa proporciona un nivel diferente de abstracción y control sobre los recursos, permitiendo a los usuarios seleccionar el modelo que mejor se adapte a sus necesidades (Cruz & Paez, 2023).

Mientras que la capa de red conecta todos estos elementos, posibilitando la comunicación fluida entre los usuarios y los recursos en la nube. Los protocolos de seguridad y la implementación de medidas de protección son esenciales en esta capa para garantizar la integridad y confidencialidad de los datos.

2.9.3. Plataformas líderes en Cloud Computing

2.9.3.1. AWS

Bull, (2019), menciona que Amazon Web Services (AWS) representa una plataforma completa de servicios en la nube presentada por Amazon.com. Se caracteriza por proporcionar una extensa variedad de servicios computacionales, de almacenamiento, análisis, aprendizaje automático, Internet de las cosas (IoT) y más. AWS posibilita a empresas y desarrolladores acceder a recursos informáticos a través de la red, eliminando la necesidad de mantener infraestructuras físicas locales.

Este funciona como un conjunto escalable y adaptable de servicios en la nube, permitiendo a los usuarios abonar únicamente por los recursos que consumen. Su amplio abanico de servicios abarca desde la computación básica hasta soluciones avanzadas de inteligencia artificial y análisis de datos. La plataforma se erige como una elección líder para empresas que buscan expandir sus operaciones de manera eficiente y aprovechar soluciones tecnológicas de vanguardia.

2.9.3.2. Azure

Azure, creado por Microsoft, es una plataforma integral de servicios en la nube que proporciona diversas soluciones computacionales, almacenamiento, análisis de datos, inteligencia artificial y más. Esta plataforma permite a empresas y desarrolladores acceder a recursos informáticos a través de Internet, eliminando la necesidad de mantener infraestructuras locales. El que se presenta como un conjunto escalable y versátil de servicios en la nube, posibilitando a los usuarios pagar únicamente por los recursos utilizados. La variedad de servicios abarcados incluye desde la computación básica hasta soluciones avanzadas de aprendizaje automático y análisis de datos. La plataforma se ha

consolidado como una opción líder para las empresas que buscan expandir sus operaciones de manera eficiente y aprovechar las últimas tecnologías (Ameet, 2021).

2.9.3.3. Google Cloud

Cruz (2021), menciona que Google Cloud, concebido por Google, constituye una plataforma integral de servicios en la nube que proporciona una amplia variedad de soluciones computacionales, almacenamiento, análisis de datos, inteligencia artificial y más. Esta plataforma facilita a empresas y desarrolladores el acceso a recursos informáticos a través de Internet, eliminando la necesidad de mantener infraestructuras locales. El que se presenta como un conjunto escalable y versátil de servicios en la nube, permitiendo a los usuarios abonar únicamente por los recursos utilizados. La diversidad de servicios engloba desde la computación elemental hasta soluciones avanzadas de aprendizaje automático y análisis de datos. La plataforma se ha consolidado como una opción líder para las empresas que buscan expandir sus operaciones de manera eficiente y aprovechar las últimas tecnologías.

2.10. Minería de datos

Franco (2021), expresa que, dentro del ámbito de la informática y la gestión de información, la Exploración de Datos se refiere a la práctica de descubrir patrones, tendencias y conocimientos valiosos a partir de conjuntos extensos. Este proceso implica la utilización de algoritmos y técnicas analíticas para explorar grandes volúmenes e identificar información relevante. En la que se emplean métodos estadísticos y de aprendizaje automático para identificar relaciones y patrones ocultos en los conjuntos. Este enfoque es fundamental para la toma de decisiones informadas y la generación de conocimiento valioso en diversos campos, como la investigación científica, el marketing, la salud y otros.

Es importante expresar que la cual juega un papel crucial en el análisis, permitiendo a las organizaciones aprovechar la información existente para tomar decisiones estratégicas, anticipar tendencias y mejorar la eficiencia operativa. Este proceso se ha vuelto cada vez más importante a medida que la cantidad de datos disponibles ha crecido exponencialmente, y su aplicación abarca desde la predicción de comportamientos hasta la optimización de procesos empresariales.

2.10.1. Introducción a la minería de datos

En el contexto de la informática y la gestión de información, la investigación de datos se presenta como una disciplina esencial para revelar patrones, tendencias y conocimientos valiosos desde conjuntos extensos. Este procedimiento abarca la utilización de algoritmos y técnicas analíticas para examinar grandes volúmenes e identificar información relevante. En la investigación de datos, se aplican métodos estadísticos y de aprendizaje automático para descubrir relaciones y patrones ocultos en los conjuntos. Esta práctica resulta fundamental para la toma de decisiones informadas y la generación de conocimiento valioso en diversas áreas, como la investigación científica, el marketing, la salud y otros sectores (Suannavas, 2020).

La investigación de datos desempeña un rol crucial en el análisis, permitiendo a las organizaciones aprovechar la información disponible para tomar decisiones estratégicas, anticipar tendencias y mejorar la eficiencia operativa. Este procedimiento ha cobrado una importancia creciente conforme la cantidad de datos disponible ha experimentado un aumento exponencial, y su aplicación abarca desde la predicción de comportamientos hasta la optimización de procesos empresariales.

2.10.2. Preparación y limpieza de datos

En el ámbito de la informática y el tratamiento de información, la preparación y depuración de datos se presenta como una fase esencial para organizar y purificar conjuntos de información. Este proceso implica la utilización de técnicas y procedimientos para estructurar y limpiar datos, garantizando así su calidad y coherencia.

En la fase de preparación y depuración de datos, se emplean métodos y estrategias para validar la información, eliminar inconsistencias y asegurar la integridad de los conjuntos. Esta etapa es crucial para garantizar que los datos estén listos y sean confiables antes de ser utilizados en análisis, modelado o cualquier aplicación. La cual desempeña un papel esencial en el manejo de la información, permitiendo que los conjuntos estén ordenados y libres de errores, facilitando así su correcta interpretación y utilización en diversas áreas, como la investigación, la toma de decisiones y el desarrollo de modelos analíticos (Barrionuevo, 2021).

2.10.3. Algoritmos y agrupaciones

En el dominio de la informática y el análisis de datos, los procedimientos y clasificaciones se presentan como herramientas y tácticas fundamentales. Estos métodos

comprenden la aplicación de fórmulas y la formación de conjuntos homogéneos, respectivamente, para categorizar y organizar la información (Videla, 2021).

En lo que respecta a los procedimientos, se recurre a procesos computacionales para realizar tareas específicas, tales como la ordenación, la búsqueda y la optimización. Por otro lado, los agrupamientos implican la creación de conjuntos coherentes a partir de datos relacionados. Estas prácticas son vitales para el análisis y la interpretación de extensos volúmenes de información. La utilización de procedimientos y clasificaciones desempeña un rol crucial en la exploración y comprensión de datos, facilitando la identificación de patrones, tendencias y relaciones. Estas tácticas son esenciales en áreas como la inteligencia artificial, la minería de datos y la toma de decisiones basada en información.

2.10.3.1. Agrupamiento y métodos

La categorización y tácticas se exhiben como la clasificación y variados métodos, respectivamente. Estos procesos comprenden la disposición y diversas estrategias para llevar a cabo tareas específicas. En relación con la clasificación, se recurre a la asignación de elementos en grupos específicos, mientras que los enfoques implican las diversas maneras de abordar problemas particulares. Estas prácticas son esenciales para la comprensión y aplicación eficaz de distintos métodos algorítmicos. La utilización de clasificación y enfoques desempeña un papel crucial en la exploración y comprensión de los métodos, facilitando la identificación de diferentes estrategias y aplicaciones. Estos conceptos son esenciales en áreas como la programación, la inteligencia artificial y la optimización de procesos (Rosado, 2019).

2.10.4. Métodos de análisis exploratorios de datos

Los procedimientos de análisis exploratorio de datos se refieren a las técnicas y estrategias empleadas para examinar y entender de manera inicial conjuntos de información. Estas prácticas se fundamentan en enfoques investigativos que facilitan la exploración y la revelación de patrones, tendencias y características clave presentes en los datos. Esencialmente, estos métodos proporcionan un marco inicial y detallado para examinar la información disponible, con el propósito de identificar datos relevantes y establecer una comprensión preliminar de la estructura y el contenido de los conjuntos de datos (Cortilla, 2021).

En el contexto del análisis exploratorio de datos, se busca obtener una visión integral de la información, identificar posibles relaciones y entender la distribución de variables. Estos métodos pueden incluir técnicas estadísticas descriptivas, visualización de datos, pruebas de hipótesis preliminares y otras estrategias que permitan explorar de manera efectiva la riqueza de la información disponible. La ampliación de estos métodos no solo implica la aplicación de diversas técnicas, sino también la consideración de contextos específicos y la interpretación cuidadosa de los resultados obtenidos. En última instancia, el análisis exploratorio de datos sirve como un paso crucial para comprender la naturaleza y las posibles implicaciones de los conjuntos de datos, proporcionando una base sólida para análisis más profundos y toma de decisiones informada.

3. CAPÍTULO III.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Este capítulo abarca temas muy importantes, como el modelo experimental para el desarrollo del sistema que ayudará en la toma de datos, se realiza una evaluación muy a fondo de los requerimientos que ayuden en la elección tanto del hardware como del software para el correcto funcionamiento del prototipo final.

3.1. Metodología

Para el desarrollo de este proyecto es importante seguir un proceso de niveles de diseño de sistemas que incluyan el prototipado, por esta razón se determina la selección del modelo en cascada, el cual ayuda en el proceso de construcción del prototipado permitiendo la retroalimentación de este.

Este permite dedignar cada una de las fases aplicativas antes y después de implementar el sistema. Es importante destacar que cada una de las fases van vinculadas con investigación y la toma de decisiones de la misma, en cada una de estas se obtendrá un valor significativo que aporta a la investigación que se está desarrollando, de igual forma es esencial llegar al cumplimiento de cada uno de los objetivos con el desarrollo de cada fase.

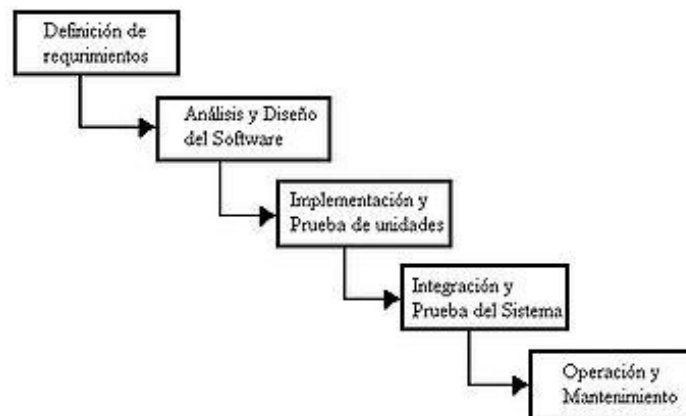
3.2. Modelo en cascada

El modelo en cascada es una metodología de desarrollo secuencial, en el cual se puede tener en cuenta el diseño del sistema propuesto el cual incluye el prototipado. El Modelo en Cascada permite organizar la investigación en una serie de fases ordenadas y sucesivas, donde cada etapa se construye sobre la conclusión de la anterior sin perder el modelo secuencial para no perder la retroalimentación de la fase anterior.

En la ilustración 7 se muestra cada una de las fases en cómo está dividido el modelo en cascada, para lo cual se analizan cada una de estas etapas en las cuales se va a realizar la correcta distribución de las fases, para el desarrollo de nuestro proyecto, poder hacer las pruebas respectivas y cumplir con cada uno de los objetivos establecidos.

Figura 7

Representación de la arquitectura del modelo en cascada



Nota: Se muestra cada una de las fases del modelo en cascada la cual se deben seguir para el desarrollo e implementación de un sistema de prototipado. Fuente: Obtenido de: <https://4tesosite.wordpress.com/modelo-cascada/>

En la primera fase, se recopiló información de los requisitos que se usó para el desarrollo de este, es muy importante saber que en cuanto a limitaciones se toma a consideración que este sistema es escalable para cualquier tipo de cultivo, pero en este caso está limitado al *Capsicum annum* y *Phaseolus vulgaris*, en el sector propuesto.

En la segunda fase, se analizó cada uno de los componentes de los que se va a hacer uso, para ello se consideró primero comprender los sensores que se van a utilizar: sensor de humedad del suelo (yl-69), sensor foto-resistor (ky-018) y sensor de PH con sonda (PH-4502C). De igual forma se analizan cada uno de los microcontroladores y para transmisión inalámbrica tales como: Arduino MEGA 2560, Lilygo t3 v1.6.1 lora 32 (868/915 mhz) y Raspberry PI 3B+. Para esta fase como punto importante se desarrolló una arquitectura y un diseño elaborado en FRITZING, el cual sirve para hacer uso de todos los recursos con una correcta implementación en campo.

En esta tercera fase, se comprendió la construcción en sí del sistema, primeramente, la programación de las placas con cada uno de sus parámetros para su correcto funcionamiento, seguido del acople de cada uno de los microcontroladores de cada uno de los sensores, para continuar con la distribución del cable (UTP) con el correcto ensamblaje de los sensores, soldado en cada una de las puntas terminales de estos. También comprende la programación para que los datos sean almacenados en una tabla en AWS y que estos sean representados en un DASHBOARD final.

La cuarta fase del modelo es muy importante, en esta sección se realizan las pruebas respectivas para comprobar el funcionamiento del sistema, se verifica si se almacenan los datos de humedad, PH y luminosidad en la tabla creada en AWS, para los posibles errores presentados, se realizó el ajuste necesario para que estos se almacenen de forma correcta.

En la fase final de mantenimiento Finalmente, se toma en consideración un mantenimiento del sistema cada 3 o 4 meses, se revisa que los datos se sigan almacenando correctamente en AWS, también se verifican que los sensores se encuentren correctamente funcionando y que los dispositivos tanto como microcontrolador y de comunicación inalámbrica sigan en completo funcionamiento.

3.3. Determinación de Stakeholders

Los Stakeholders, son todas las personas, grupos y organizaciones que son implicados en el desarrollo del proyecto, en este caso se considera primeramente el lugar del proyecto de investigación, los investigadores, los docentes y agricultores en general. En la tabla que sigue a continuación se visualizan cada uno de los Stakeholders que se toman en cuenta para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 6

Lista de Stakeholders del proyecto de investigación

Nº	Lista de Stakeholders
1	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Bolívar - San Vicente de Pusir
2	Cosme Julio Chávez – Concejal Rural (Propietario del terreno)
3	Msc. Víctor Caranqui – Director del presente trabajo de titulación
4	Msc. Luis Suarez – Asesor del presente trabajo de titulación
5	Joseth Benavides – Desarrollador del proyecto de investigación
6	Agricultores en general

Fuente: Elaborado por el autor.

3.4. Análisis de la situación actual

La presente investigación se realiza en un terreno propuesto por el docente investigador, en “San Vicente de Pusir”, perteneciente a la provincia del Carchi en Ecuador; se planteó la zona de cultivo.

Se propone lograr una producción eficiente mediante el uso responsable del agua, dado a que actualmente existe un desperdicio significativo de este recurso. Para ello, se plantea la automatización del sistema de riego y la implementación de una solución IoT para el monitoreo y control de las variables que inciden en la producción de *Capsicum annum* y *Phaseolus vulgaris*.

Para las plantas de *Capsicum annum* se planteó específicamente un terreno con un área total de 56m²; mientras que para las plantas de *Phaseolus vulgaris* se planteó una zona específica con un área total de 42m².

En la primera visita al terreno propuesto para el desarrollo de la investigación, el docente plantea un tipo de riego por surco o gravedad, el cual se lo desarrolla de forma manual y utilizando el mismo modelo de riego para los dos cultivos, por lo cual se toma muy en cuenta un sistema que permita el ingreso del agua en días específicos y por un determinado tiempo.

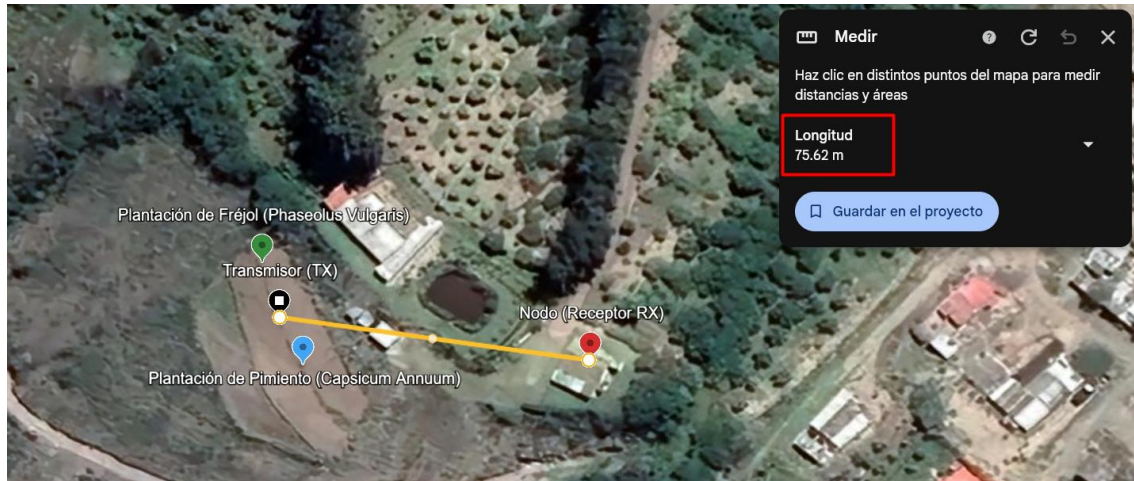
Se recolectan datos relevantes en la zona de los cultivos, para ello se toma muy en cuenta el sembrío con el sistema de riego propuesto, para lo cual se toma en cuenta lo siguiente:

- Las mediciones de terreno en la zona de la investigación.
- La distancia entre el terreno donde salen los datos y la base de destino donde estos llegarán.
- La distancia entre el terreno propuesto para la investigación y el origen de la fuente de agua .

Las figuras que se muestran a continuación indican las distancias entre los sitios que se interconectan inalámbricamente y realizan el intercambio de datos recolectados entre los sensores y el nodo de llegada de estos, para la visualización del usuario final.

Figura 8

Representación de la distancia desde el nodo de los sensores hasta el nodo receptor base en la oficina central

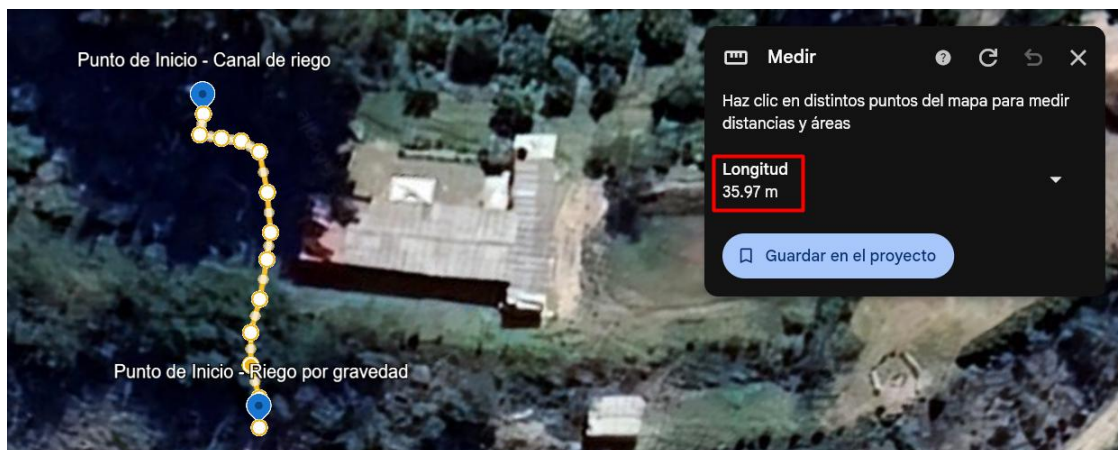


Fuente: Elaborado por el autor.

Se establecen otro punto al tomar en consideración la distancia entre el punto de la fuente del agua, con el punto de origen donde el riego por gravedad inicia, es muy importante considerar que se hizo un canal de riego nuevo anclado desde la fuente, para que el agua pueda llegar al terreno donde se encuentran los cultivos.

Figura 9

Fuente del canal de riego principal hasta el inicio del riego por gravedad



Fuente: Elaborado por el autor.

3.5. Requerimientos del sistema

En el proyecto se establecen los requisitos del sistema para ello consideramos basarse en una nomenclatura la cual se observa en la tabla 7, todos los requerimientos del

sistema y de la arquitectura son considerados en este, es importante considerar las fases de cultivo tanto de pimiento como de fréjol. Es importante considerar como una parte de los requerimientos, la parte agrícola.

Se toma en cuenta los primeros requerimientos como el terreno propuesto, las semillas y las labores agrícolas. En la primera fase del proyecto, primero se considera la preparación del terreno, para el cual toca primero realizar cada uno de los surcos y regar por lo menos por 2 horas para que la tierra esté húmeda, antes de colocar las semillas en el caso del fréjol y la planta en caso del pimiento, para ello se toma en cuenta hacer un agujero de 5cm de espacio para que estas sean plantadas.

Figura 10

Preparación del terreno y riego antes de la plantación



Fuente: Elaborado por el autor.

3.5.1. Nomenclatura de requerimientos

Se establecen los requisitos de Stakeholders, los requerimientos del sistema y de la arquitectura de este, para el desarrollo del prototipo que logre obtener los datos necesarios que involucra la presente investigación que beneficie tanto al *Capsicum annum* como al *Phaseolus vulgaris*. A continuación, en la tabla 7 se definen cada una de

las abreviaturas con su respectiva descripción, mientras que en la Tabla 8, 9 y 10 se establecen cada una de las actividades propuestas con el nivel de prioridad de cada una de estas dependiendo el requerimiento.

Tabla 7

Definición de Acrónimos y Abreviaturas para el proyecto

Acrónimo	Descripción
STSR	Requerimientos de involucrados
SYSR	Requerimientos Funcionales para el sistema
SRSR	Requerimientos de Arquitectura

Fuente: Anónimo

3.5.2. Requerimientos de involucrados y operacionales

Una especificación de requisitos de las partes involucradas se refiere al conjunto de individuos u organizaciones que influyen o se ven afectados por las actividades y decisiones que se tomen. Estas partes interesadas constituyen el entorno clave que permite el funcionamiento integral de todo. Se toma en cuenta cada uno de los requerimientos de uso y como influyen en cada uno de los usuarios.

Tabla 8

Tabla requisitos del usuario

Requerimientos del Usuario (STSR)				
Número	STSR	Prioridad		
	Requerimientos Operacionales	Alta	Media	Baja
STSR 1	El nodo de envío de datos debe estar impermeabilizado debido a que se ubica en el área de los cultivos	X		
STSR 2	El sistema de automatización de la compuerta debe ser impermeabilizado debido a que se encuentra entre la fuente del origen del agua y canal de desvío para el riego por gravedad	X		

STSR 3	Monitoreo del sistema las 24 horas del día, mediante el recibimiento de datos en AWS - Dynamo DB	X		
STSR 4	Sensores tolerantes a factores externos como agua, calor o humedad	X		
STSR 5	Facilidad de uso para un usuario común		X	
STSR 6	Conocimiento de la parte agrícola para los dos cultivos	X		
STSR 7	Conocimiento del sistema de riego por gravedad	X		
STSR 8	Constatación de alertas de verificación de datos	X		
STSR 9	Verificación de datos en un Dashboard final	X		
STSR 10	Ingreso a monitoreo de datos ingresando al Dashboard desde cualquier dispositivo	X		

Fuente: Elaborado por el autor.

3.5.3. Requerimientos del sistema

Estos requerimientos se basan en cumplir cada uno de los objetivos propuestos, basándose en el levantamiento del sistema con cada uno de los componentes que se utilizaron. Además, es importante que el sistema final sea entendible para cualquier tipo de usuario y cumpla con las necesidades de este. Los requerimientos prioritarios del sistema (SYSR), están descritos en la tabla 9 propuesta a continuación.

Tabla 9

Tabla de requerimientos del sistema

Requerimientos del Sistema (SYSR)				
Número	SYSR	Prioridad		
	Requerimientos del sistema	Alta	Media	Baja
SYSR 1	Conexión y acceso a internet del sistema	X		

SYSR 2	Cargadores de voltaje y amperaje específico, implementado en cada uno de los nodos y en el sistema de automatización para la compuerta de riego	X		
SYSR 3	Transmisión inalámbrica entre nodo de cultivos y oficina central	X		
SYSR 4	Segmentación de distancia para comunicación inalámbrica con línea de vista debe ser menor a 10km	X		
SYSR 5	Segmentación de distancia para comunicación inalámbrica interna debe ser menor a 2km	X		
SYSR 6	Manejo del software de Dynamo DB para creación de una tabla para el almacenamiento de datos	X		
SYSR 7	Gateway configurado para la subida de datos a la nube	X		
SYSR 8	Alertas de Telegram para verificación de datos	X		
SYSR 14	Funcionamiento de 24 horas al día del sistema	X		
SYSR 15	El sistema debe ser escalable a cualquier otro tipo de cultivo	X		
REQUERIMIENTOS DE PERFORMANCE				
SYSR 9	El tiempo entre la transmisión y llegada de los datos al nodo central	X		
SYSR 10	Procesamiento de los 16 datos capturados al mismo tiempo desde los puertos análogos	X		
SYSR 11	Almacenamiento de las variables al mismo tiempo cada 20 minutos	X		
SYSR 12	Alimentación para cada uno de los sistemas levantados	X		

SYSR 13	Cableado con UTP (Cat5 y Cat6)		X	
SYSR 14	Unidades de lectura y operaciones de escritura por segundo en Dynamo DB	X		
SYSR 15	Almacenamiento brindado por la tabla de AWS	X		
REQUERIMIENTOS FÍSICOS				
SYSR 16	Cableado con UTP (Cat5 y Cat6)	X		
SYSR 17	Cables ethernet conectados al Gateway para subida de datos a la nube	X		
SYSR 18	Monitor para acceso remoto a la Raspberry	X		
SYSR 19	Extensor de puertos LAN para router	X		
SYSR 20	Base de metal anclada a 1.58 metros del suelo		X	

Fuente: Elaborado por el autor.

3.5.4. Requerimientos de arquitectura

Estos requerimientos de arquitectura definen los elementos físicos y tecnológicos esenciales que conforman el sistema. Para ello se toman en cuenta tanto la parte del hardware como de software que son los que forman parte de nuestra topología. Se tomará en cuenta los requerimientos de esta sección con su respectiva descripción en la tabla 10.

Tabla 10

Tabla de los requerimientos de arquitectura

Requerimientos de arquitectura (SRSH)				
Número	SRSH	Prioridad		
	Requerimientos de arquitectura	Alta	Media	Baja
REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE				
SRSH 1	Compatibilidad con sistemas externos	X		

SRSH 2	Software de código abierto y licencia gratuita	X		
SRSH 3	Soporte de software para las placas		X	
SRSH 4	Soporte de Raspberry para Linux y Raspbian		X	
SRSH 5	Velocidad de procesamiento en la transmisión y recepción de datos	X		
SRSH 6	Manejo del servicio de Dynamo DB para creación de una tabla para el almacenamiento de datos	X		
SRSH 7	Gateway configurado para la subida de datos a la nube	X		
SRSH 8	Configuración de Bot de Telegram para alertas de mensajes	X		
REQUERIMIENTOS DE HARDWARE				
SRSH 9	Conexión inalámbrica garantizada	X		
SRSH 10	Placa microcontroladora que soporte los 16 sensores	X		
SRSH 11	Placas de transmisión inalámbrica que soporte la transmisión de estos datos	X		
SRSH 12	Bajo consumo de energía de todo el sistema	X		
SRSH 13	Distancia de cobertura entre las dos placas de transmisión y recepción deben cubrir más de 100 m	X		
SRSH 14	Conector de VGA a HDMI para la proyección de la placa en el monitor	X		
SRSH 15	Conexiones UTP	X		
SRSH 16	Conexión de extensor de puertos LAN para router	X		

Fuente: Elaborado por el autor.

3.6. Hardware y software destinado para el sistema

La estructura del proyecto que se está desarrollando está subdividida en tres secciones, para ello es importante considerar la primera fase en la cual se destaca en el uso del medidor analógico de humedad, luminosidad y PH, el cual nos ayuda en la obtención de datos de forma manual en los cultivos. La segunda fase incluye los sensores, la comunicación inalámbrica mediante el ESP32 haciendo uso del módulo LoRa y el envío de datos a la nube a una tabla en AWS y sean visualizados en un DASHBOARD. Y la última fase es la automatización del riego, haciendo uso del servomotor y un módulo de reloj para poder abrir y cerrar una compuerta en una hora determinada.

3.6.1 Three Way Meter

El Three-Way Meter es un medidor analógico portátil diseñado para medir tres parámetros fundamentales en suelos agrícolas o de jardinería: humedad del suelo, pH del suelo y niveles de luz solar. Para utilizarlo, se introducen las sondas metálicas en el suelo y se selecciona el modo de medición deseado mediante un interruptor. Este nos ayudará a obtener los primeros datos de forma manual sobre las variables del suelo para los dos cultivos. Se considera una medición de estos parámetros de $n=20$, es decir del número total de plantas se selecciona un número random entre 1 y 20 y a partir de ahí se hará la primera medición, a partir de aquí se toma en cuenta contar en saltos de 20, tomando en cuenta que cada semana se considera un número n de diferente valor para obtener valores diferentes sobre la capacidad del suelo.

Figura 11

Three-Way Soil Meter



Nota: La figura muestra una representación del medidor analógico Three - Way Soil Meter, para la toma de mediciones manuales en el terreno. Obtenido de: <https://indoorplantsupplies.nz/p/three-way-meter-light-moisture-and-ph-soil-tester/>

Tabla 11

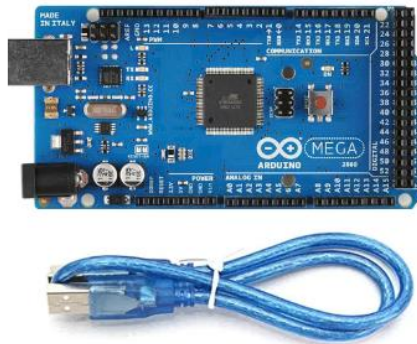
Tabla de características y especificaciones para el Three-Way Soil Meter

Característica	Especificación
Nombre del producto	Three-Way Soil Meter
Funciones	Medición de humedad, pH del suelo y nivel de luz
Fuente de energía	No requiere baterías (operación pasiva)
Rango de humedad	De seco a húmedo (señalado en el dial)
Rango de pH	3.5 a 8 pH
Rango de luz	De nivel bajo a alto (señalado en el dial)
Material de las sondas	Metal resistente a la corrosión
Modo de selección	Interruptor de tres posiciones (Moist / Light / pH)
Longitud de sondas	Aproximadamente 18-20 cm
Aplicaciones	Jardinería, agricultura, viveros, proyectos educativos
Dimensiones aproximadas	26 cm (largo total incluyendo el cuerpo)

Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.1. Microcontrolador Arduino Mega 2560 o ADK

El Arduino Mega 2560 es un microcontrolador diseñado para proyectos que requieren múltiples entradas/salidas digitales y analógicas, ideal para aplicaciones avanzadas de IoT, robótica y automatización. Este microcontrolador nos ayuda para el anclaje de los sensores, debido a que en este microcontrolador se colocaron todos los sensores dispuestos a distribuir en el terreno, para ello utilizamos cada uno de los puertos analógicos para que los datos puedan ser procesados y lleguen a su destino.

Figura 12*Arduino MEGA 2560*

Nota. La figura representa al microcontrolador Arduino MEGA 2560. Fuente: Obtenido de: <https://megatronica.cc/producto/arduino-mega-2560-cable/>

Tabla 12*Tabla de características y especificaciones del microcontrolador ATmega2560*

Característica	Especificación
Microcontrolador	ATmega2560
Arquitectura	AVR de 8 bits
Frecuencia de reloj	16 MHz
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 V
Voltaje de entrada (límites)	6-20 V
Memoria flash	256 KB (8 KB usados por el gestor de arranque)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Pines digitales I/O	54 (15 con PWM)
Pines analógicos	16

Corriente máxima por pin I/O	20 mA
Corriente máxima para el pin 3.3 V	50 mA
Interfaces de comunicación	UART (4), I2C, SPI
Pin de interrupciones externas	6 (pines 2, 3, 18, 19, 20, 21)
Conector USB	Tipo B
Regulador de voltaje	Sí
Dimensiones	101.52 mm x 53.3 mm
Peso	Aproximadamente 37 g
Compatibilidad de alimentación externa	Jack de barril (positivo al centro) y pin Vin

Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.2. LILYGO T3 v1.6.1 LoRa 32 (868/915 MHz)

La LilyGO T3 v1.6.1 LoRa 32 (868/915 MHz) es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ESP32, que combina capacidades de conectividad Wi-Fi, Bluetooth y tecnología LoRa (Long Range). En el proyecto de investigación esta placa se utiliza tanto de emisor, como receptor; para que exista esa comunicación inalámbrica haciendo uso del módulo LoRA a una frecuencia de 915 MHz ya que los datos son transmitidos desde el terreno, para ser recibidos en el nodo ubicado en la oficina principal.

Figura 13

LILYGO T3 v1.6.1 LoRa 32 (868/915 MHz)



Nota. La figura muestra una representación del microcontrolador para la comunicación inalámbrica el cual tiene el módulo LoRa con el que se va a desarrollar la comunicación Inalámbrica. Obtenido de: <https://meshtastic.org/docs/hardware/devices/lilygo/lora/>

Tabla 13

Tabla de características y especificaciones del microcontrolador LILYGO T3

Característica	Especificación
Microcontrolador	ESP32 (dual-core, arquitectura Xtensa LX6 de 32 bits)
Frecuencia de reloj	Hasta 240 MHz
Memoria flash	4 MB
RAM	520 KB
Módulo LoRa	SX1276 (frecuencias de 868/915 MHz)
Protocolos LoRa compatibles	Lora WAN y modulación FSK
Alcance de LoRa	Hasta 10 km en condiciones ideales
Antena LoRa	Incluída (conector IPX o externo)
Conectividad inalámbrica	Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth 4.2
Pines GPIO disponibles	25
Interfaz de comunicación	UART, I2C, SPI, ADC, DAC
ADC (convertidor analógico-digital)	18 canales, resolución de 12 bits
DAC (convertidor digital-analógico)	2 canales, resolución de 8 bits
Voltaje de operación	3.3 V
Voltaje de entrada (alimentación)	5 V por USB-C o batería LiPo (con conector JST de 2 pines)
Gestión de batería	Circuito integrado para carga de batería LiPo
Dimensiones	51 mm x 25 mm
Peso	Aproximadamente 10 g
Pantalla integrada	Opcional, depende de la versión (normalmente OLED 0.96" con resolución de 128x64)
Conector USB	USB-C
LEDs integrados	1 LED programable
Soporte de desarrollo	Compatible con Arduino IDE, PlatformIO y ESP-IDF

Memoria externa soportada	MicroSD (mediante pines GPIO, no integrada en la placa)
---------------------------	---

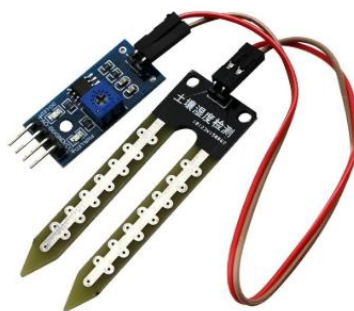
Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.3. Sensor de Humedad YL-69

El sensor YL-69 es un dispositivo ampliamente utilizado para medir la cantidad de humedad presente en el suelo. Es especialmente popular en proyectos de agricultura inteligente y riego automatizado, ya que permite obtener datos sobre las condiciones del suelo. Estos son utilizados para medir la humedad relativa del suelo tanto de cultivos de *Capsicum annuum* (Pimiento) como de *Phaseolus vulgaris* (Fréjol) y mediante la sonda metálica clavada al suelo se recolectan los datos necesarios para hacer el análisis de estos.

Figura 14

Sensor de humedad YL-69



Nota: La figura muestra el sensor de humedad para el suelo YL-69. Fuente: Obtenido de: <https://tezla.com.pe/product/modulo-sensor-humedad-de-suelo-yl-69/>

Tabla 14

Tabla de características y especificaciones del sensor de humedad YL-69

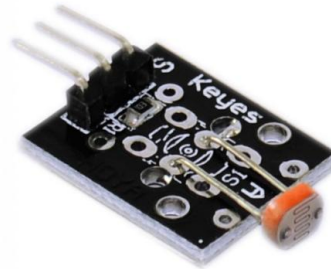
Característica	Especificación
Nombre	YL - 69
Tipo de sensor	Sensor de humedad del suelo
Composición	Consta de una sonda de detección (YL-69) y un módulo amplificador (YL-38)
Voltaje de operación	3.3V – 5V
Corriente de operación	<20 mA

Salida analógica	0 -1023 en microcontroladores con ADC de 10 bits
Salida digital	Ajustable mediante potenciómetro en el módulo
Resistencia al agua	Resistente al contacto con el suelo húmedo, pero no sumergible (solo la sonda)
Dimensiones del sensor (YL-69)	60 mm x 20 mm
Dimensiones del módulo (YL-68)	30 mm x 15 mm
VCC	Alimentación
GND	Tierra
A0	Salida analógica
D0	Salida digital
Material de la sonda	Metálico, pone a corrosión si se utiliza en suelos altamente húmedos durante largos períodos
Compatibilidad	Compatible con Arduino, Raspberry Pi y otros microcontroladores
Ajuste de sensibilidad	Potenciómetro integrado en el módulo YL-38

Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.4. Sensor Foto Resistor (KY-018)

El sensor KY-018 Foto-resistor es un módulo de detección de luz que utiliza una resistencia dependiente de la luz (LDR, por sus siglas en inglés: Light Depend Resistor) para medir la intensidad de la luz ambiental. Es ampliamente utilizado en proyectos de electrónica y robótica para aplicaciones como detección de luz, sistemas de iluminación automática y monitoreo ambiental. Se lo utiliza para medir la intensidad luz ambiental del terreno, en este caso como se encuentran los dos cultivos en el mismo sector, solo es necesario utilizar un Sensor Foto Resistor. Cuando la luz ambiental es mayor, la resistencia del sensor es alta por lo que emite un voltaje más pequeño entonces el valor se ajustará a 0, mientras que cuando la luz es mayor la resistencia del foto-resistor disminuye, entonces el valor aumenta.

Figura 15*Sensor Foto Resistor (KY-018)*

Nota: La figura muestra una representación física del Foto Resistor (KY-018). Obtenido de: <https://uelectronics.com/producto/sensor-foto-resistor-ky-018/>

Tabla 15*Tabla de características y especificaciones del sensor-foto resistor KY-018*

Característica	Especificación
Modelo	KY-018
Tipo de sensor	Foto resistencia (LDR: Light Dependent Resistor)
Rango de voltaje de operación	3.3V a 5V DC
Corriente de operación	Menor a 1 mA
Salida	Señal analógica
Comportamiento ante la luz	Disminuye su resistencia cuando aumenta la luz
Material de la LDR	Sulfuro de cadmio (CdS)
Valor típico de resistencia	- Baja resistencia en oscuridad: 1 MΩ aprox.
	- Alta resistencia con luz intensa: 1 KΩ aprox.
Dimensiones del módulo	Aproximadamente 18 mm x 15 mm x 8 mm
Temperatura de operación	-30°C a +70°C
Aplicaciones típicas	Medición de luz ambiental, control de iluminación, alarmas sensibles a la luz

Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.5. PH-4502C Sensor de PH con Sonda en Modulo para Arduino PH-7BNC

El PH-4502C es un sensor de pH que incluye una sonda y un módulo adaptador diseñado para medir la acidez o alcalinidad de líquidos o en del suelo. Este sensor nos ayuda en la medición de PH del suelo, debido a que es importante que este se mantenga estable para que las plantas puedan crecer y la producción sea buena. Este tiene un rango de medición de 0 a 14, en el que se verifica si es neutro con un valor de $\text{PH}=7$; si es ácido con un valor $\text{PH}<7$ o si el suelo es alcalino con un $\text{PH}>7$.

Figura 16

Sensor PH-4502C



Nota: La figura muestra el sensor de medición de PH con sonda para Arduino (PH-4502C). Obtenido de: <https://tdelectronica.com/sensores/ph-4502c-sensor-ph/>

Tabla 16

Tabla de características y especificaciones del sensor PH-4502 C

Característica	Especificación
Modelo	PH-4502C
Tipo de sensor	Sensor de pH con sonda tipo electrodo y módulo amplificador
Voltaje de operación	5V DC
Corriente de operación	5-10 mA
Rango de medición de pH	0 a 14 pH
Salida	Señal analógica (0 V a ~5 V)
Voltaje de referencia para pH 7	Aproximadamente 2.5 V

Precisión típica	± 0.1 pH (requiere calibración)
Material de la sonda	Vidrio resistente químicamente
Conector de la sonda	BNC
Ajustes disponibles en el módulo	- Potenciómetro para calibración de offset
Dimensiones del módulo	42 mm x 32 mm x 15 mm aproximadamente
Temperatura de operación	0°C a 60°C
Tiempo de respuesta	Menor a 1 minuto
Aplicaciones típicas	Medición de pH en agua, soluciones químicas, cultivo hidropónico, agricultura en medición de PH del suelo (mezclado con agua)

Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.6. Módulo de reloj (DS1302)

El módulo de reloj DS1302 es un dispositivo de tiempo real (RTC, Real Time Clock) utilizado para llevar un registro constante de la hora y la fecha, incluso cuando no está alimentado. El DS1302 sirve principalmente para aplicaciones donde es importante registrar o controlar eventos basados en tiempo, como alarmas, data loggers, sistemas de riego automático, relojes digitales y automatización de procesos. Nos permite programar que suceda un evento específico y con ayuda del microcontrolador, permite el movimiento del servomotor para que pueda abrir y cerrar una compuerta en tiempos determinados.

Figura 17

Módulo de reloj (DS1302)



Nota: La figura muestra el módulo de reloj (DS1302), para marcar la hora y fecha actual. Obtenido de: <https://novatronicec.com/index.php/product/modulo-de-reloj-ds1302-real-time/>

Tabla 17

Tabla de características y especificaciones del módulo de reloj DS1302

Característica	Especificación
Modelo	DS1302
Tipo	Reloj de tiempo real (RTC)
Voltaje de operación	2.0V a 5.5V DC
Consumo de corriente	Menos de 300 nA con batería
Interfaz de comunicación	Serie (tres hilos: CE, I/O, SCLK)
Datos almacenados	Segundos, minutos, horas, día, fecha, mes, año (y año bisiesto)
Memoria adicional	31 bytes de RAM estática integrada
Batería de respaldo	Batería tipo botón CR2032 (o similar)
Precisión	± 1 minuto por mes (sin calibración externa)
Dimensiones del módulo	Aproximadamente 38 mm x 22 mm
Temperatura de operación	-40°C a +85°C

Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.7. Servomotor MG 995

El servomotor MG995 Digi High Torque es un motor de corriente continua con sistema de control interno, diseñado para moverse a posiciones específicas con gran fuerza y precisión. El MG995 sirve principalmente para mover mecanismos que requieren alta fuerza de tracción, como brazos robóticos, ruedas motorizadas, compuertas, o sistemas de dirección de robots móviles. En este proyecto es utilizado en la parte de automatización de riego, para lo cual se configura en conjunto con el módulo de reloj y el microcontrolador, para que este gire a la izquierda en un tiempo de hora determinado y al pasar 30 minutos de este, vuelva a girar a su posición inicial para cerrar la compuerta.

Figura 18*Servomotor MG 995*

Nota: La figura muestra el servomotor MG 995 Di High Torq, el cual tiene un giro de 360°. Obtenido de:

<https://grupoelectrostore.com/shop/motores/servomotores/servomotor-tower-pro-mg995-11-kg-cm-standard-360/>

Tabla 18*Características y especificaciones del servomotor MG 995*

Característica	Especificación
Modelo	MG995 Digi High Torque
Tipo	Servomotor de rotación limitada ($\pm 90^\circ$ aprox.)
Voltaje de operación	4.8V a 7.2V DC
Torque máximo	8.5 kg·cm a 6V DC
Velocidad de operación	0.2 segundos/60° a 6V DC
Ángulo de rotación	0° a 180° (controlado por señal PWM)
Material de engranajes	Metal
Corriente de operación	500 mA típica, hasta 2.5 A pico
Tipo de conector	3 pines (VCC, GND, Señal PWM)
Dimensiones	40.7 mm × 19.7 mm × 42.9 mm
Peso	Aproximadamente 55 gramos
Temperatura de operación	-30°C a +60°C

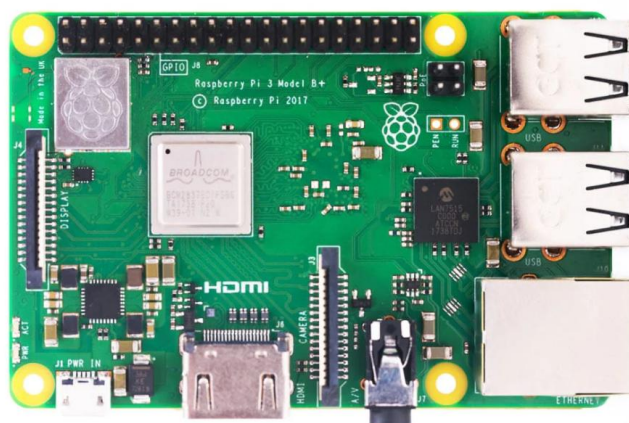
Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.6. Raspberry Pi 3B+

La Raspberry Pi 3B+ es una minicomputadora que sirve para desarrollar una gran variedad de proyectos como servidores domésticos, estaciones de juegos retro, automatización del hogar, sistemas de monitoreo, estaciones meteorológicas y proyectos de IoT (Internet de las Cosas). Gracias a sus capacidades de conectividad, puede integrarse fácilmente en redes locales o en la nube. Esta sirve como un Gateway, el cual nos permite subir los datos recibidos por la Lilygo T3, a la nube para que estos puedan ser almacenados en una tabla en AWS.

Figura 19

Raspberry Pi 3B+



Nota. La figura muestra el microcontrolador Raspberry PI 3B+. Obtenido de: https://thepihut.com/cdn/shop/products/raspberry-pi-3-model-b-raspberry-pi-sc0073-14879273123902_1000x.jpg?v=1646249780

Tabla 19

Características y especificaciones de la Raspberry PI3B+

Característica	Especificación
Modelo	Raspberry Pi 3 Model B+
Procesador	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit, 4 núcleos a 1.4 GHz
Memoria RAM	2 GB LPDDR2
Almacenamiento	MicroSD (no incluida)
Conectividad Wi-Fi	802.11 b/g/n/ac (2.4GHz y 5GHz)

Conectividad Bluetooth	Bluetooth 4.2 BLE
Ethernet	10/100 Mbps sobre USB 2.0 (mejorado respecto a modelos anteriores)
Puertos USB	4 puertos USB 2.0
Salida de video	HDMI y MIPI DSI
Salida de audio	Jack 3.5 mm estéreo y audio sobre HDMI
GPIO	40 pines (compatible con modelos anteriores)
Alimentación	Micro-USB 5V/2.5A
Dimensiones	85.6 mm × 56.5 mm × 17 mm
Peso	50 g aproximadamente
Temperatura de operación	0°C a 50°C

Fuente: Anónimo.

3.6.7. LCD 16x2 con módulo I2C

La LCD 16x2 es una pantalla de cristal líquido que puede mostrar hasta 16 caracteres por cada una de sus dos líneas, por lo que es ideal para mostrar texto o información de manera sencilla. Este tipo de pantalla se controla generalmente a través de un conjunto de pines, permitiendo la comunicación con microcontroladores como el Arduino mediante protocolos como I2C o conexión paralela. Para el proyecto, este es utilizado en la fase 3 de automatización de riego, permitiendo reflejar la hora del módulo DS1302, debido a que es necesario ver la hora y fecha correcta para establecer el tiempo determinado de movimiento del servomotor para levantar o cerrar la compuerta.

Figura 20

LCD 16x2 con módulo I2C



Nota: La figura muestra la LCD de 16X2 para la muestra de la hora y fecha establecida. Obtenido de: <https://tecmikro.com/led-lcd/351-lcd-16x2-i2c.html>

Tabla 20*Tabla de características y especificaciones del LCD 16X2 con I2C*

Característica	Especificación
Tipo de pantalla	LCD (Cristal Líquido)
Tamaño de la pantalla	16 caracteres por 2 líneas
Tecnología de control	Controlador HD44780 (común)
Alimentación	5V (típico)
Interfaz de conexión	Paralela (8 o 4 bits), I2C (con módulo adaptador)
Brillo y contraste	Ajustable mediante un potenciómetro en algunos modelos
Tipo de visualización	Texto (caracteres alfanuméricos, símbolos básicos)
Consumo de energía	Bajo, típicamente 1.5-2.5 mA (sin retroiluminación)
Retroiluminación	Opcional (con un LED de retroiluminación en algunos modelos)
Dimensiones	Aproximadamente 80mm x 36mm x 13mm

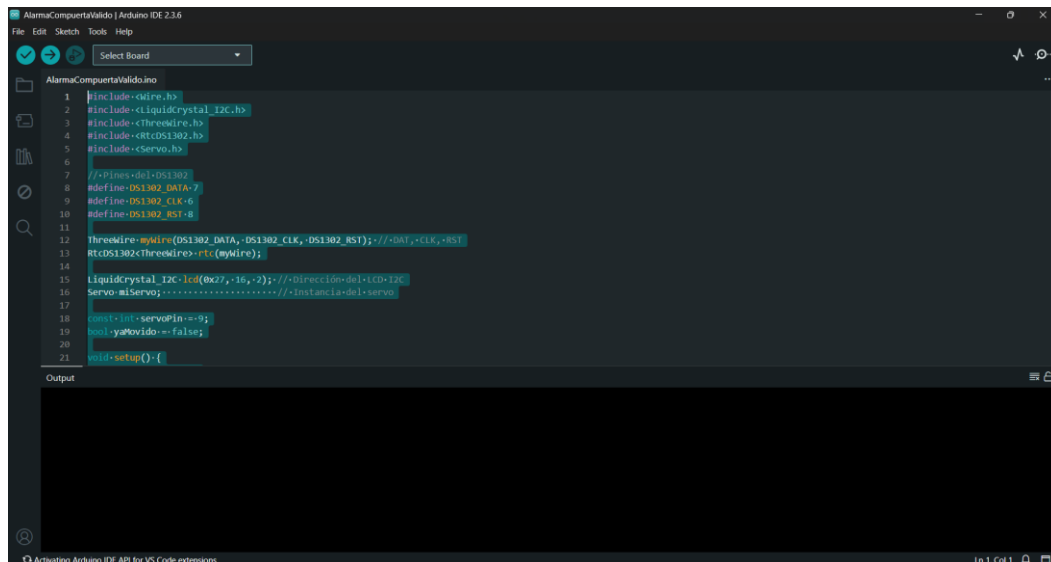
Fuente: Elaborado por el autor.**3.6.7. Software de Arduino Uno**

El software de Arduino es una plataforma de programación de código abierto diseñada para facilitar la escritura, compilación y carga de programas (sketches) en diversas placas. El entorno proporciona una interfaz sencilla y amigable para los usuarios, incluso para principiantes en electrónica y programación. Utiliza un lenguaje basado en C/C++, simplificado para que sea más accesible. Gracias a su estructura clara, permite la rápida creación de proyectos interactivos y automatizados. Este nos ayuda para diversas que implementaremos en el sistema. Primeramente, se desarrolla el código para la parte del transmisor, tanto para el Arduino Mega para el anclaje de todos los sensores que se utilizan, como para la placa Lilygo T3 que sirve para el envío de datos. En la parte del receptor, de igual manera se crea el código y se lo carga para la Lilygo T3 (receptora),

para luego hacer el uso de la Raspberry PI 3B+ para la subida de los datos a AWS. Finalmente se utiliza en la parte de la automatización de riego en la compuerta, para poder controlar un servomotor que se abra y cierre en una hora específica haciendo uso de un módulo DS 1302.

Figura 21

Arduino IDE



Nota: La figura muestra el entorno de desarrollo integrado de Arduino. Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 21

Tabla de características y especificaciones de Arduino IDE

Característica	Especificación
Nombre	Arduino IDE
Tipo	Entorno de Desarrollo Integrado (IDE)
Lenguaje de programación	Basado en C y C++
Compatibilidad de sistemas	Windows, macOS, Linux
Licencia	Código abierto (GNU General Public License)
Funciones principales	Escritura, verificación, compilación y carga de código

Interfaz de usuario	Simple, intuitiva y amigable para principiantes
Soporte de placas	Arduino Uno, Mega, Nano, Leonardo, entre otras
Extensiones y librerías	Amplio catálogo disponible para sensores y módulos
Última versión estable	Arduino IDE 2.x (con editor mejorado y depurador)

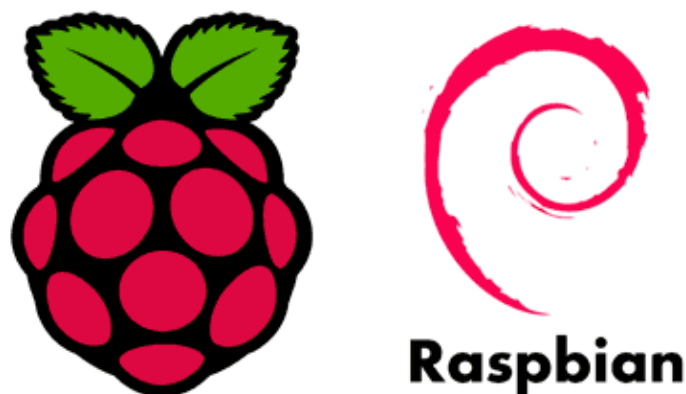
Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.8. Software de Raspberry

El software de Raspberry Pi hace referencia al sistema operativo y las herramientas que permiten que la placa Raspberry Pi funcione correctamente. Usa una distribución basada en Debian diseñada específicamente para las placas Raspberry Pi. Ofrece soluciones accesibles y versátiles para una amplia gama de proyectos de hardware y software. Este software es importante para ser instalado en la placa que se utiliza en este caso la Raspberry PI 3B+, debido a que es necesario que tenga el sistema operativo (Debian) para la descarga de todos los complementos necesario y que funcione como Gateway de subida de datos a la nube.

Figura 22

Raspberry con integración de lenguaje Raspbian



Nota: La figura muestra el logotipo de Raspberry con lenguaje de programación Raspbian. Obtenido de: <https://www.luisllamas.es/instalar-raspbian-en-raspberry-pi-con-etcher/>

Tabla 22*Tabla de características y especificaciones del software Raspberry*

Característica	Especificación
Sistema operativo base	Basado en Debian
Interfaz gráfica	Entorno de escritorio LXDE (Lightweight X11 Desktop Environment)
Compatibilidad de software	Compatible con Python, Scratch, Java, C, C++, entre otros
Herramientas preinstaladas	LibreOffice, Chromium, Python, VLC, Thonny, Git, entre otros
Soporte de hardware	Compatible con Raspberry Pi 4, 3B+, Zero, y otros modelos de Pi
Gestor de paquetes	APT (Advanced Packaging Tool) para instalar software adicional
Interfaz de programación	Terminal de comandos y acceso a herramientas de desarrollo como Python
Conectividad	Soporte para Wi-Fi, Ethernet y Bluetooth (dependiendo del modelo)

Fuente: Elaborado por el autor.**3.6.9. AWS (Amazon Web Service)**

AWS (Amazon Web Service) es una plataforma de servicios en la nube ofrecida por Amazon, que proporciona una amplia gama de soluciones informáticas escalables y de bajo costo. AWS se utiliza principalmente para alojar sitios web, aplicaciones móviles, gestionar bases de datos en la nube, procesar grandes volúmenes de datos y ejecutar máquinas virtuales, entre otros. Esta ayuda en el almacenamiento de datos, debido a que una vez que los datos se están recibiendo en la Lilygo T3 receptora, estos datos pasan por la Raspberry PI 3B+, para que mediante peticiones HTTP, cada una de las variables son almacenadas en la tabla en AWS, en un servicio que nos ofrece llamado Dynamo DB.

Figura 23*Amazon Web Service*

Nota: La figura muestra el logotipo de Dynamo DB para la creación de tablas para el almacenamiento de datos, perteneciente a la plataforma AWS. Obtenido de: <https://abiabi0707.medium.com/overview-of-aws-dynamodb-844bf943f209>

Tabla 23*Tabla de características y especificaciones de AWS*

Característica	Especificación
Servicios principales	Computación (EC2), almacenamiento (S3), bases de datos (RDS), etc.
Modelo de pago	Pago por uso (Pay-as-you-go)
Escalabilidad	Escalabilidad automática para manejar cargas variables
Seguridad	Servicios como IAM (Identity and Access Management) para control de acceso
Ubicación de los servidores	Global, con centros de datos en múltiples regiones del mundo
Integración con otras plataformas	Compatible con herramientas y servicios de Google Cloud, Microsoft Azure, etc.
Redundancia y disponibilidad	Alta disponibilidad y redundancia en múltiples regiones

Automatización	Herramientas como AWS Cloud Formation para gestionar infraestructuras automatizadas
Soporte de inteligencia artificial	Servicios como AWS SageMaker para crear modelos de IA y ML
Interfaz de usuario	Consola web, CLI (Command Line Interface) y SDKs en varios lenguajes

Fuente: Elaborado por el autor.

3.7. Topología de red

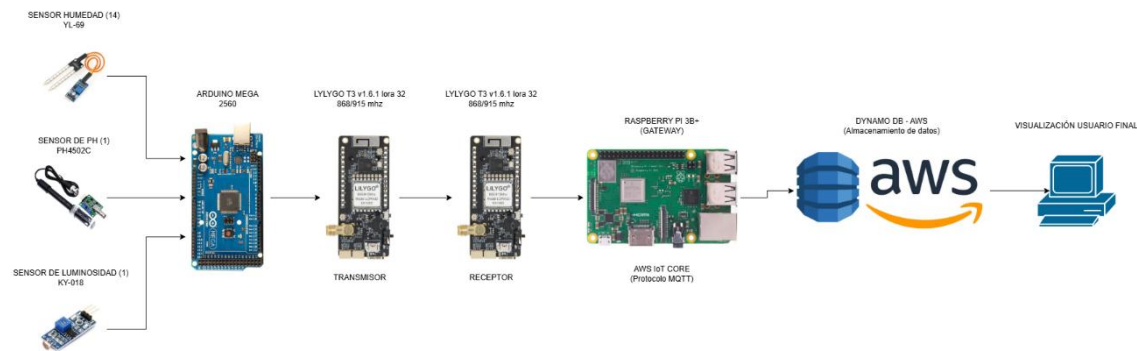
La topología del proyecto se centra en la implementación de un sistema de monitoreo en cultivos de pimiento y fréjol para optimizar las condiciones de crecimiento mediante el análisis de datos clave: humedad, luminosidad y pH del suelo. Para ello, se despliegan sensores específicos por cada una de las variables: 14 sensores (YL-69), 1 sensor (KY-018) y 1 sensor de PH con sonda (PH:4502 C) en diferentes surcos del terreno, cada uno conectado a un microcontrolador ESP32. Estos nodos recopilan información de forma constante y se procesan para transmitirse utilizando módulos LoRa, una tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance y bajo consumo energético, ideal para zonas rurales o extensas donde el acceso a una red convencional es muy limitado. Donde cada nodo ESP32 equipado con LoRa transmite los datos recolectados hacia un nodo central o Gateway. El receptor, también basado en un ESP32 con un módulo LoRa, es responsable de recibir las señales de los nodos sensores distribuidos en los cultivos. Posteriormente, el Gateway utiliza su conectividad Wi-Fi integrada para enviar los datos recopilados a un servidor en la nube, también haciendo uso de una configuración correcta con una Raspberry PI 3B+ la cual ayudará en su función de Gateway, para el almacenamiento de los datos en la tabla creada en Dynamo DB.

En la nube, los datos se almacenan en una tabla creada para Dynamo DB en AWS. El procesamiento en la nube permite organizar los datos en tiempo real y hacerlos accesibles para los usuarios a través de un Dashboard. Las personas pueden acceder a estos datos desde cualquier dispositivo con conexión a internet, lo que facilita la toma de decisiones oportunas y basadas en información precisa.

Este sistema de monitoreo permite tener un mayor control de las variables de riego por surcos, logrando que las personas tomen mejores decisiones para los cultivos optimizando el recurso del agua sin que esta sufra desperdicio excesivo. Además, la modularidad de la topología permite la incorporación o el cambio de nuevos sensores si se amplían las áreas de cultivo o se requieren medir parámetros adicionales. Al integrar tecnología IoT y LoRa, el proyecto ofrece una solución eficiente, escalable y moderna para la gestión inteligente de cultivos, adaptándose a las necesidades actuales de la agricultura de precisión.

Figura 24

Diseño de topología para el sistema propuesto



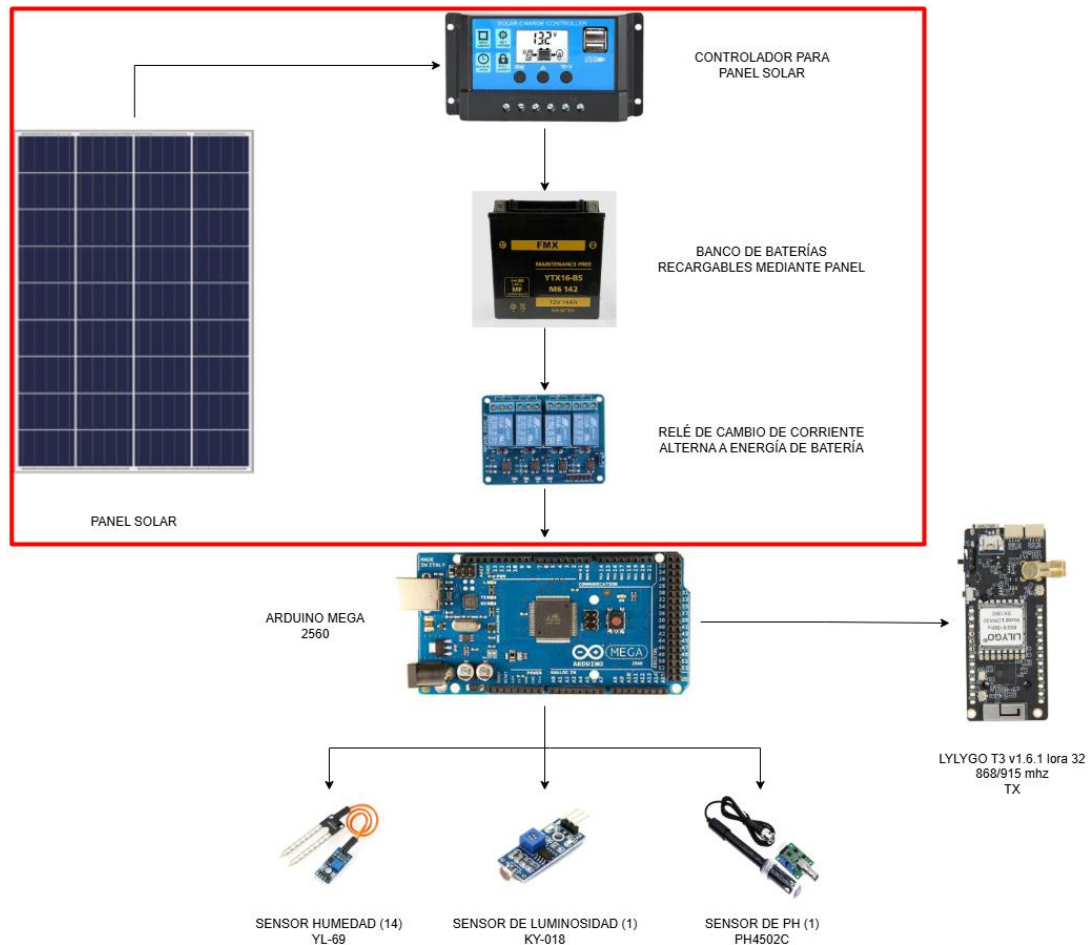
Fuente: Elaborado por el autor.

3.7.1. Topología proyectada para la alimentación independiente del sistema

Para el proyecto se considera una fuente de alimentación externa para el sistema, pero de forma proyectada. Esto se toma en consideración, debido a que en la zona donde se despliega el sistema, no se ha sufrido apagones masivos ni pérdidas de energía, por lo que el sistema externo de alimentación queda solo proyectado en el caso de la topología principal. Se tiene muy a consideración el uso del recurso solar, debido a las altas temperaturas que existen en esta zona. A continuación, en la siguiente figura se observa la proyección de la alimentación del sistema con panel solar y una batería que permita alimentar energéticamente el sistema.

Figura 25

Diseño de topología de proyección para el sistema de alimentación independiente



Fuente: Elaborado por el autor.

3.7.2. Diagrama circuital del sistema

El diseño del diagrama circuital de este proyecto es fundamental porque garantiza la correcta integración de los sensores, microcontroladores ESP32 y módulos LoRa en el sistema de monitoreo agrícola. Cada nodo incluye una placa principal, en el caso del transmisor se conecta un Arduino 2560 conectado a sensores analógicos, para medir humedad del suelo, pH y luminosidad. En el diagrama, se observa cómo los sensores se conectan a los pines de entrada analógicos y digitales del Arduino. Además, se incluye una fuente de alimentación regulada para suministrar el voltaje adecuado tanto a los sensores como para el microcontrolador.

Asimismo, el diagrama circuital en los cultivos incluye el microcontrolador ESP32 con módulo LoRa incluido, para poder hacer el envío de datos desde la sección de

cultivos. En el receptor se hace uso de el mismo microcontrolador, pero como receptor. El Gateway, representado en el diagrama circuital, combina la Lilygo T3 receptora, con una Raspberry PI 3B+ para la recepción de datos. El sistema de recepción está conectado a un router Wi-Fi con extensor de puertos LAN, debido a que los puertos del router en sí no son los suficientes para solventar todos los puertos que son necesarios.

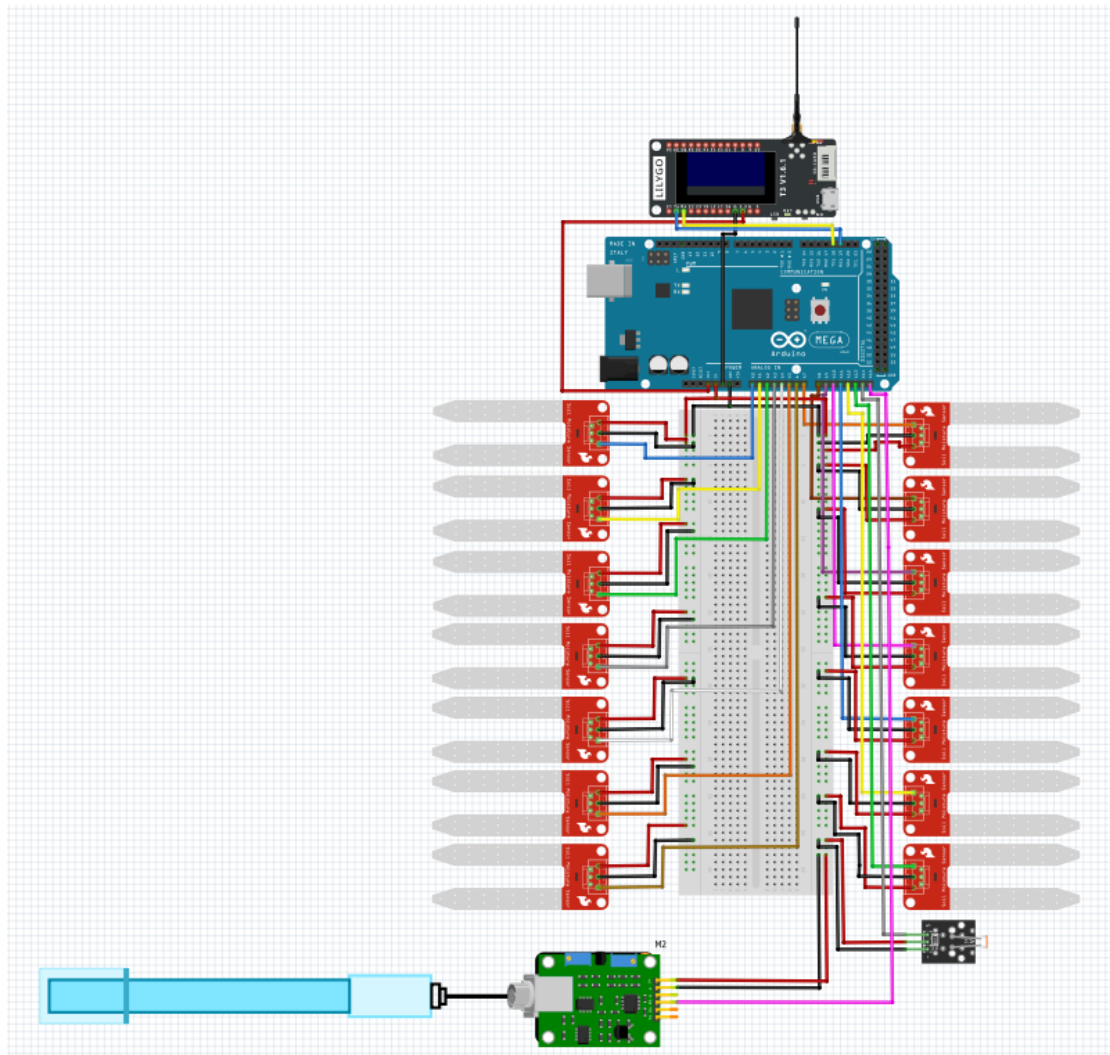
De igual forma se toma en cuenta un diagrama circuital para el caso del nodo en la oficina, en donde se reciben cada uno de los datos. Se tiene que considerar la entrada de datos haciendo uso de una Lilygo T3 receptora, en conjunto con una Raspberry PI 3B+ que sirve como Gateway para almacenar los datos en una tabla en AWS. El sistema de recepción está conectado a un router Wi-Fi con extensor de puertos LAN, debido a que los puertos del router en sí no son los suficientes para solventar todos los puertos que son necesarios.

3.7.2.1. Diagrama circuital en cultivos

El diagrama circuital del cual se hace referencia en esta sección se basa en la parte de la ubicación del nodo en los cultivos tanto de pimiento como de fréjol, para lo cual tenemos la misma distribución para los dos lugares en los que se está trabajando con el proyecto. Para ello se procede a colocar correctamente cada uno de los sensores de humedad en las filas pertinentes de las cuales se tomará los datos correspondientes a la humedad y uno solo que se encargue de tomar datos de PH del suelo y Luminosidad.

Figura 26

Diseño del diagrama circuital para el nodo en los cultivos



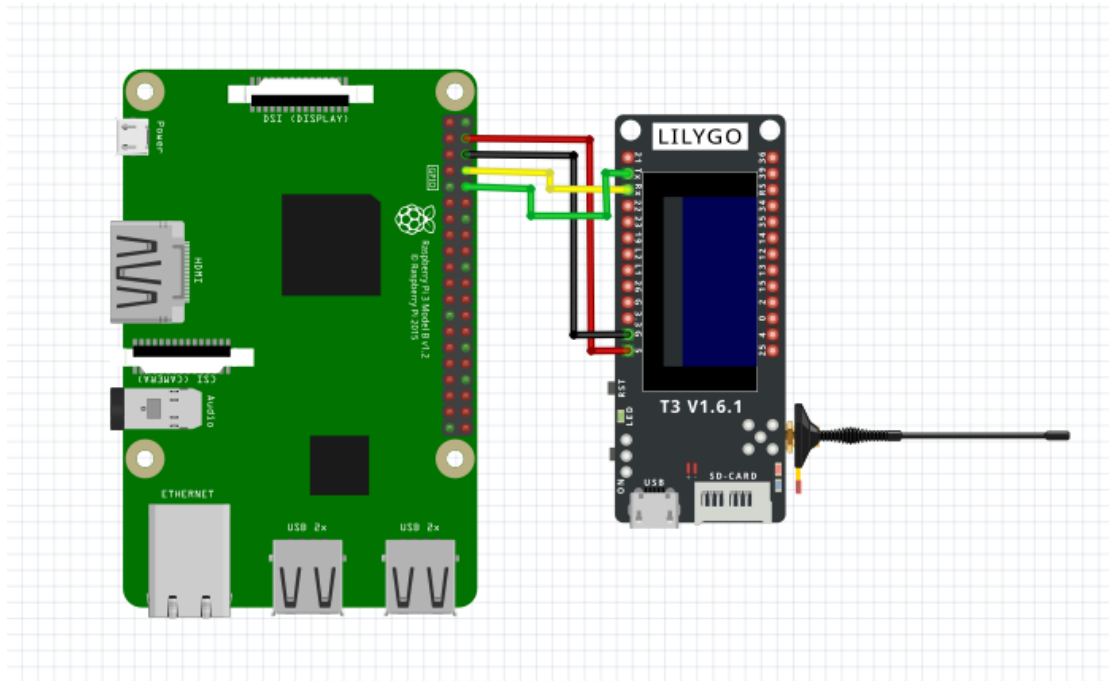
Fuente: Elaborado por el autor.

3.7.2.2. Diagrama circuital en nodo

En el caso del diagrama circuital para marcar la parte del nodo, este se basa en la utilización de un ESP32 con módulo LoRA, para llevar a cabo la recepción de los datos enviados por el primero, pero de forma inalámbrica. Con ayuda de una Raspberry se procede a establecer la correcta programación para el Gateway, el cual ayuda a almacenar los datos en la nube, en este caso se almacenarán en AWS, haciendo uso de peticiones HTTP, para finalmente establecer un Dashboard en el que las personas puedan visualizar detalladamente los valores que toman de cada uno de estos sensores.

Figura 27

Diseño del diagrama circuital del nodo receptor para la oficina



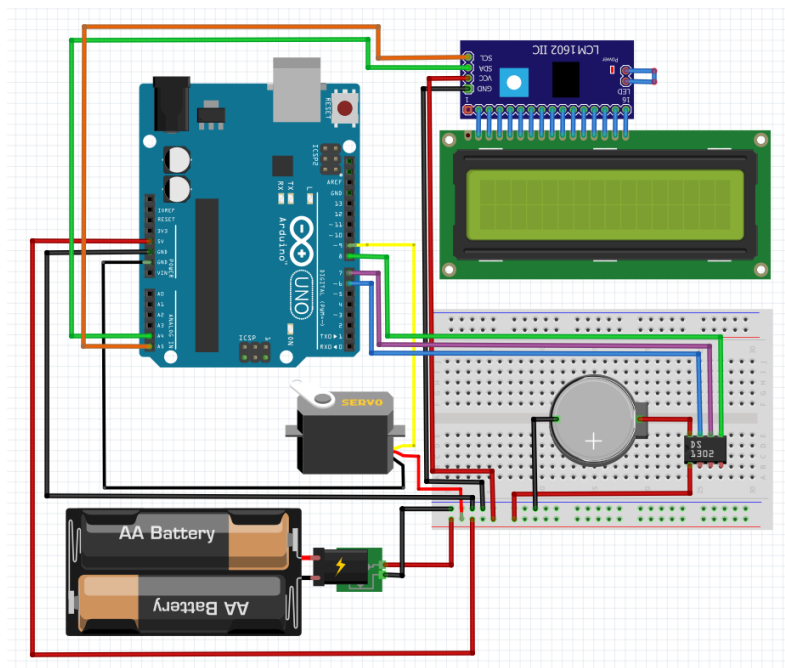
Fuente: Elaborado por el autor.

3.7.2.3. Diagrama circuital automatización de la compuerta

Se realiza el diseño del diagrama circuital del sistema para la parte de la automatización de la compuerta para el riego, debido a que este se lo hacía de forma manual y muchas veces demandaba de demasiado tiempo, por lo cual mediante el uso de un Arduino Uno, un módulo de reloj, una LCD 16x2 y un servomotor, se establece una hora determinada para que el servomotor gire hacia un lado permitiendo abrir la compuerta y al transcurrir media hora de riego se cierre, este evento ocurre todos los días a la misma hora establecida.

Figura 28

Diseño del diagrama circuital para la automatización de la compuerta de riego



Fuente: Elaborado por el autor.

3.8. Toma de datos con Three – Way Soil Meter

La primera fase del desarrollo del proyecto consta de la toma de los datos, pero de forma manual, para lo cual se utiliza el medidor analógico Three – Way Soil Meter, el cual presenta 3 modos de medición dependiendo de donde se coloque el modo con el botón deslizador. El primer modo indica la humedad, el cual presenta un valor entre el 1 representando a lo más seco y 10 representando lo más húmedo en el suelo. Si el deslizador se coloca en el modo 2, permitirá medir la luminosidad del terreno, en este caso como se tratan los cultivos en un espacio abierto, la luminosidad siempre obtendrá el valor más alto. En el modo 3 se puede medir el pH del suelo, siendo 8 el número ideal para un suelo alcalino, es decir que este es bueno para el tratamiento de los cultivos. Para empezar con las mediciones, se debe clavar al suelo los dos electrodos, para los cuales se recomienda primero pasar una guía que permita abrir paso al medidor para que esto no se rompan o sufran torceduras por aplicación excesiva de fuerza. Para la toma de estos datos se toma un número de saltos de $n=20$, esto quiere decir que primero se solicita en Excel un número random entre 1 y 20, el cual representa el número de la primera planta que se va a tomar en cuenta para la medición. Una vez se ha tomado la muestra de la primera planta, se hace un salto de 20 en 20 para seguir con las siguientes mediciones. En la

siguiente figura se indica la medición de cada una de las variables en cada una de las plantas, dependiendo el número asignado al inicio.

Figura 29

Medición en el cultivo de pimiento con el Three - Way Meter



Fuente: Elaborado por el autor

Una vez que se obtienen las variables de humedad, luminosidad y pH del suelo para las plantas específicas, se procede a hacer la medición de la altura de la planta y el conteo del número de hojas para esa semana. Una vez se finaliza con estos datos se deben anotar en una tabla de medición de variables cada uno de los datos tomados por el estudiante.

Tabla 24

Tabla de variables para la medición de variables con Three-Way Soil Meter

Nº SEMANA	Fecha	Nº Muestra	Altura planta	Nº de Hojas	Nº de Frutos	MOIST	LIGHT	pH

Fuente: Elaborado por el autor.

3.9. Diagramas de flujo para la configuración e integración de componentes del sistema

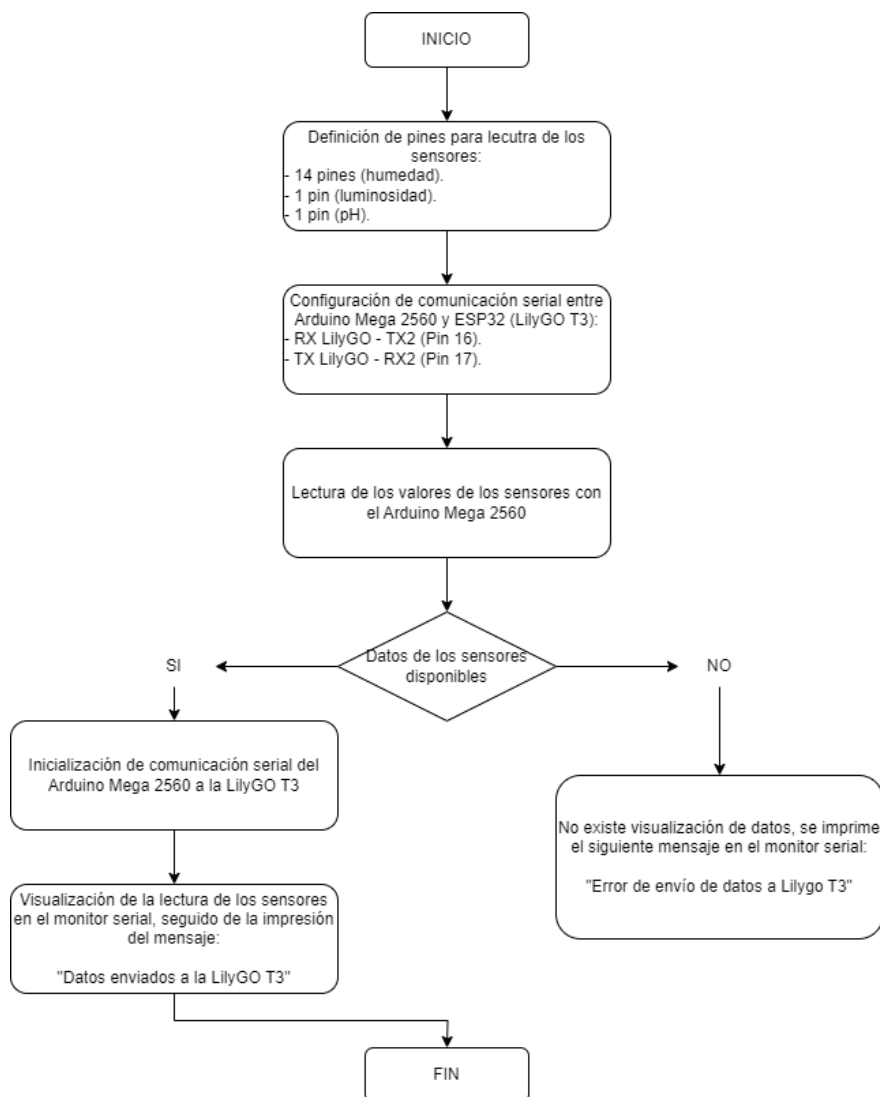
La configuración que se va a implementar en el sistema es importante, debido a que nos ayuda a configurar cada uno de los códigos para poder cargarlos en cada una de las placas para que este pueda funcionar. Es importante saber que, en el software de Arduino IDE, se puede configurar las placas Arduino Mega 2560, Arduino uno y las Lilygo T3 las cuales sirven como transmisor y receptor. Para el caso de la Raspberry PI3 B+, es importante que sea configurado en otro software propio de Raspberry, para ello primero se graba el sistema operativo en la microSD, para después descargar los complementos necesarios para proseguir con la configuración del Gateway con la correcta distribución del código en Python para almacenar los datos en una tabla en AWS.

3.9.1. Configuración Arduino Mega 2560

La configuración implementada en este es importante ya que sirve como el microcontrolador base en la parte de los cultivos. En este se anclarán los 16 sensores y la Lilygo T3 transmisora que forman parte de este sistema. Para ello se crea un código en el que se utilizan los 15 pines analógicos de esta placa incluido los pines de transmisión y recepción para poder enviar los datos mediante la Lilygo. Siendo así se toma desde el pin analógico A0 hasta el A13 se utilizan para los sensores de humedad (YL-69), para el sensor foto-resistor (KY-018) se toma en cuenta el pin analógico A14 y para el sensor de PH con sonda se toma el último pin analógico (PH-4502 C). Para ello observaremos el siguiente diagrama de flujo en el que se explicará los procesos que se sigue para la configuración determinada en el Arduino Mega.

Figura 30

Diagrama de flujo para el almacenamiento de los valores de datos en el Arduino Mega 2560



Fuente: Elaborado por el autor.

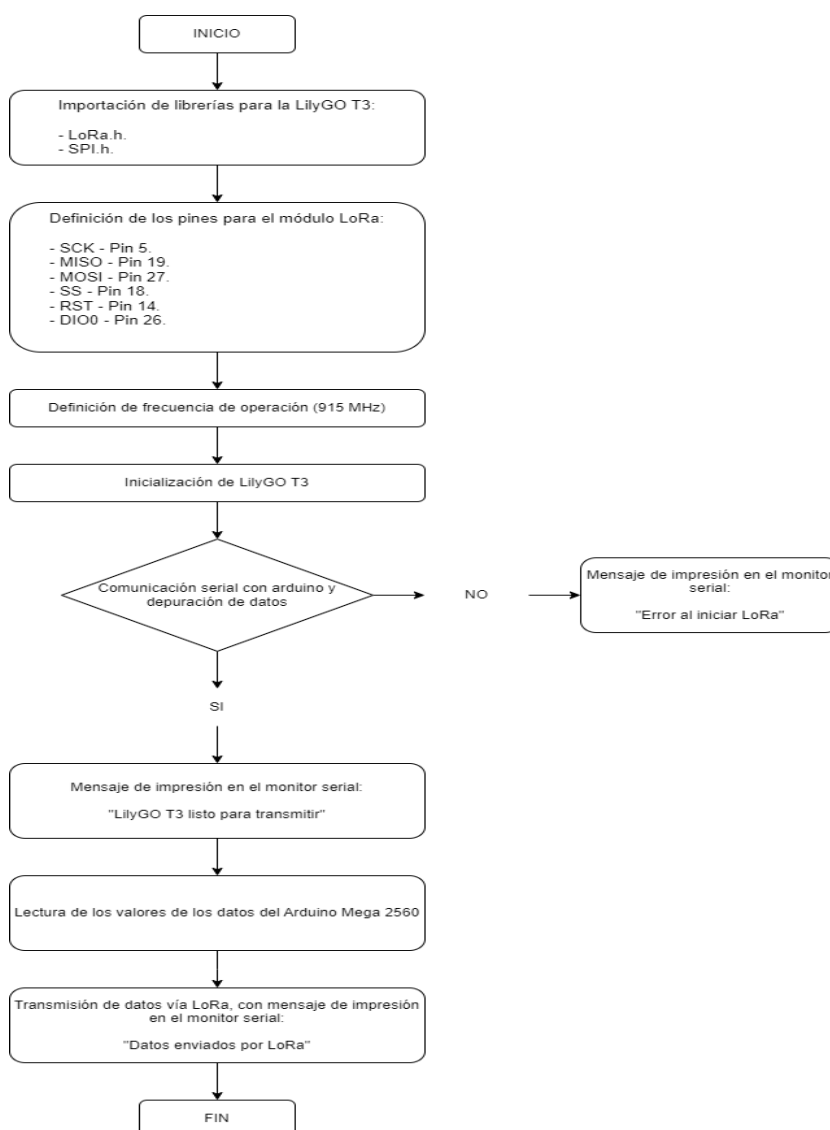
3.9.2. Configuración Lilygo T3 como transmisor

La configuración realizada en esta placa de comunicación inalámbrica de igual forma se la realiza en el IDE de Arduino. Los pines de conexión al microcontrolador Arduino Mega 2560 tienen que ser correctos para que los datos puedan ser transmitidos. Para ello se conecta el pin (TXD) de la Lilygo al pin de comunicación 17(Rx2) y el pin (RXD) de Lilygo al pin de comunicación 16 (Tx2) del Arduino Mega. Una vez se hayan hecho estas conexiones, se procede a conectar la parte de alimentación para esta placa, tomando el pin de 3,3V y el de GND de la Lilygo conectados al Arduino Mega

respectivamente. Cabe recalcar que es importante definir las librerías que se van a utilizar y los pines que nos ayudarán a enviar los datos usando el módulo LoRA, además de definir su frecuencia y establecer la comunicación serial con el Arduino. Una vez que la configuración del Arduino Mega se ha establecido de la forma correcta, se realiza la configuración para el transmisor con la LilyGO T3:

Figura 31

Diagrama de flujo para la transmisión de datos mediante LoRa con la LilyGO T3



Fuente: Elaborado por el autor.

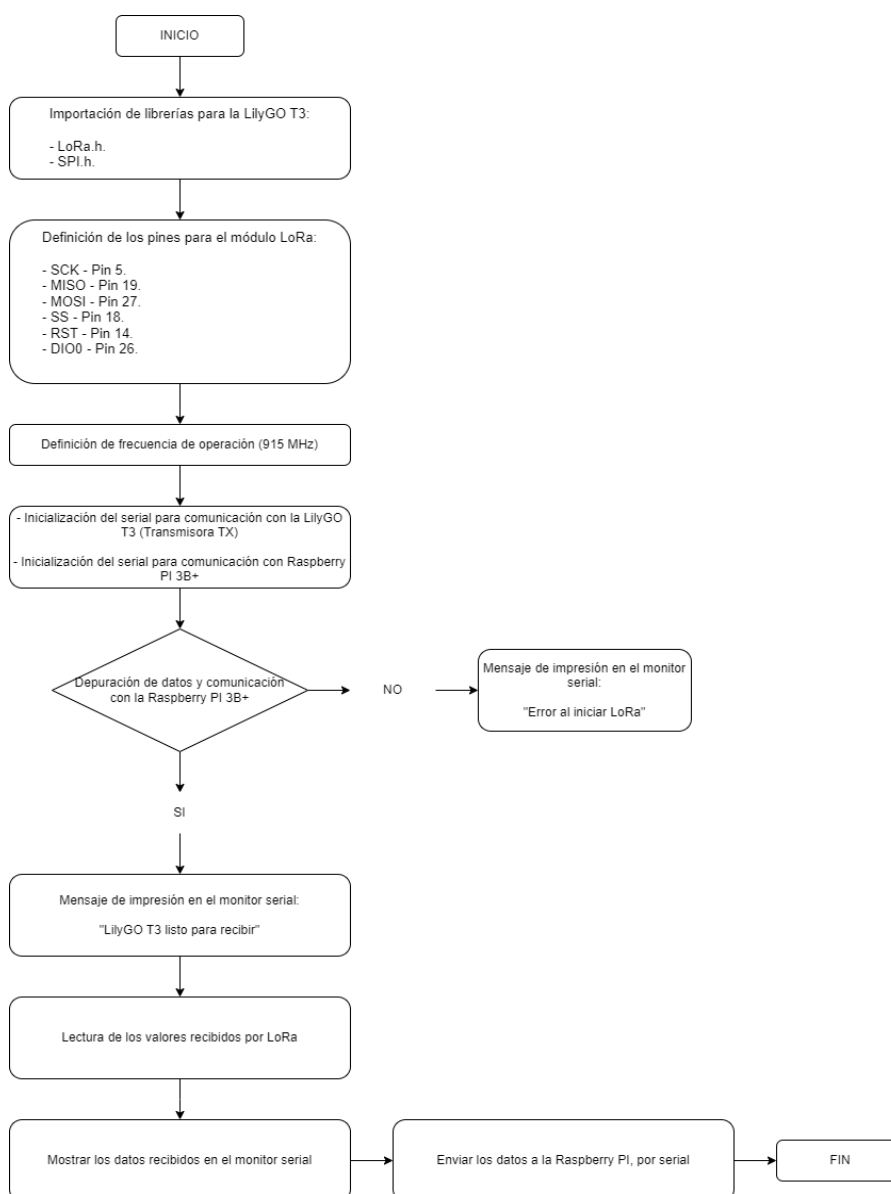
3.9.3. Configuración Lilygo T3 como receptor

Esta configuración es casi similar al del transmisor, pero con la diferencia que este deberá recibir los datos y enviarlos mediante el puerto serial hacia la Raspberry PI 3B+.

La configuración realizada en esta placa de comunicación inalámbrica de igual forma se la realiza en el IDE de Arduino. Los pines de conexión en este caso deben ser hacia la Raspberry, el pin (TXD) de la Lilygo se conecta al Rx de la Raspberry y de igual forma el pin (RXD) del receptor se conecta al Tx de la Raspberry. En el caso de la alimentación de energía se considera un cable USB tipo-B, una vez que la placa se encuentre encendida, se conecta 5.5V y GND de forma respetiva una placa con la otra. Esto se explica en el siguiente diagrama de flujo que enseña cada uno de los procesos detalladamente que se llevan a cabo en el receptor:

Figura 32

Diagrama de flujo para la LilyGO T3 actuando como receptor



Fuente: Elaborado por el autor.

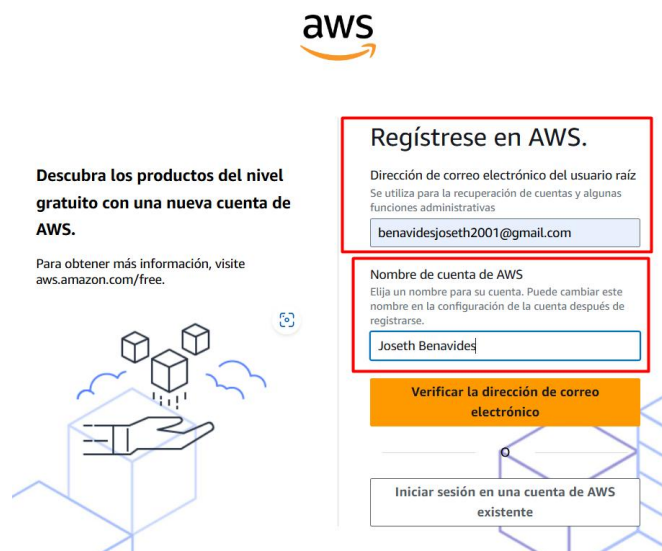
3.9.4. Creación de tabla en Dynamo DB (AWS)

Amazon Web Service es una plataforma de servicios en la nube ofrecida por Amazon, que proporciona una amplia gama de soluciones informáticas escalables y de bajo costo. En este caso usamos el servicio de Dynamo DB, el cual, mediante la recepción de datos y la correcta configuración en la Raspberry, se puede almacenar estas variables en una tabla en AWS. Para ello lo que vamos a hacer es la creación de la tabla y el servicio que vamos a utilizar para esta, además es importante considerar las credenciales de AWS que debemos tener para que la conexión y almacenamiento en la tabla sean de forma correcta. Para la creación de la tabla se deben considerar las siguientes series de pasos:

Se necesita crear una cuenta en AWS, para poder hacer uso de todos los servicios que nos ofrece Amazon Web Service. Para ello se debe hacer el registro de una nueva cuenta, ingresando un correo personal y un nombre de usuario. Se puede hacer esto, ingresando en el siguiente enlace: <https://aws.amazon.com/es/>

Figura 33

Primera fase de registro para AWS



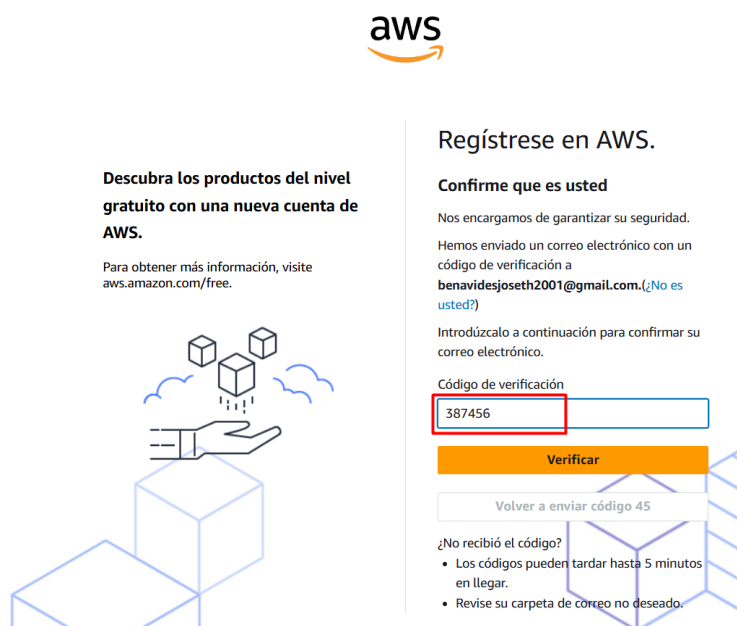
The image shows the AWS registration page. At the top is the AWS logo. Below it, on the left, is a promotional message: "Descubra los productos del nivel gratuito con una nueva cuenta de AWS." followed by a link to "aws.amazon.com/free". On the right is the registration form titled "Regístrese en AWS.". The form has three main sections: 1) "Dirección de correo electrónico del usuario raíz" with a text input field containing "benavidesjoseth2001@gmail.com"; 2) "Nombre de cuenta de AWS" with a text input field containing "Joseth Benavides"; 3) A button labeled "Verificar la dirección de correo electrónico". Below these is a link to "Iniciar sesión en una cuenta de AWS existente".

Fuente: Elaborado por el autor.

Se envía un código de verificación al correo el cual debemos poner en la siguiente parte del registro para continuar con este.

Figura 34

Envío de código de confirmación para verificación y validación de datos



aws

Descubra los productos del nivel gratuito con una nueva cuenta de AWS.

Para obtener más información, visite aws.amazon.com/free.

Regístrese en AWS.

Confirme que es usted

Nos encargamos de garantizar su seguridad. Hemos enviado un correo electrónico con un código de verificación a **benavidesjoseth2001@gmail.com**. (¿No es usted?)

Introdúzcalo a continuación para confirmar su correo electrónico.

Código de verificación

387456

Verificar

[Volver a enviar código 45](#)

¿No recibió el código?

- Los códigos pueden tardar hasta 5 minutos en llegar.
- Revise su carpeta de correo no deseado.

Fuente: Elaborado por el autor.

Para continuar con el registro, se debe colocar la contraseña y confirmación de esta, para el usuario raíz. Ya que con este podremos modificar cualquier servicio dentro de nuestra cuenta.

Figura 35

Creación y verificación de contraseña para el usuario raíz



aws

Descubra los productos del nivel gratuito con una nueva cuenta de AWS.

Para obtener más información, visite aws.amazon.com/free.

Regístrese en AWS.

Crear su contraseña

✓ Es usted. Su dirección de correo electrónico se ha verificado correctamente.

Su contraseña le proporciona acceso para iniciar sesión en AWS, por lo que es importante que la introduzcamos correctamente.

Contraseña de usuario raíz

Confirme la contraseña de usuario raíz

Continuar (paso 1 de 5)

[O](#)

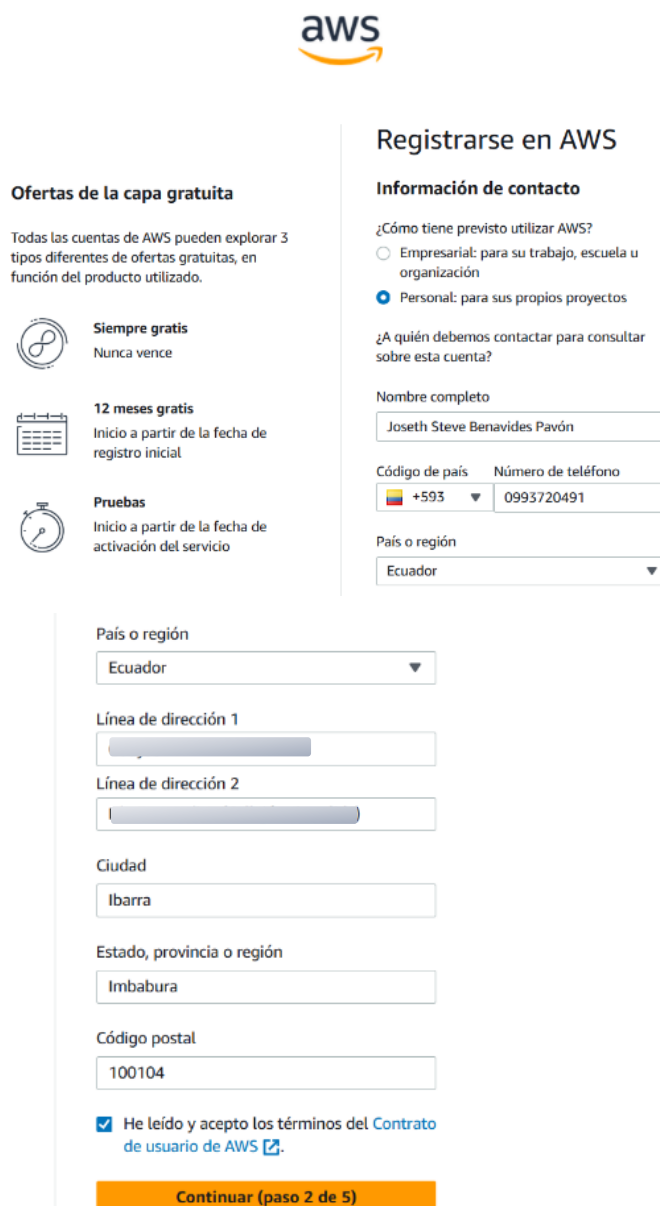
[Iniciar sesión en una cuenta de AWS existente](#)

Fuente: Elaborado por el autor.

Se colocan cada uno de los datos del usuario que se está registrando en la plataforma. En este caso se llenan todos los datos que se solicitan y todas deben ser verídicas, para no tener problemas en la creación de esta cuenta.

Figura 36

Ingreso de datos personales, constatación de número telefónico y dirección



The screenshot shows the AWS registration interface. At the top, the AWS logo is displayed. The page is divided into two main sections: 'Ofertas de la capa gratuita' (Free tier offers) on the left and 'Registrarse en AWS' (Sign up for AWS) on the right.

Ofertas de la capa gratuita: This section lists three types of free offers available for all AWS accounts. It includes icons for 'Siempre gratis' (Always free), '12 meses gratis' (12 months free), and 'Pruebas' (Free trial). Below these, there are input fields for 'País o región' (Country or region), 'Línea de dirección 1' (Address line 1), 'Línea de dirección 2' (Address line 2), 'Ciudad' (City), 'Estado, provincia o región' (State, province or region), and 'Código postal' (Postal code).

Registrarse en AWS: This section contains the 'Información de contacto' (Contact information) form. It starts with a question: '¿Cómo tiene previsto utilizar AWS?' (How do you plan to use AWS?). There are two radio buttons: 'Empresarial: para su trabajo, escuela u organización' (Business: for your work, school or organization) and 'Personal: para sus propios proyectos' (Personal: for your own projects). The 'Personal' option is selected. Below this is another question: '¿A quién debemos contactar para consultar sobre esta cuenta?' (Who should we contact to consult about this account?). The 'Nombre completo' (Full name) field is filled with 'Joseth Steve Benavides Pavón'. The 'Código de país' (Country code) is '+593' and the 'Número de teléfono' (Phone number) is '0993720491'. The 'País o región' (Country or region) dropdown is set to 'Ecuador'. At the bottom, there is a checkbox for 'He leído y acepto los términos del Contrato de usuario de AWS' (I have read and accept the terms of the AWS User Agreement), which is checked. A large orange button labeled 'Continuar (paso 2 de 5)' (Continue (step 2 of 5)) is at the bottom right.

Fuente: Elaborado por el autor.

Finalmente se deben colocar cada uno de los datos de la tarjeta de débito del usuario con el que la plataforma podrá cobrar el servicio que se utilice, una vez se haya excedido del límite gratuito.

Figura 37*Datos de tarjeta de débito o crédito para el consumo de servicios*

Número de tarjeta de crédito o débito



AWS acepta la mayoría de las tarjetas de crédito y débito principales. Para obtener más información sobre las opciones de pago, consulte nuestras [preguntas frecuentes](#)

Fecha de vencimiento

Octubre ▼ 2030 ▼

Código de seguridad ⓘ

Nombre del titular de la tarjeta

Benavides Joseth

Dirección de facturación

☒ Utilizar mi dirección de contacto

☐ Utilizar una nueva dirección

Verificar y continuar (paso 3 de 5)

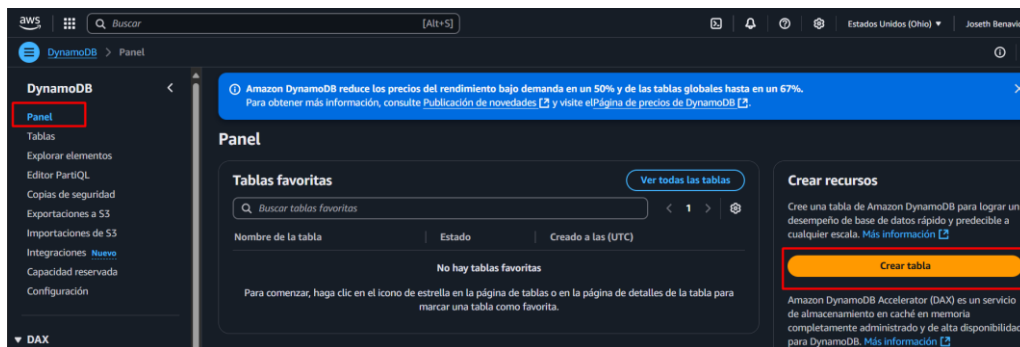
Es posible que se le redirija al sitio web de su banco para autorizar el cargo de verificación.

Fuente: Elaborado por el autor.**Figura 38***Registro exitoso para una cuenta en AWS**Fuente:* Elaborado por el autor.

Una vez creada la cuenta, se ingresa y se selecciona el servicio de Dynamo DB y en el panel se crea la tabla.

Figura 39

Ingreso al servicio de Dynamo DB para la creación de la tabla



Fuente: Elaborado por el autor.

Ingresados ya en el servicio, se deben colocar todos los requisitos que solicita, para este caso solo es necesario asignar un nombre a la tabla y colocar que la clave de partición sea tipo String o Cadena.

Figura 40

Requisitos para la creación de la tabla

Fuente: Elaborado por el autor.

Se selecciona la configuración predeterminada y se verifican cada uno de los ajustes que esta selección lleva a cabo, con cada uno de los valores que esta configuración define.

Figura 41

Selección de la configuración para la tabla

Configuración de la tabla

☒ Configuración predeterminada
La forma más rápida de crear su tabla. Puede modificar la mayor parte de la configuración después de crear la tabla. Para modificar esta configuración ahora, elija "Personalizar la configuración".

☐ Personalizar configuración
Utilice estas características avanzadas para que DynamoDB funcione mejor de acuerdo a sus necesidades.

Configuración de la tabla predeterminada
Estos son los ajustes predeterminados de la nueva tabla. Puede cambiar algunos de estos ajustes después de crear la tabla.

Ajuste	Valor	Se puede editar después de la creación
Clase de tabla	Estándar de DynamoDB	Sí
Modo de capacidad	Bajo demanda	Sí
Unidades de capacidad de lectura máximas	-	Sí
Unidades de capacidad de escritura máximas	-	Sí
Índices secundarios locales	-	No
Índices secundarios globales	-	Sí
Administración de claves de cifrado	Propiedad de Amazon DynamoDB	Sí
Protección contra eliminaciones	Desactivada	Sí
Política basada en recursos	No activo	Sí

Fuente: Elaborado por el autor.

Finalmente, una vez se verifican los valores de la configuración, se procede a crear la tabla y se verifica el estado de esta si es activa con un visto en verde, significa que la hemos creado correctamente, caso contrario se mostrará inactiva y con una x.

Figura 42

Verificación de la creación correcta de la tabla con su respectivo estado

Nombre	Estado	Clave de partición	Clave de ordenación	Índices	Regiones de reproducción	Protección contra eliminaciones
SensorData	Activo	timestamp (S)	-	0	0	Desactivada

Fuente: Elaborado por el autor.

Cuando se ha creado la tabla y se verifica el estado activo de esta, es importante asociar roles y permisos para permitir tanto la entrada como salida de los datos emitidos por la transmisión entre ambos nodos, para ello nos dirigimos a la consola de AWS y seleccionamos el servicio de IAM el cual nos permite agregar roles a nuestra tabla y permisos para el ingreso y salida de los datos.

Figura 43

Selección del servicio de IAM en AWS

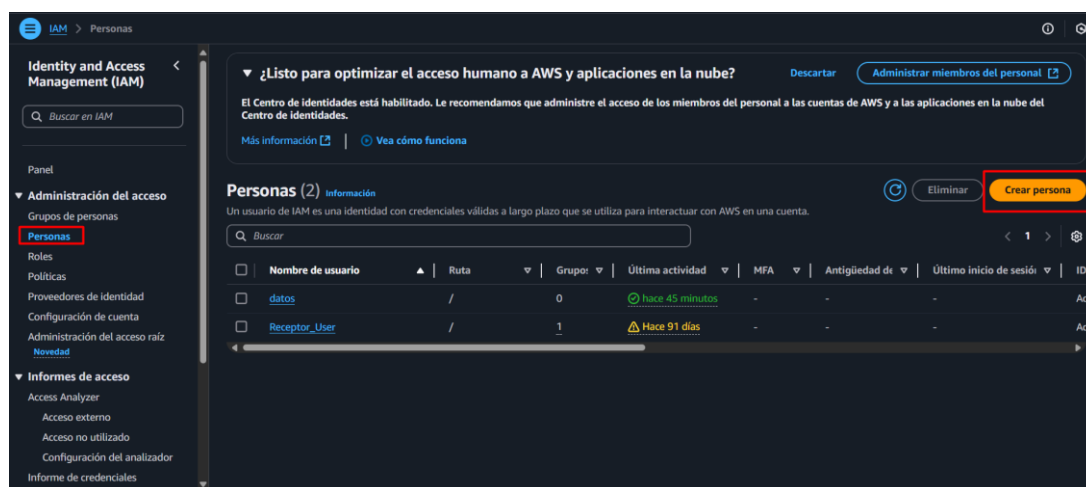


Fuente: Elaborado por el autor.

Después de la selección del servicio se ingresa a la consola de personas en la parte izquierda del panel y se crea un nuevo permiso, con el nombre que se desee, una vez dentro de este nos permite escoger el nombre de la tabla creada en Dynamo DB para asignarle roles de permiso a esta tabla.

Figura 44

Creación de un nuevo permiso para el servicio de Dynamo DB

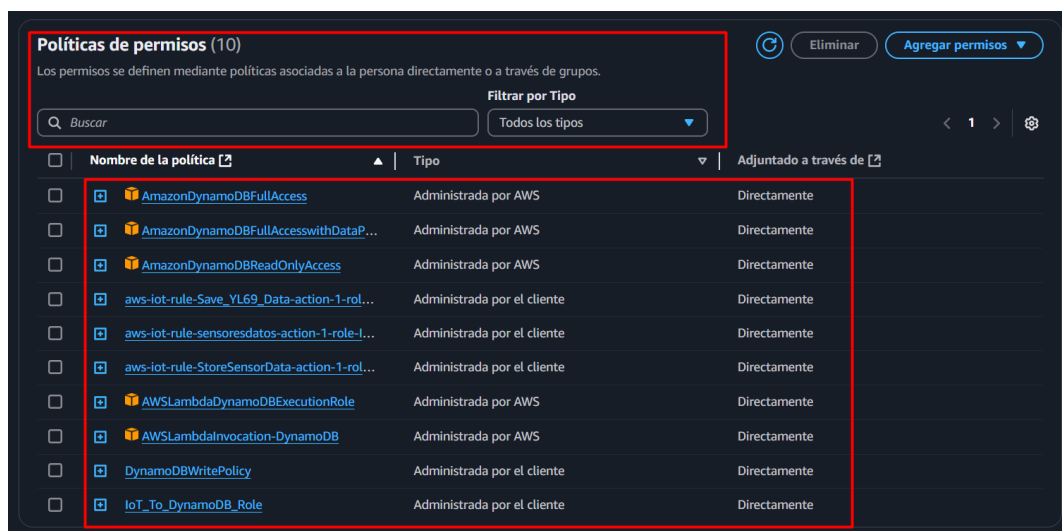


Fuente: Elaborado por el autor.

Una vez que se seleccione el nombre de la tabla se puede conceder políticas de permiso, en este caso se escogen todas las políticas relacionadas a Dynamo DB, para conceder todos los permisos de accesos, salidas e ingresos de datos, etc.

Figura 45

Asignación de políticas de permisos para la tabla en Dynamo DB



Fuente: Elaborado por el autor.

3.9.5. Configuración Raspberry PI 3B+

Para el proyecto desarrollado, la Raspberry toma un papel fundamental al actuar como Gateway, debido a que esta nos permite hacer el ingreso de datos que se encuentran llegando por la Lilygo T3 receptora. Para esto se toman en cuenta aspectos importantes como la instalación del sistema operativo que se va a manejar, para ello consideramos trabajar bajo un lenguaje Linux en el sistema operativo de Raspbian. Continuando con este proceso, se procede a instalar cada uno de los componentes de los que se va a hacer uso para la programación de la Raspberry, es decir necesitamos instalar Python con la función PIP, se necesita instalar también las librerías de BOTO3 para permitir la interacción con los servicios de Amazon Web Services (AWS) desde aplicaciones o scripts escritos en Python. De igual forma es necesario instalar la librería necesaria para el bot de telegrama para tener interconexión con esta aplicación y el Bot creado pueda recibir las alertas programadas.

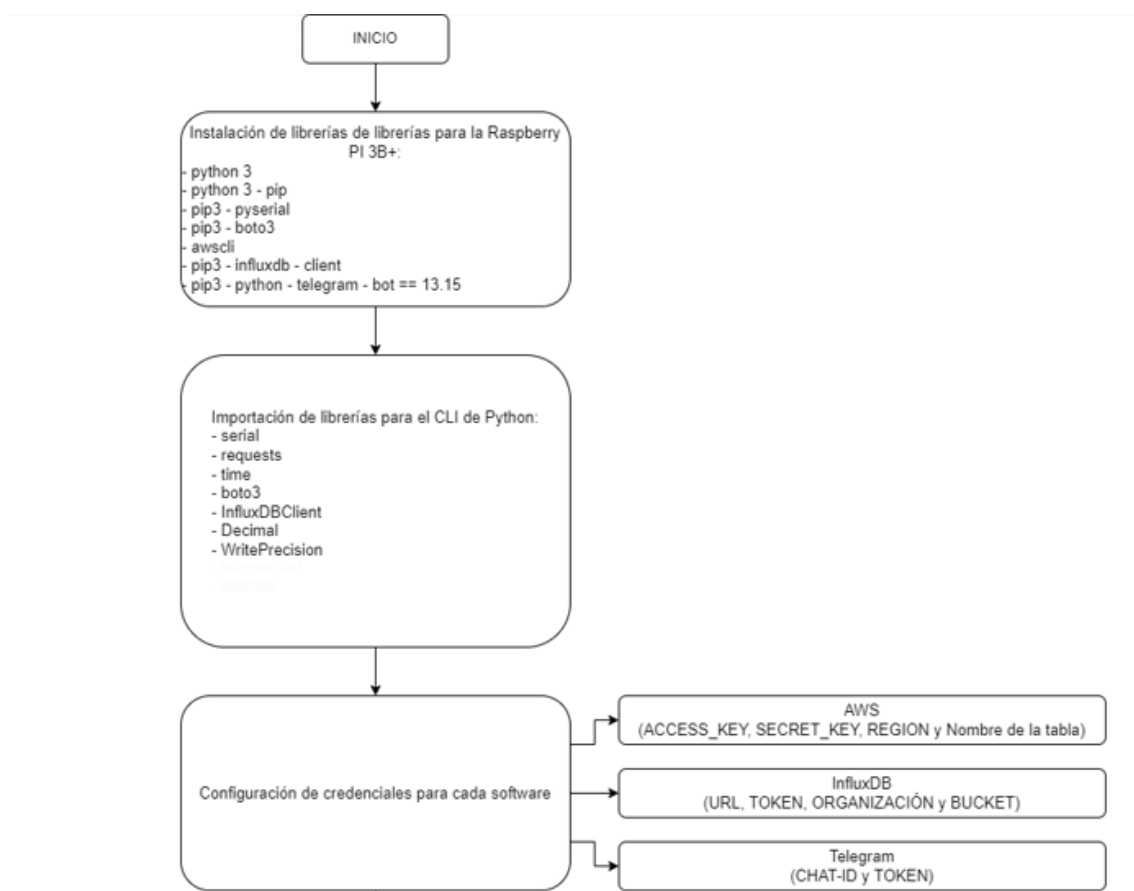
Al ser instalados cada uno de los complementos y se haya realizado la activación correcta del puerto serial para el recibimiento de datos desde la Lilygo a la Raspberry, es necesario iniciar la interfaz de Python para poder proseguir con la configuración del script

que permite almacenar los datos en la tabla de AWS, es necesario saber que es de suma importancia importar primero las librerías necesarias para que no exista ningún problema al momento de ejecutar las líneas de interacción para el tratamiento de los datos.

Para realizar las configuraciones pertinentes en la Raspberry es importante considerar la instalación de ciertas librerías, para ello consideramos la instalación de Python, librerías como PIP procedente para la conexión del puerto con Python, librería Boto3, Librería para la conexión para el Bucket con InfluxDB y finalmente la librería para la comunicación con el BOT de Telegram. Para ello analizamos la primera parte del diagrama de flujo en el que se detallan cada una de las librerías instaladas e importadas para el desarrollo del sistema.

Figura 46

Diagrama de flujo de las librerías instaladas y las credenciales para el desarrollo del sistema



Fuente: Elaborado por el autor.

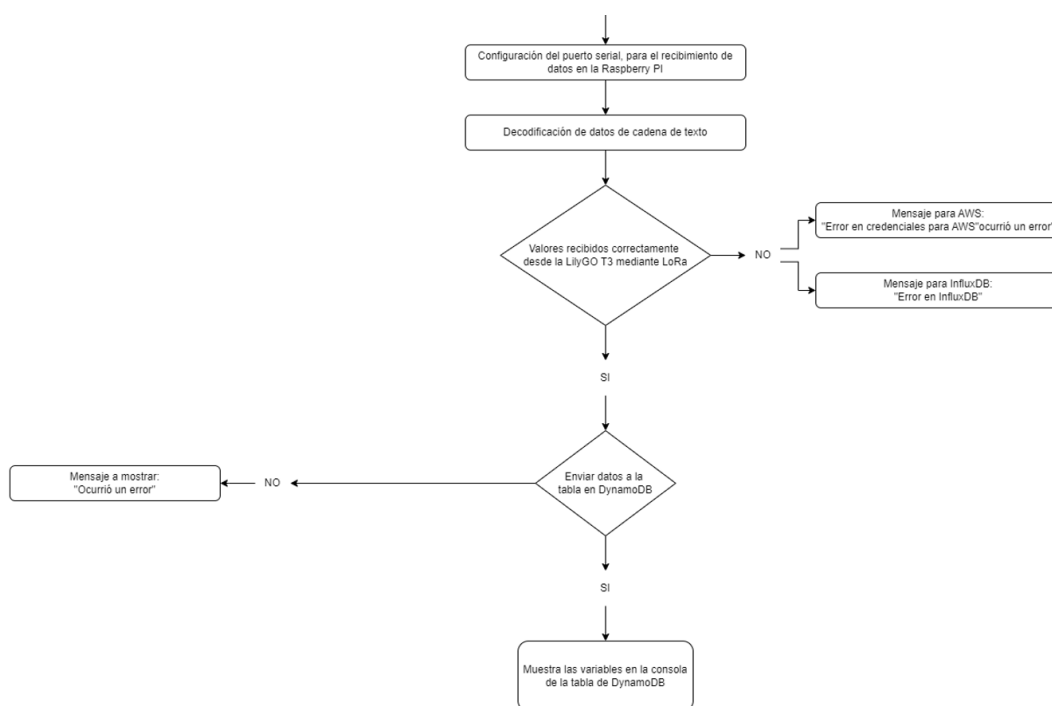
Es importante habilitar el puerto serial dev0, el cual permite apuntar al UART adecuando para la recepción de datos entre la Lilygo y la Raspberry PI 3B+. El UART es un protocolo de comunicación (serie asíncrono), muy usado en microcontroladores, sensores, módulos inalámbricos como en el caso nuestro que usamos LoRa. La UART convierte los datos paralelos (del procesador) en datos serie para transmitirlos por un solo cable, y viceversa al recibirlos.

```
ls -l /dev/serial0
/dev/serial0 -> ttyAMA0
```

A continuación, se observa el diagrama de flujo en el que se reciben los datos y se observan en la consola en AWS, es importante recalcar que todo pertenece al mismo proceso en el receptor.

Figura 47

Diagrama de flujo del proceso de almacenamiento de las variables en Dynamo DB en AWS



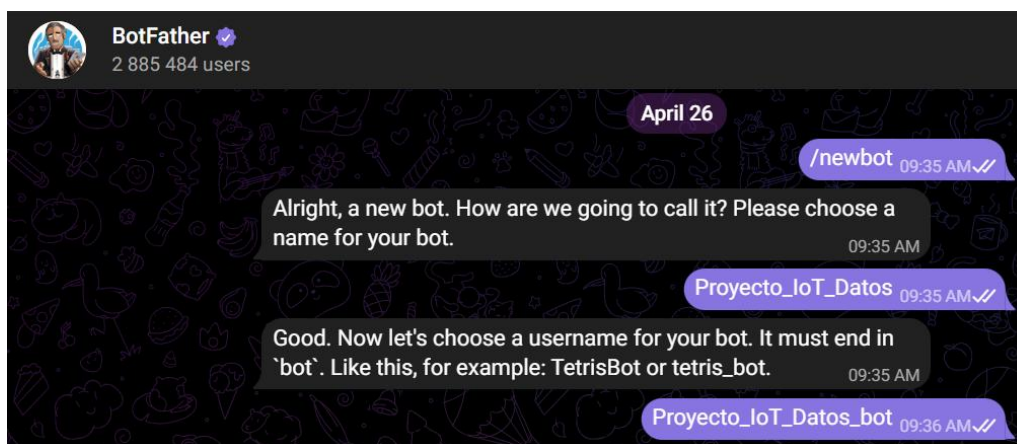
Fuente: Elaborado por el autor.

3.9.6. Creación de Bot para recepción de alertas

Para que se puedan recibir alertas en Telegram, es importante seguir una serie de pasos que permiten primeramente la creación de un Bot para que con su ID y su respectivo token, con la configuración correcta, se cree una comunicación entre el Bot y los datos enviados dependiendo las condiciones que se soliciten en el código para que este envíe alertas o simples mensajes. Para esto iniciamos con la creación de un Bot, ingresando a BotFather, el cual nos permite crear nuevos Bots para asignación de diversas funciones o simplemente para tener un chat personal para almacenamiento de datos y archivos en Telegram.

Figura 48

Creación del nuevo Bot en Telegram con BotFather



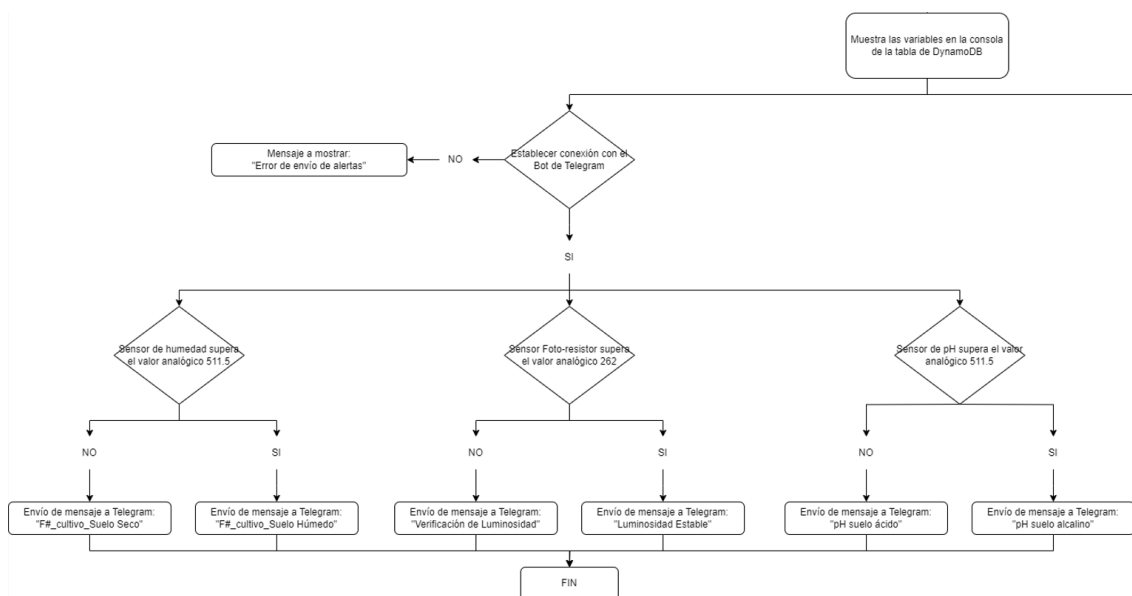
Fuente: Elaborado por el autor.

Para la verificación correcta del Bot, este nos enviará un mensaje en el que podemos observar un link de acceso de ingreso al nuevo chat creado para el Bot con su respectiva asignación del token propuesto para la conexión y recibimiento de mensajes.

Una vez se tiene definido el Bot, se procede a establecer cada una de las condiciones de lectura para los valores analógicos de cada sensor, es decir si este excede un valor que se muestre como húmedo, pero si este disminuye que muestre un mensaje alternativo. Para ello se indica el diagrama de flujo que forma parte del receptor, mostrando el funcionamiento solo para esta sección.

Figura 51

Diagrama de flujo del receptor para la configuración de mensajes a mostrar en Telegram



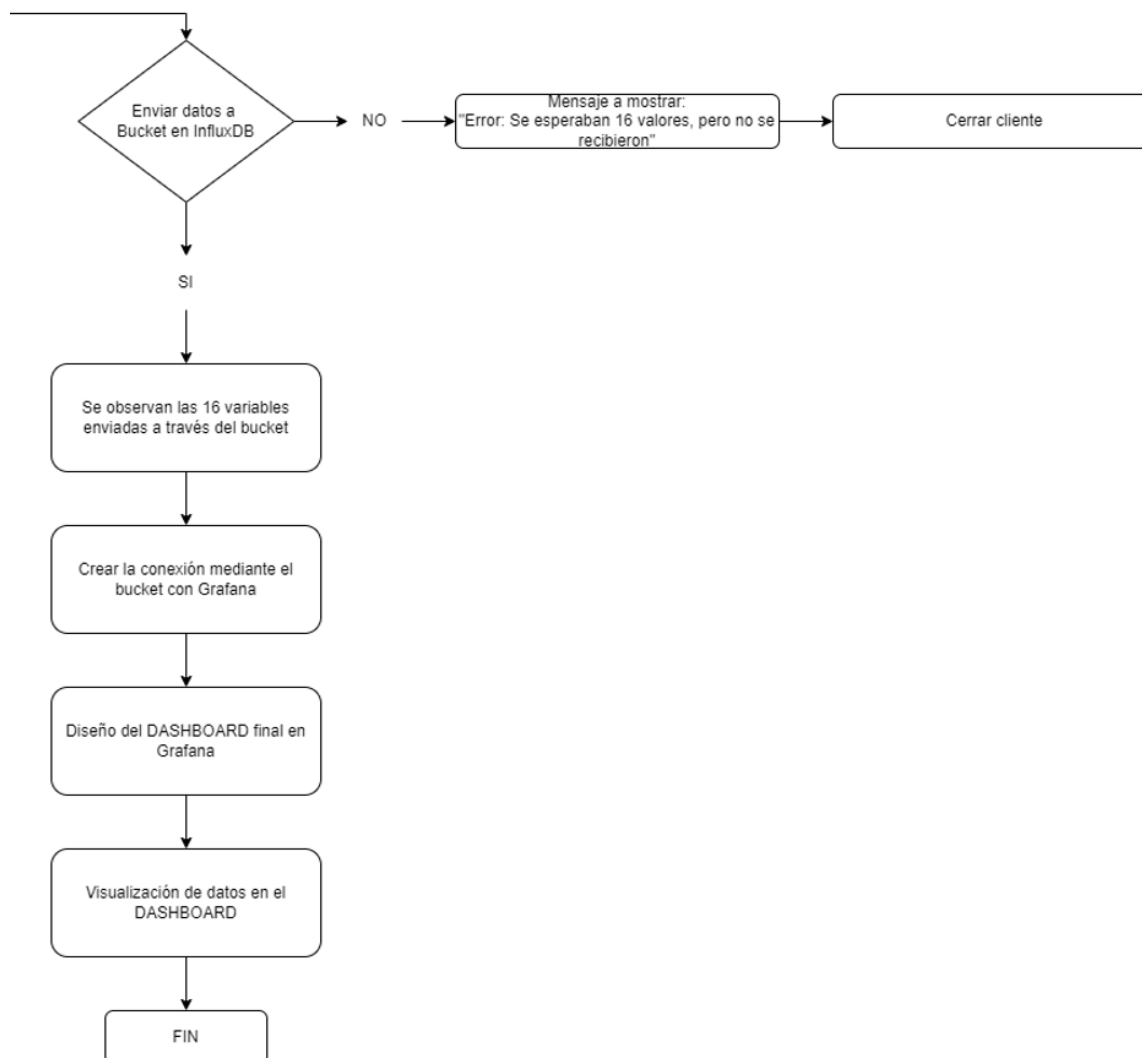
Fuente: Elaborado por el autor.

3.9.7. Creación y configuración de DASHBOARD

Para la creación del Dashboard, es esencial manejar dos plataformas que facilitan la proyección de datos de una forma más sencilla para el usuario. La primera plataforma es InfluxDB, la cual permite crear un túnel de envío de datos entre AWS y Grafana, la que permite crear un diseño para cada uno de los datos que sea sencillo de visualizar para tener control de estas variables. Es de suma importancia tener un correo activo que permita generar una cuenta nueva para InfluxDB. Una vez se ha colocado el nombre del proyecto, se crea un nuevo Bucket de conexión el cual almacena cada una de las filas de datos obtenidos para que puedan ser visualizados al final. Para el desarrollo de esta parte es importante considerar que también pertenece al sistema del receptor configurado en la Raspberry, por lo cual analizaremos y entenderemos su funcionamiento con el siguiente diagrama de flujo.

Figura 52

Diagrama de flujo de los procesos desarrollados para la comunicación entre AWS e InfluxDB para la creación del Dashboard final

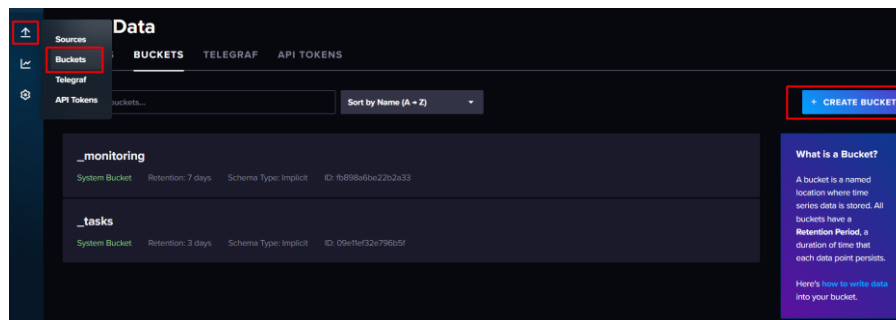


Fuente: Elaborado por el autor.

Para el entendimiento y comprensión de todo este proceso, vamos a analizar cada uno de los pasos que se han desarrollado para llegar a la creación del Dashboard final. Primero empezamos con la creación de un nuevo bucket para la comunicación entre AWS y el Dashboard de visualización final.

Figura 53

Creación de un nuevo bucket para la conexión

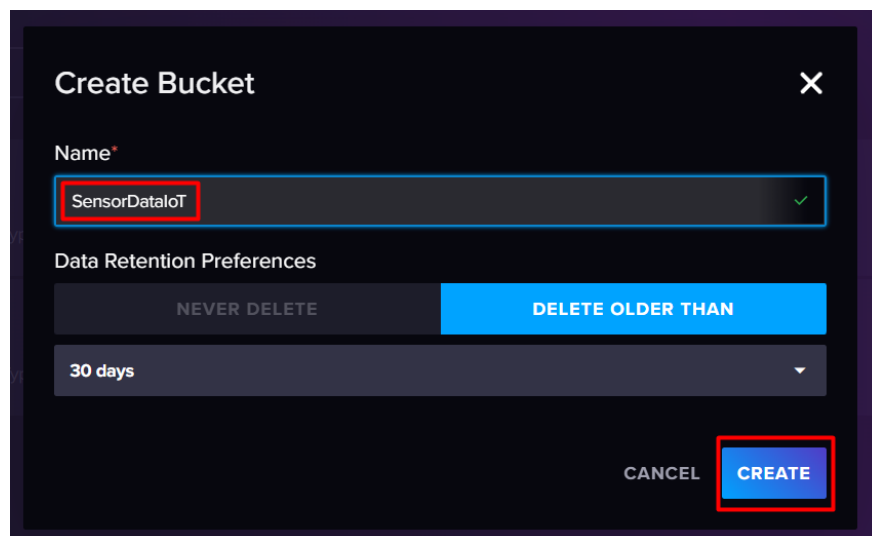


Fuente: Elaborado por el autor.

Para la creación del Bucket es esencial la asignación de un nombre el cual está definido como “SensorDataIoT” y seleccionamos el tiempo de creación de la cuenta gratuita que máximo se permiten por 30 días y presionamos el botón en crear.

Figura 54

Asignación del nombre para el nuevo Bucket

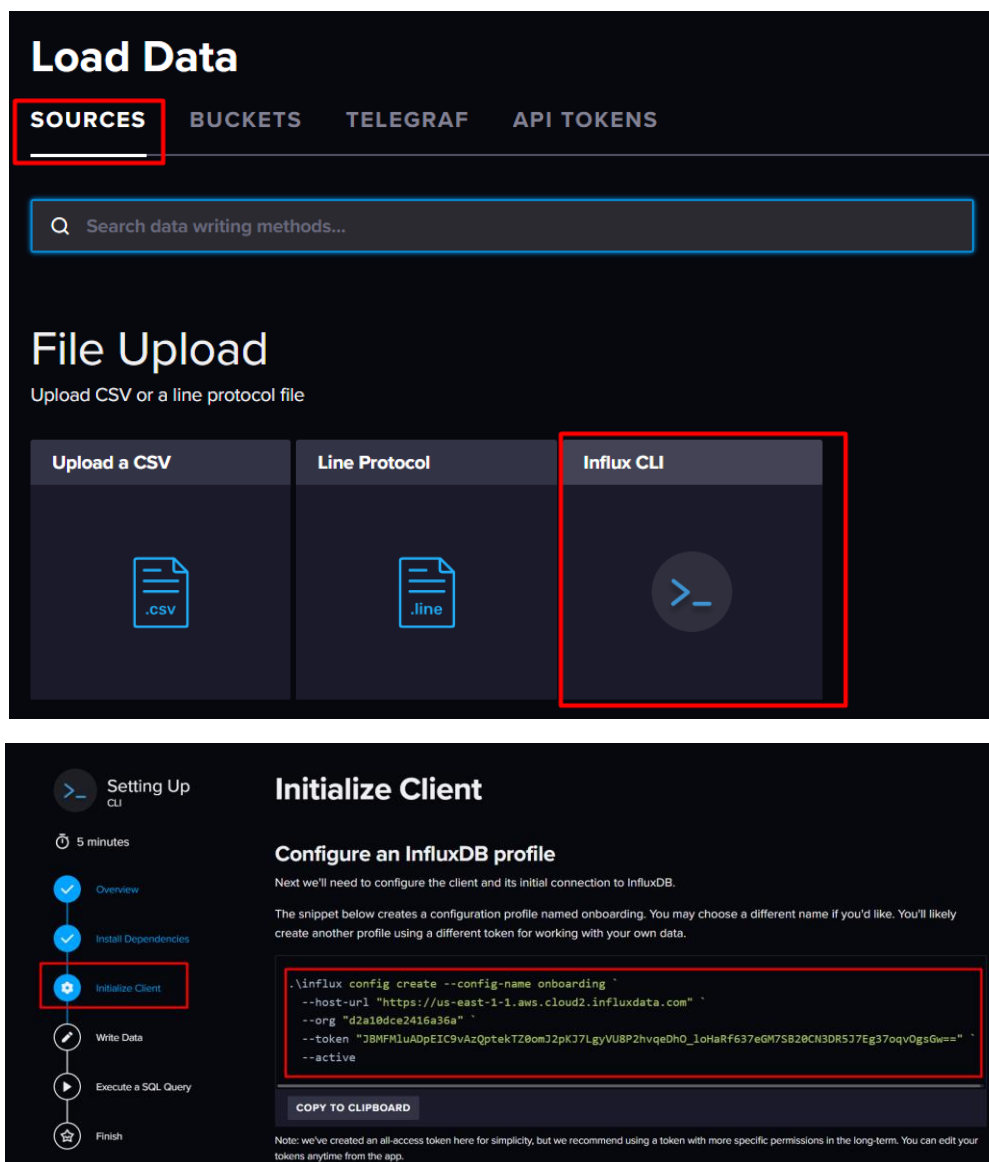


Fuente: Elaborado por el autor.

Después de la respectiva creación del nuevo Bucket es importante saber que se necesita el número de la organización y el token del nuevo Bucket para que la conexión sea exitosa con AWS, para el recibimiento de los datos, para ello se ingresa en la interfaz de líneas de comando del bucket para saber los campos necesarios para la conexión.

Figura 55

Verificación de organización y token para la conexión y recibimiento de datos

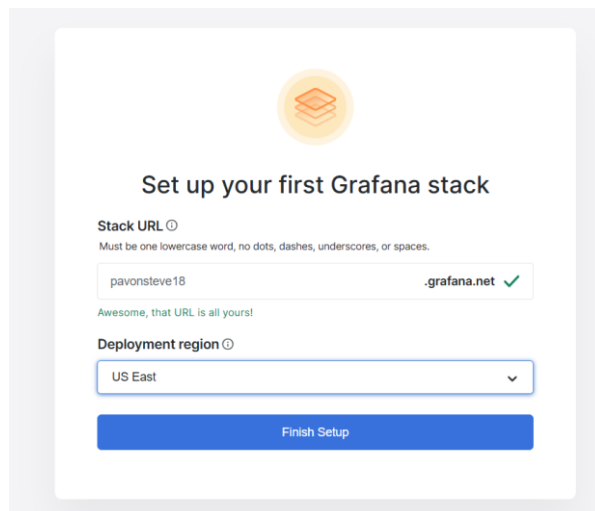


Fuente: Elaborado por el autor.

Para la creación del Dashboard, es de suma importancia crear una cuenta nueva en Grafana Cloud, la cual nos permite establecer cualquier diseño, dependiendo de los datos recibidos. Para ello es importante establecer la región de trabajo, para lo cual se establece la misma utilizada en AWS y un nombre de usuario que ayudan al manejo y procesamiento de los datos para la visualización final en el Dashboard.

Figura 56

Asignación de zona horario y nombre de usuario para Grafana Cloud



Set up your first Grafana stack

Stack URL ⓘ
Must be one lowercase word, no dots, dashes, underscores, or spaces.

pavonsteve18 .grafana.net ✓

Awesome, that URL is all yours!

Deployment region ⓘ
US East

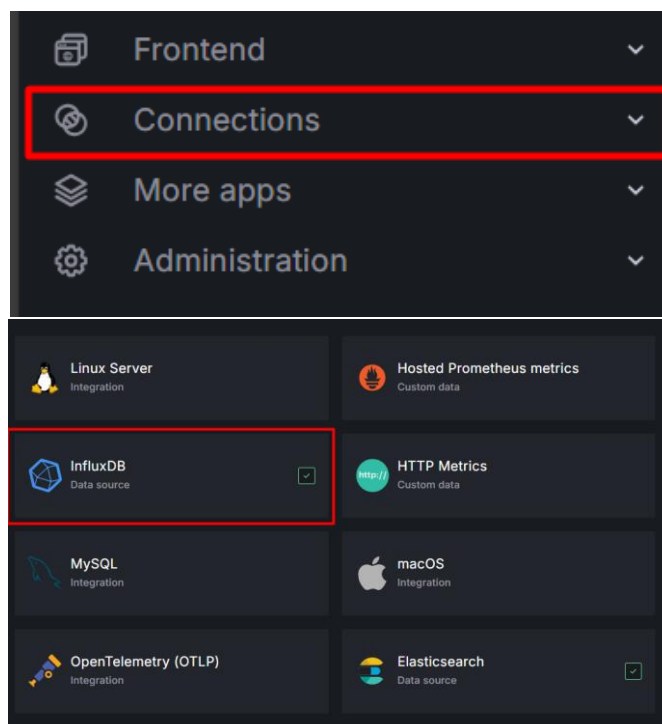
Finish Setup

Fuente: Elaborado por el autor.

Una vez se ha ingresado en la cuenta de Grafana Cloud, se selecciona el modo de conexiones, para lo cual nos permite elegir entre diversos sistemas de puentes, pero se escoge el que ya hemos creado anteriormente es decir InfluxDB.

Figura 57

Selección de conexión y sistema en Grafana Cloud

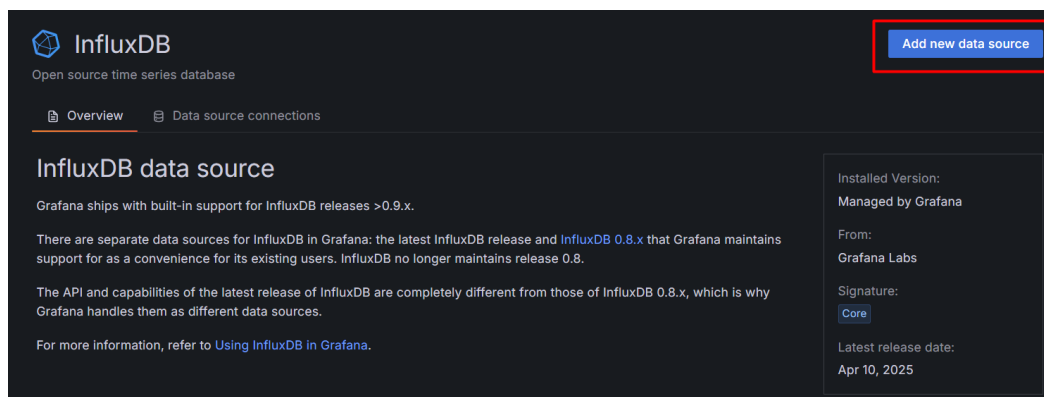


Fuente: Elaborado por el autor.

Una vez seleccionado el sistema, se crea una nueva fuente de recursos, en la que se establecerán todos los parámetros de InfluxDB, primero se establece un nombre para la nueva conexión entre el Bucket y el diseño en Grafana, para ello se toma en cuenta el link de acceso, el token generado y el nombre del Bucket creado con anterioridad.

Figura 58

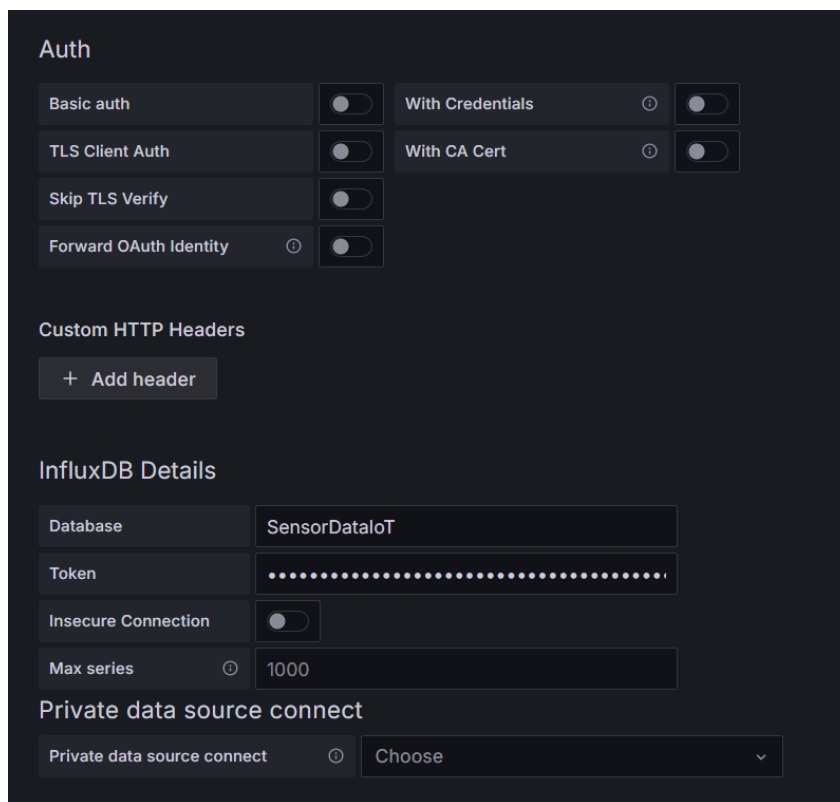
Adición de un nuevo recurso de conexión



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 59

Establecimiento de parámetros de conexión entre InfluxDB y Grafana

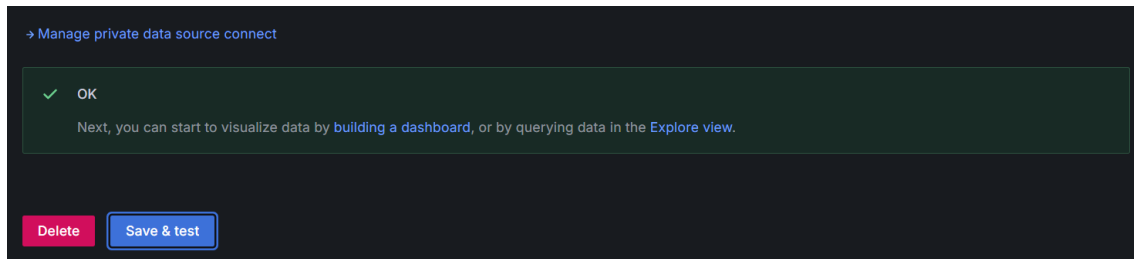


Fuente: Elaborado por el autor.

Se verifica que la nueva conexión creada fue satisfactoria, de ser el caso contrario se deben verificar cada uno de los campos proporcionados por el Bucket creado ya que deben coincidir para establecer exitosamente la conexión.

Figura 60

Conexión exitosa entre el Bucket creado y Grafana

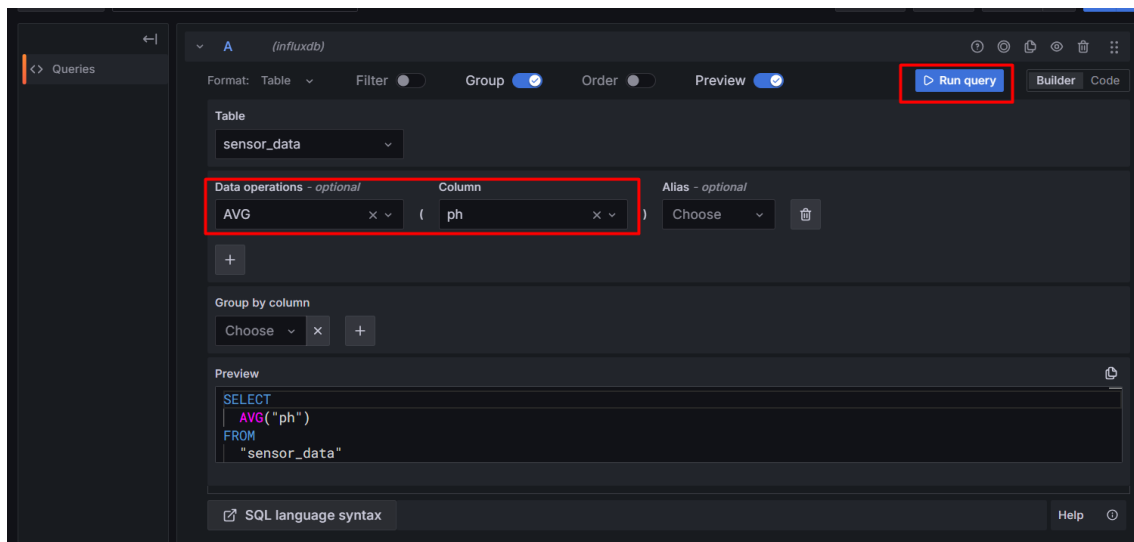


Fuente: Elaborado por el autor.

Se selecciona la tabla de la cual se quieren presentar los datos en el Dashboard, con la selección de cada uno de los campos que esta tiene para poder presentarse de forma más clara en el diseño. Cabe recalcar que cada fila deberá ser expuesta como un indicador diferente de cada uno.

Figura 61

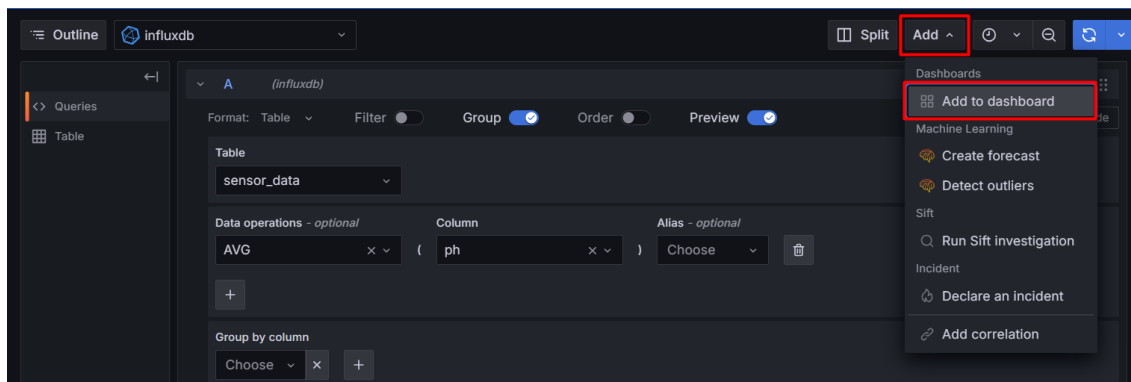
Selección de presentación de una fila determinada



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 62

Añadidura del nuevo Dashboard para representación de los datos

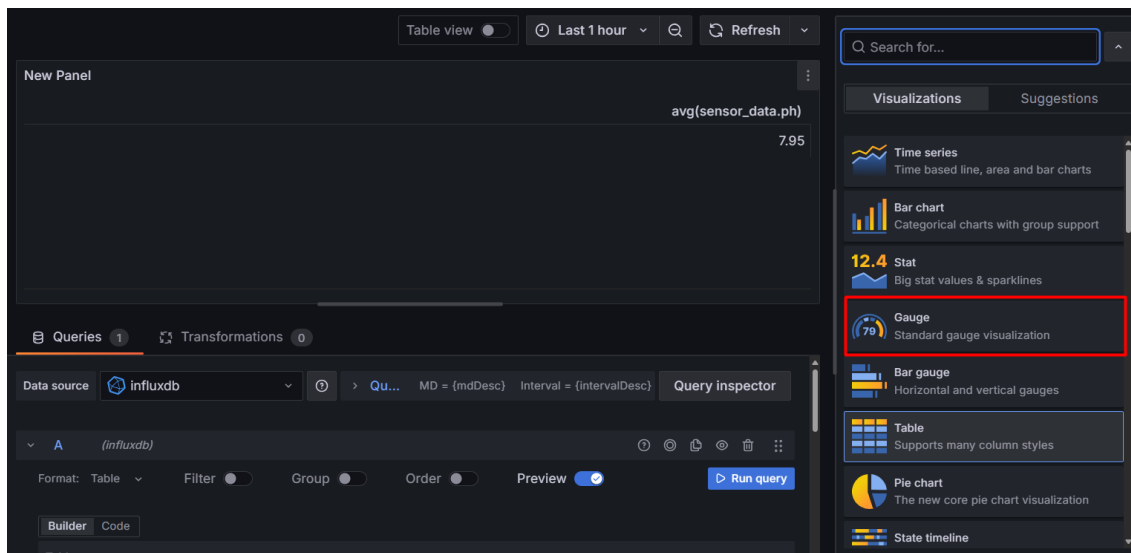


Fuente: Elaborado por el autor.

Se selecciona el diseño de visualización de los datos, para lo cual estos pueden tomarse de cualquier forma. Para el caso de los datos que se están recibiendo, se toma en cuenta un indicador en el que se toman las condiciones de verificación de si disminuye de un valor propuesto, este se marque de un color diferente, a continuación, se observa la selección del indicador y la visualización de los datos con este diseño aplicado.

Figura 63

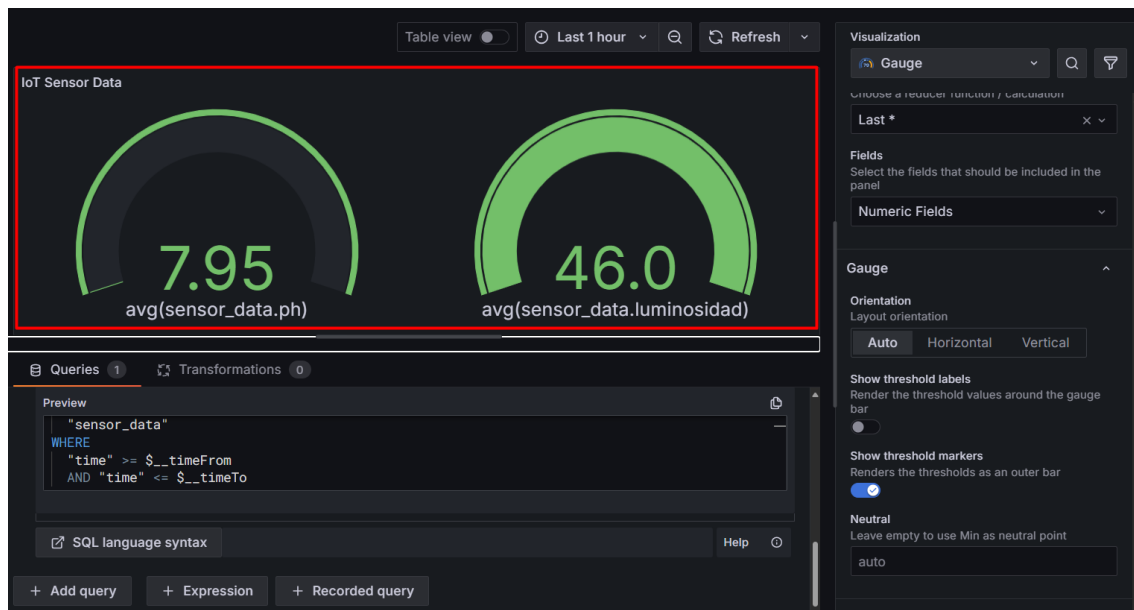
Selección de diseño de indicador para los datos recibidos



Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 64

Visualización final de la fila de datos seleccionada para el diseño determinado



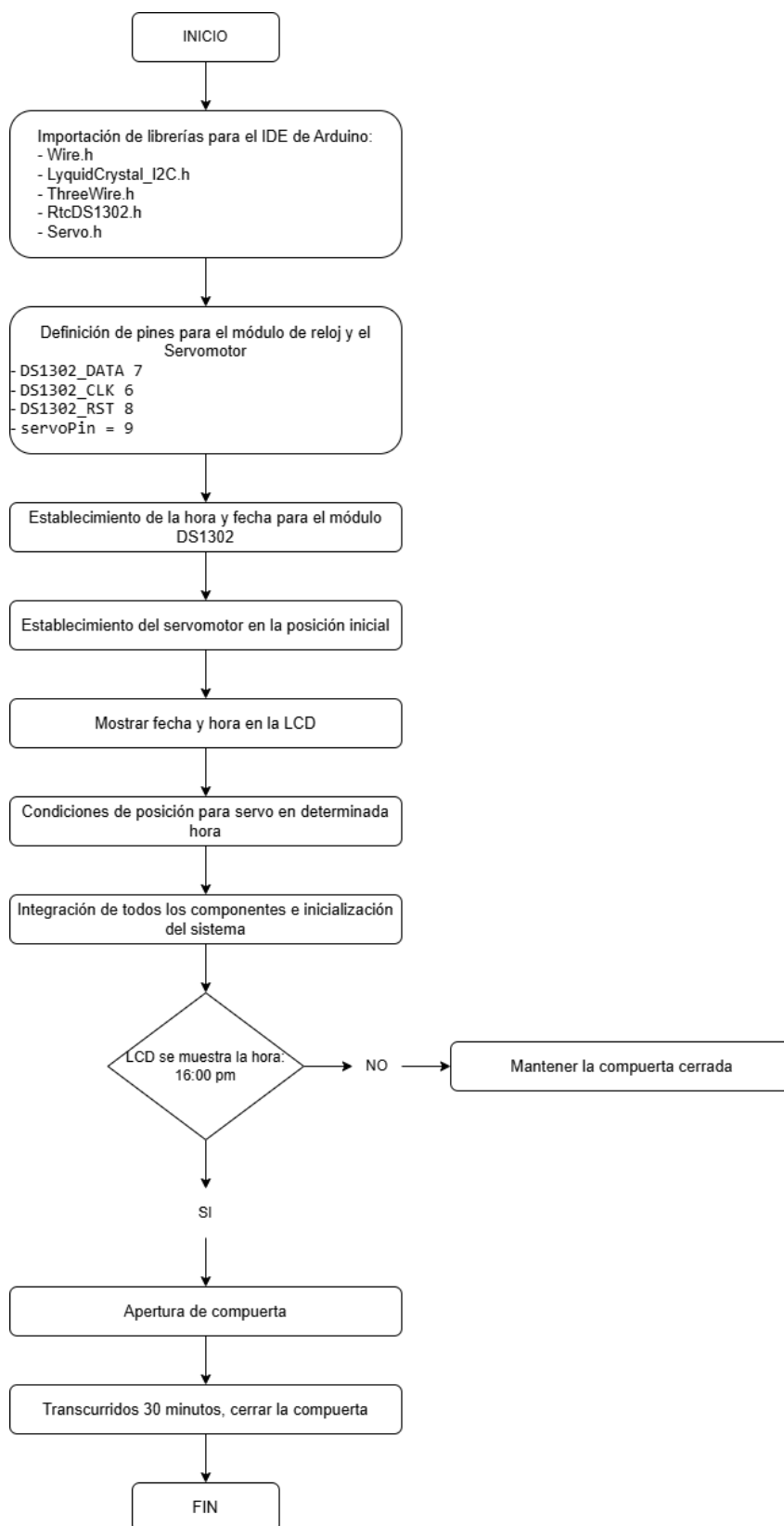
Fuente: Elaborado por el autor.

3.9.7. Configuración en Arduino con módulo para automatización de compuerta de riego

Para el caso de la automatización de riego se establece un código diferente para el microcontrolador, debido a que gracias a todos los datos obtenidos mediante el riego se llega a establecer que cada 30 minutos de riego, el agua se penetra en 10cm, es por ello que para la automatización se considera un sistema de riego de solo 30 minutos durante cada día, a fin de conseguir un ahorro de agua y mantener vivos los cultivos. Se tiene que definir una cierta hora de riego para que mediante el módulo de reloj se pueda establecer una hora de movimiento del servomotor para apertura de la compuerta y al pasar 30 minutos de su activación este retorne a su posición inicial donde se cerrará la compuerta por completo. Para comprender el sistema automatizado de riego, se toma a consideración otro diagrama de flujo para comprender cada uno de ellos procesos que suceden en esta sección:

Figura 65

Diagrama de flujo de los procesos realizados para la automatización de la compuerta



Fuente: Elaborado por el autor.

3.10. Implementación del sistema propuesto

La instalación del sistema comienza con la colocación estratégica de los nodos sensores en puntos específicos del terreno agrícola para la zona propuesta. En San Vicente de Pusir es esencial considerar las características del suelo, la topografía y la distribución de los cultivos para determinar las ubicaciones óptimas de los sensores. Cada nodo estará encargado de medir las condiciones del entorno y transmitir los datos recopilados al Gateway central mediante tecnología LoRa. Esta comunicación inalámbrica de largo alcance es especialmente adecuada para áreas rurales, donde las distancias entre los nodos y el Gateway pueden ser significativas. Para esto se toma en consideración la construcción de una pequeña base de metal en donde será anclada la primera parte del sistema.

El Gateway, utilizando una Raspberry PI 3B+ es ubicado en una oficina central junto a la casa principal, esta es acompañada de una placa la cual recibe los datos del nodo sensor y los envía a un servidor en la nube a través de su conectividad Wi-Fi. Este proceso garantiza que la información esté disponible en tiempo real. Además, la integración de esta tecnología permitirá que los usuarios accedan a los datos desde cualquier dispositivo con conexión a internet, a través de un Dashboard. Esto facilita la toma de decisiones informadas, como el riego en momentos específicos para el ahorro del recurso del agua.

La implementación de este proyecto en la zona propuesta no solo fortalece la productividad agrícola, sino que también contribuirá al desarrollo tecnológico de la comunidad. Este sistema permite obtener datos precisos y confiables, optimizar sus recursos y responder de manera más efectiva. Además, sirve como un modelo replicable para otras comunidades agrícolas que buscan implementar tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) en sus sistemas de producción, promoviendo la innovación y el desarrollo sostenible en la región.

Figura 66*Implementación del sistema en el terreno**Fuente:* Elaborado por el autor.

3.11. Mantenimiento del sistema

El mantenimiento y el soporte técnico son componentes cruciales para asegurar la durabilidad y fiabilidad del sistema. Para garantizar que los usuarios puedan operar el sistema durante el mayor tiempo posible sin interrupciones, se implementan procedimientos de mantenimiento regular. Estos procedimientos incluyen la actualización periódica de software y firmware, la calibración de sensores y la revisión de conexiones de hardware.

Este recibirá un mantenimiento cada 4 meses, para la verificación de cada uno de los componentes de los que forman parte del sistema. Para ello se realizará un primer mantenimiento en el nodo de los cultivos con la verificación del microcontrolador, la placa de transmisión inalámbrica y cada uno de los sensores. En la segunda parte del mantenimiento se lo realizará en el nodo de la oficina central con la verificación tanto de

hardware y software como la placa receptora de datos y la Raspberry PI 3B+ que sirve como Gateway para estos. Y la última fase del mantenimiento corresponde a la automatización de la compuerta de riego, en la que se verifica el estado de la compuerta que no se encuentre oxidada y en buen estado, cada uno de los componentes de esta como la carga de la batería que forma parte del módulo de reloj (DS 1302), el funcionamiento activo de la LCD y que el microcontrolador se encuentre en un buen estado.

3.12. Energía del sistema

El cálculo energético en el sistema IoT que estoy desarrollando es fundamental para garantizar su funcionamiento continuo, eficiente y seguro. Este sistema recopila datos desde múltiples sensores como 14 de humedad del suelo, uno de luz, uno de pH, además de utilizar una placa Arduino Mega, una LilyGO transmisora, otra receptora y una Raspberry Pi como Gateway, lo que implica un consumo energético significativo. Determinar con precisión cuánta energía requiere cada componente permite dimensionar adecuadamente la fuente de alimentación y prever la autonomía del sistema en campo. Además, conocer estos valores facilita implementar estrategias de ahorro energético, como el uso de modos de bajo consumo. También permite evitar sobrecargas y alargar la vida útil del hardware. Por todo esto, el cálculo energético es esencial en el diseño de un sistema IoT robusto, escalable y confiable.

Se va a considerar el cálculo para cada uno de los sensores que se están utilizando, para este caso la alimentación de cada uno de estos está de forma paralela, esto quiere decir que el voltaje se conserva, pero la corriente se suma, es por ello que tenemos lo siguiente:

$$V_t = \text{Constante}$$

1

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

2

Es necesario saber el consumo energético de cada uno de los sensores que se van a utilizar, para ello obtenemos la siguientes ecuaciones que nos ayudarán en la suma de esto:

Consumo Sensores YL-69

$$I_{YL-69} = 10mA$$

$$I_{YL-69}(14sensores) = 10mA * 14$$

$$I_{YL-69}(14sensores) = 140 mA$$

Consumo Foto-resistor KY-018

$$I_{KY-018} = 0.5mA$$

Consumo PH-4502C

$$I_{PH-4502C} = 10mA$$

Consumo total sensores (Nodo Transmisor)

$$It = I1 + I2 + I3 + \dots + In$$

$$It = 140mA + 0.5mA + 10mA$$

$$It = 150.5 mA$$

$$Vt = 5V$$

Consumo total (Compuerta de riego)**Módulo de reloj DS-1302**

$$I_{DS-1302} = 2mA$$

LCD 16x2 con I2C

$$I_{LCD} = 25mA$$

Servomotor MG – 995

$$I_{MG-995} = 2.5A$$

Consumo total compuerta

$$It = I1 + I2 + I3 + \dots + In$$

$$It = 2.5A + (2mA) + (25mA)$$

$$It = 2.527 A$$

$$Vt = 6V$$

3.13. Escalabilidad y Adaptación a Diferentes Tipos de Cultivos

La escalabilidad del sistema es un aspecto clave para asegurar que el sistema pueda adaptarse a una variedad de contextos y tipos de cultivo. Al principio, el sistema se diseñó con un enfoque en cultivos de ciclo corto, como pimiento y fréjol, pero se incorporan características que permitan su fácil adaptación a otros tipos de cultivos.

La plataforma en la nube permite a los usuarios ingresar fácilmente mediante el enlace generado por el Dashboard, lo que les permite adaptar el monitoreo y los mensajes a las necesidades particulares de cada cultivo. Por ejemplo, en estos cultivos de ciclo corto, se necesita de un monitoreo constante de la humedad del suelo, lo cual se puede verificar mediante los datos obtenidos y almacenados en la tabla.

3.14. Medición de pH en el agua de riego

La medición del pH del suelo es importante porque determina la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas. Un pH demasiado ácido puede impedir que las raíces absorban correctamente elementos como nitrógeno, fósforo, potasio, entre otros. Además, influye en la actividad de microorganismos beneficiosos que mejoran la fertilidad del suelo. Conocer el pH permite corregir desequilibrios mediante prácticas agrícolas adecuadas.

Figura 67

Medición de pH del agua de riego con pH-metro digital tipo lápiz



Fuente: Elaborado por el autor.

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se hace referencia a las pruebas que se han realizado tanto para el cultivo de pimiento como de fréjol. Se pone en práctica la implementación del sistema para poder llevar a cabo el análisis y estudio de crecimiento de los cultivos, haciendo uso del agua como recurso, posterior a esto se analiza cada característica de las plantas de cada cultivo y la comparativa entre un sembrío controlado manualmente y uno automatizado por un sistema de sensores. Para ello se separan estos análisis en dos fases completamente diferentes, denominando el cultivo controlado manualmente como (“Fase A”) y el automatizado como (“Fase B”).

4.1. Obtención de datos con el Three-Way Meter

La primera parte que se analiza es la obtención de datos con el Three-Way Meter, debido a que se llena una base de datos con las variables de riego por surcos considerada para estos dos cultivos. Las variables que se toman en cuenta para este tipo de sistema es la humedad, el pH del suelo y la luminosidad. Se toma un número random $n=20$ el cual será nuestro inicio de medición en ambos cultivos, cabe recalcar que este deberá ser diferente cada semana, cumpliendo con una toma diferente cada semana para el análisis de todo el cultivo, para ello se observa en la siguiente tabla, los datos obtenidos para la primera fase sin automatización.

4.2. Obtención de datos con el sistema aplicado

Una vez que se haya implementado el sistema con la respectiva distribución de los sensores en todo el terreno, se verifica que los datos estén almacenados de forma correcta en la tabla. Se va a obtener una lectura de estos cada 20 minutos, que es el tiempo de estimación entre toma entre muestra y muestra. Cada una de las variables será almacenada en una tabla en AWS. Se constatará de la recolección de los mismos datos procesados manualmente para ello tenemos la siguiente tabla como evidencia del almacenamiento de los datos en AWS.

H-F2	H-F2	H-F2	H-F2	H-F2	H-F2	H-F2	H-F2	H-F2	H-F2
H-F3	H-F3	H-F3	H-F3	H-F3	H-F3	H-F3	H-F3	H-F3	H-F3
H-F4	H-F4	H-F4	H-F4	H-F4	H-F4	H-F4	H-F4	H-F4	H-F4
H-F5	H-F5	H-F5	H-F5	H-F5	H-F5	H-F5	H-F5	H-F5	H-F5
H-F6	H-F6	H-F6	H-F6	H-F6	H-F6	H-F6	H-F6	H-F6	H-F6
H-F7	H-F7	H-F7	H-F7	H-F7	H-F7	H-F7	H-F7	H-F7	H-F7
H-F8	H-F8	H-F8	H-F8	H-F8	H-F8	H-F8	H-F8	H-F8	H-F8
H-F9	H-F9	H-F9	H-F9	H-F9	H-F9	H-F9	H-F9	H-F9	H-F9
H-F10	H-F10	H-F10	H-F10	H-F10	H-F10	H-F10	H-F10	H-F10	H-F10
H-F11	H-F11	H-F11	H-F11	H-F11	H-F11	H-F11	H-F11	H-F11	H-F11
H-F12	H-F12	H-F12	H-F12	H-F12	H-F12	H-F12	H-F12	H-F12	H-F12
H-F13	H-F13	H-F13	H-F13	H-F13	H-F13	H-F13	H-F13	H-F13	H-F13
H-F14	H-F14	H-F14	H-F14	H-F14	H-F14	H-F14	H-F14	H-F14	H-F14
LUM.	LUM.	LUM.	LUM.	LUM.	LUM.	LUM.	LUM.	LUM.	LUM.
PH	PH	PH	PH	PH	PH	PH	PH	PH	PH

Fuente: Elaborado por el autor.

4.2.2. Relaciones y conversiones de valores

Para la obtención de los datos, cabe mencionar que se toma la muestra analógica y el valor que marca debe ser convertido al valor tomado por el medidor analógico, es por ello que se toman en cuenta cada una de las relaciones entre los sensores y el medidor, se analizan los valores de humedad, pH y luminosidad. Para ello se tienen 3 conversiones diferentes, entre los sensores y el medidor analógica, en las siguientes tablas podemos verificar las respectivas relaciones y conversiones para la humedad, luminosidad y pH.

Tabla 26

Tabla de relaciones entre los sensores y el medidor analógico para la humedad

HUMEDAD	
Lectura analógica	Lectura digital
10	1023
9	920,7
8	818,4
7	716,1
6	613,8
5	511,5
4	409,2
3	306,9
2	204,6
1	102,3
0	0

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 27

Tabla de relaciones entre los sensores y el medidor analógico para la luminosidad

LUMINOSIDAD	
Lectura analógica	Lectura digital
2000	524
1800	471,6
1600	419,2
1400	366,8
1200	314,4
1000	262
800	209,6
600	157,2
400	104,8
200	52,4
0	0

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 28

Tabla de relaciones entre los sensores y el medidor analógico para el pH del suelo

pH SUELO	
Lectura analógica	Lectura digital
14	1023
13	949,9
12	876,9
11	803,8
10	730,7
9	657,6
8	584,6
7	511,5
6	438,4
5	365,4
4	292,3
3	219,2
2	146,1
1	73,1
0	0

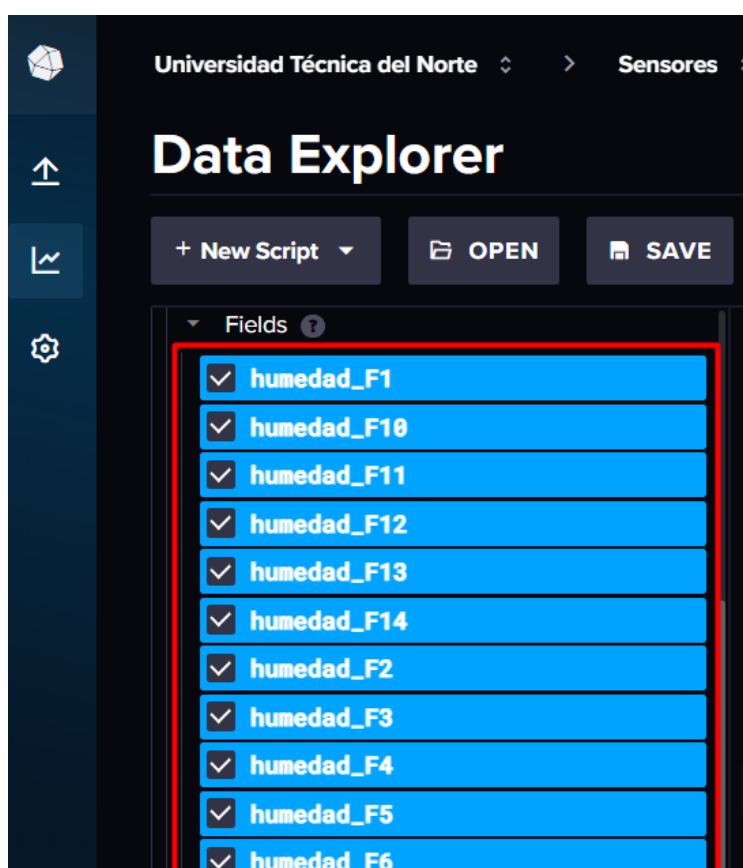
Fuente: Elaborado por el autor.

4.3. Verificación de datos mediante un Dashboard

Para la obtención de los datos en un Dashboard, es importante que una vez se hayan hecho las conexiones mediante AWS, InfluxDB y Grafana Cloud, se seleccionen cada una de las filas que nosotros queremos visualizar, para ello se toma muy en cuenta los rangos de medición de cada uno de los sensores, para establecer los puntos mínimos y máximos, estableciendo las relaciones entre los valores del Three-Way Meter y los valores de cada uno de los sensores para establecer esta relación.

Figura 69

Verificación del recibimiento de cada una de las filas de datos

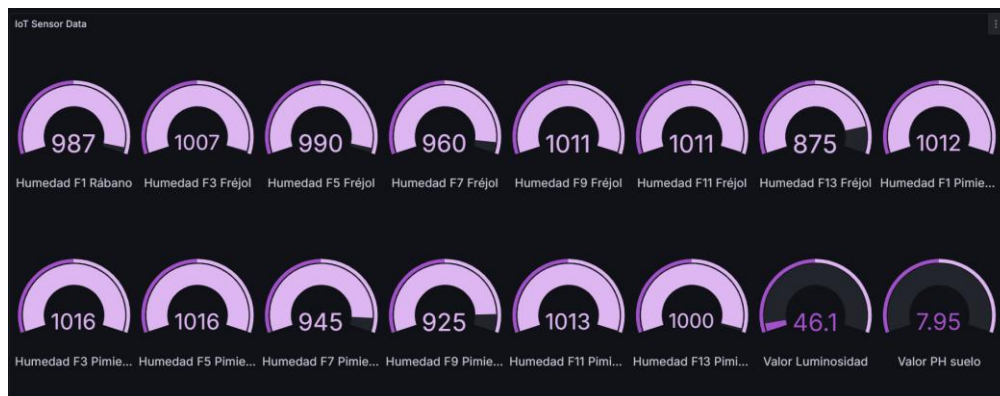


Fuente: Elaborado por el autor.

Una vez que cada una de las filas se estén recibiendo en el bucket de InfluxDB, se verifican que los datos estén llegando correctamente en Grafana, se podrá hacer el Dashboard para la visualización de estos en cada una de las filas, ya que se selecciona el modo de indicador para poder observar uno a uno los datos en el panel final y tener un mayor control de estos. En la figura 62 se observan los datos en forma de indicador de cada una de las filas de datos que llegan a AWS.

Figura 70

Visualización final de datos en Dashboard para el usuario final



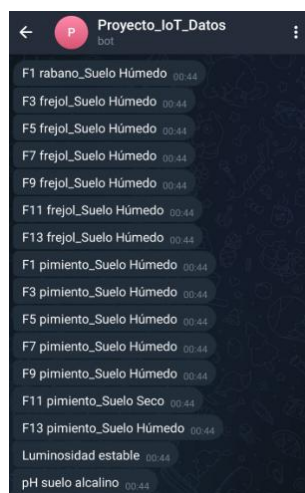
Fuente: Elaborado por el autor.

4.4. Mensajes recibidos en la App de Telegram

Es importante que una vez que se haya configurado el Bot en la aplicación, se creen las credenciales en la Raspberry PI 3B+, debido a que esta ayuda en el recibimiento de mensajes de acuerdo con las condiciones que se hayan propuesto para el sistema. A continuación, se observan la llegada de mensajes de cada una de las filas de datos con sus respectivas condiciones. Cada una de las filas llegará en forma de mensaje mostrando la condición configurada en el caso del sensor de humedad que sea húmedo o seco, en el caso del PH que se encuentre dentro de los rangos permitidos y en el caso del foto-resistor que no exceda en sus valores de luz.

Figura 71

Recibimiento de mensajes o alertas para cada una de las filas de datos



Fuente: Elaborado por el autor.

4.5. Análisis del cultivo de *Capsicum annuum*

Para este análisis se hace una muestra de las dos fases propuestas, primero para el caso de las mediciones manuales con el Three-Way Meter y después con el sistema implementado mediante el uso de sensores.

4.5.1. Altura de la planta

Para el análisis de los resultados es muy importante considerar la altura de la planta, tomando en cuenta su medida desde el tallo hasta la hoja más alta y por otra parte la medición de la raíz. El sistema IoT permite mantener condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo, tomando datos como una humedad relativa del suelo, nivel adecuado de luz y un pH. Esto puede dar lugar a plantas con alturas más uniformes, reflejando un crecimiento balanceado. En comparación, en el cultivo manual, la variabilidad en el manejo puede generar diferencias notables en la altura de las plantas debido a intervenciones menos precisas.

Al proporcionar un sistema de recolección de datos según las necesidades específicas del cultivo, el sistema IoT favorece un crecimiento más robusto y acelerado, resultando en plantas más altas. Por otro lado, en el cultivo manual, el crecimiento podría verse limitado por desequilibrios en los recursos disponibles o por respuestas tardías a cambios en las condiciones ambientales.

Para el análisis de la altura de la planta, se toma en cuenta una tabla resumen, de todos los valores que se han obtenido semana tras semana al acudir al terreno de investigación. Se toma cada valor de cada semana se hace una suma y se determina el promedio total. El análisis de la fase “A” comprende desde octubre del 2023 hasta marzo del 2024 y la fase “B”, comprende desde mayo del 2024 hasta Enero del 2025, este tiene un mayor tiempo, debido a que se podan las hojas, para que el cultivo siga vivo, obteniendo hasta 3 producciones del mismo cultivo.

Tabla 29

Tabla resumen de la altura y número de hojas entre el cultivo para la fase A y B

Semana	Altura Planta Fase A	Altura Planta Fase B	Número de hojas Fase A	Número de hojas Fase B
Semana 1	7	7	6	6
Semana 2	8	8	6	6
Semana 3	12	12	8	8
Semana 4	13	14	10	9

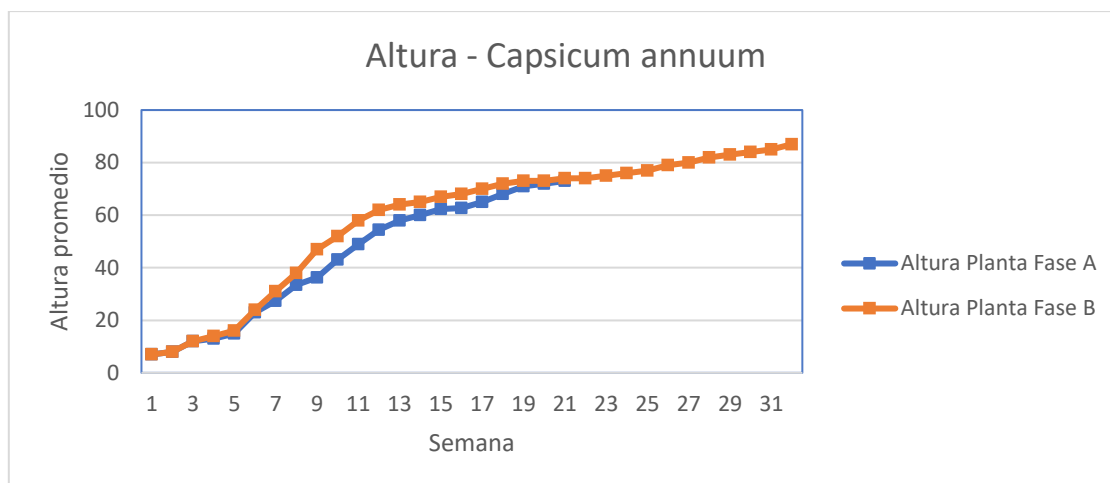
Semana 5	15	16	12	15
Semana 6	23	24	15	19
Semana 7	27	31	22	26
Semana 8	34	38	25	28
Semana 9	36	47	27	32
Semana 10	43	52	32	38
Semana 11	49	58	35	43
Semana 12	54	62	38	46
Semana 13	58	64	39	49
Semana 14	60	65	41	51
Semana 15	62	67	45	53
Semana 16	63	68	49	59
Semana 17	65	70	51	64
Semana 18	68	72	56	68
Semana 19	71	73	61	71
Semana 20	72	73	63	74
Semana 21	73	74	69	77
Semana 22		74		78
Semana 23		75		80
Semana 24		76		81
Semana 25		77		82
Semana 26		79		84
Semana 27		80		86
Semana 28		82		88
Semana 29		83		89
Semana 30		84		90
Semana 31		85		90
Semana 32		87		91

Fuente: Elaborado por el autor.

Consideramos una gran diversidad en los resultados obtenidos, debido a que, con el cuidado de forma manual, se obtienen datos de medición de altura, con un rango entre 58cm a 73cm como máximo, mientras que para los datos obtenidos con el sistema IoT aplicado, se obtienen alturas en un rango de 87cm-110cm. En las siguientes gráficas se observa la comparativa entre un promedio de alturas entre la medición manual y la automatizada. Para ello se presenta una tabla resumen del promedio de la altura de la Fase A respecto a la fase B.

Figura 72

Altura promedio de Capsicum annuum entre para la fase A y B



Fuente: Elaborado por el autor.

4.5.2. Coloración y número de hojas

La coloración en las hojas es un gran factor que se debe considerar, debido a que en la Fase A del cultivo, estas muestran un color más pálido y oscuro, mientras que en la fase B, se observa más verdoso y es más vívido en esta fase con la automatización, debido a que existe un mayor control de la plantación para esta etapa.

Figura 73

Coloración en las hojas del cultivo entre la Fase A y B

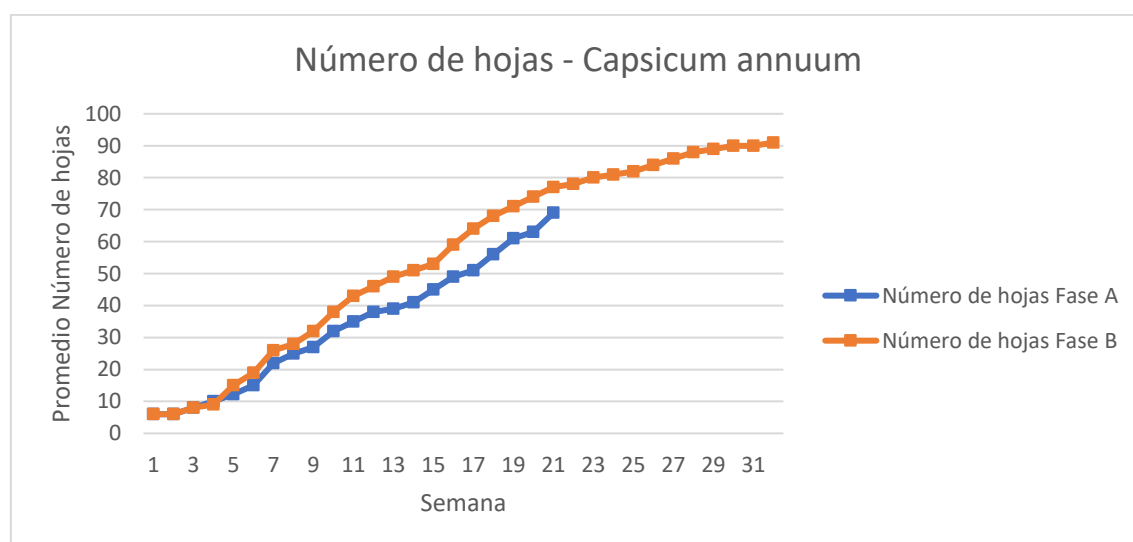


Fuente: Elaborado por el autor.

Al llevar un control más exacto del número de hojas del cultivo, se toma en cuenta que estas tendrán un mayor número de hojas ya que esta va relacionada con la altura de la planta, en el caso del control manual se tiene un rango específico entre 67 a 79 conteo de hojas, mientras que con el sistema aplicado se tiene como número máximos de hojas un conteo entre 81-109 hojas. Para el análisis de los cultivos de pimiento en la coloración de las hojas, con la implementación del sistema IoT, se espera observar una coloración más uniforme y saludable en las hojas del cultivo de pimiento. En la tabla 28 se resume el promedio de número de hojas obtenido y la gran diferencia que este muestra entre la fase A y la Fase B del cultivo. De igual forma se obtiene una tabla resumen que validan los resultados obtenidos de mejor manera en la que se observa la variación de altura y el conteo de número de hojas entre la fase A y B.

Figura 74

Conteo de hojas entre la parte manual y el automatizado



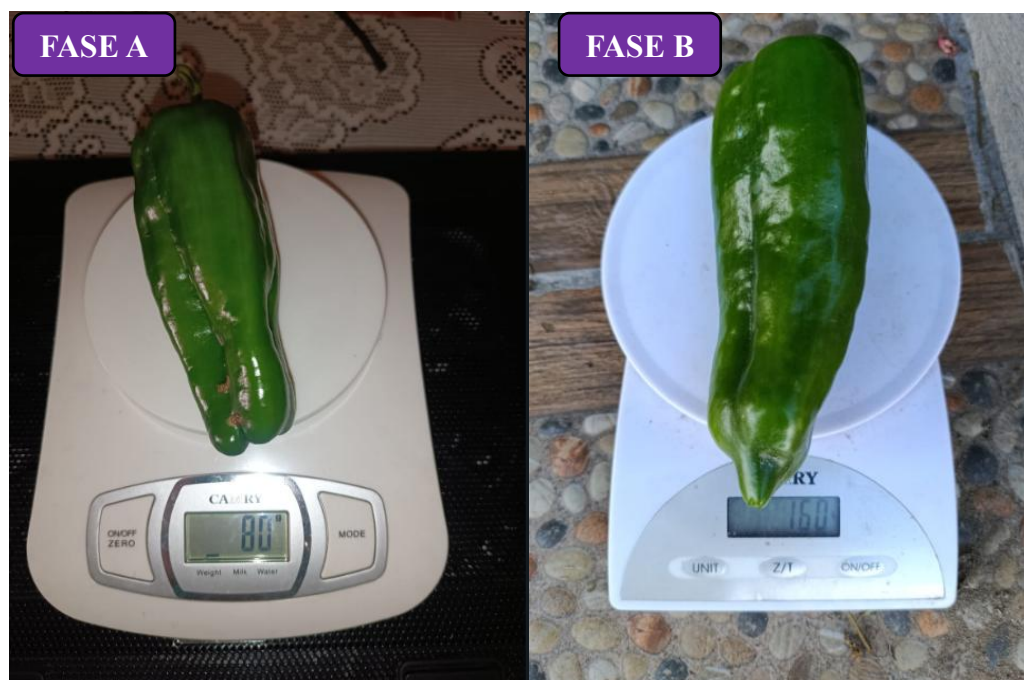
Fuente: Elaborado por el autor.

4.5.3. Peso y medida de los frutos de *Capsicum annuum*

En la instancia del análisis de los productos obtenidos como resultado se puede destacar que con el sistema IoT, se obtienen frutos de mayor peso promedio gracias al monitoreo continuo de factores como la humedad del suelo, los niveles de luz y el pH. Para la fase A se tiene pimientos entre 53g y 80g, mientras que para la fase B estos llegan a pesar entre 130g y 160g, observando una gran diferencia entre estas dos fases.

Figura 75

Peso del pimiento con control manual



Fuente: Elaborado por el autor.

4.6. Análisis del cultivo de *Phaseolus vulgaris*

Para el análisis de los resultados para este tipo de cultivo, se toma a consideración el desarrollo de una tabla resumen, el cual nos ayuda con la obtención de promedios por semana obtenidos de forma manual y con los datos ya automatizados, debido a que este nos enseña valor por semana que se tuvo de promedio tanto en altura de la planta como en número de hojas, durante las 14 semanas de ciclo de vida de la planta.

Tabla 30

*Tabla de resumen de cultivo de *Phaseolus vulgaris**

Semana	Altura Planta Fase A	Altura Planta Fase B	Número de hojas Fase A	Número de hojas Fase B
Semana 0	0	0	0	0
Semana 1	5	6	6	4
Semana 2	9	9	8	7
Semana 3	10	13	10	11
Semana 4	15	18	12	13
Semana 5	21	25	15	15
Semana 6	30	33	22	24
Semana 7	33	38	25	28
Semana 8	40	43	27	33

Semana 9	42	46	32	39
Semana 10	45	49	35	41
Semana 11	47	51	38	47
Semana 12	50	56	39	50
Semana 13	61	62	41	55
Semana 14	63	68	45	62
Semana 15	65	73	49	67

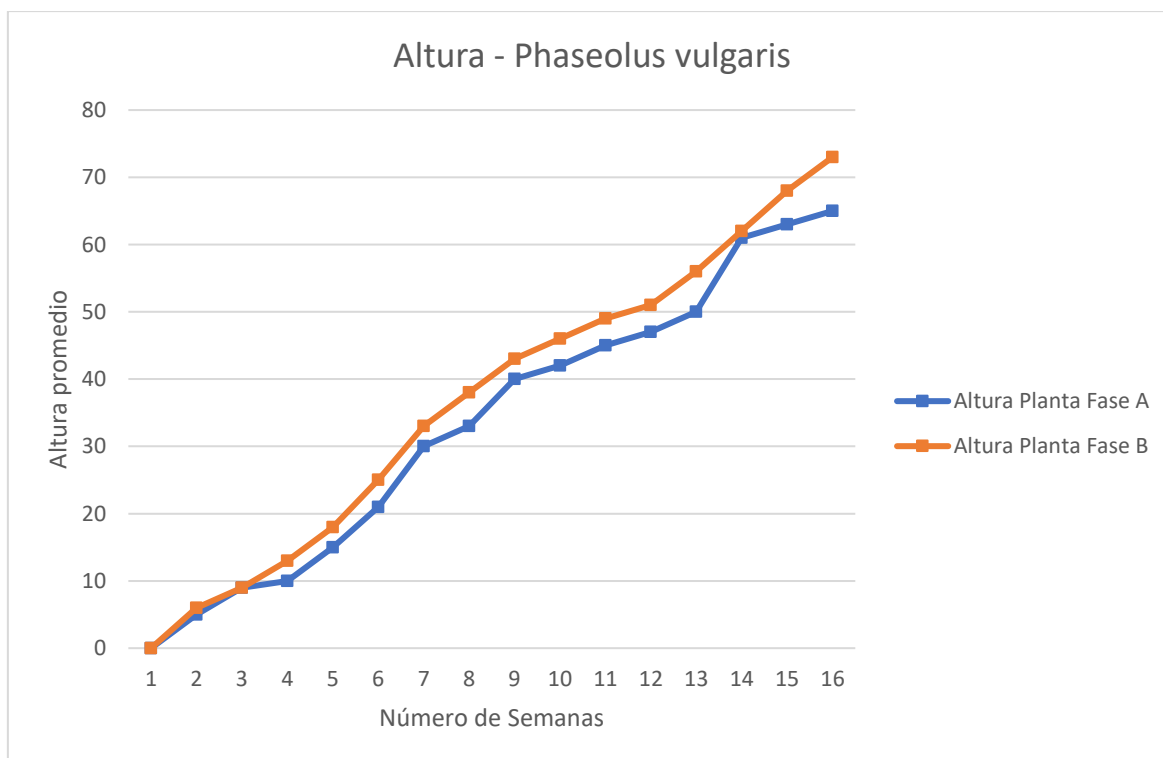
Fuente: Elaborado por el autor.

4.6.1. Altura de la planta

Consideramos una gran diversidad en los resultados obtenidos, debido a que, con el cuidado de forma manual, se obtienen datos de medición de altura, con un rango entre 57 cm a 64cm como máximo, mientras que para los datos obtenidos con el sistema IoT aplicado, se obtienen alturas en un rango de 66cm a 73cm. En las siguientes gráficas se observa la comparativa entre un promedio de alturas entre la medición manual y la automatizada.

Figura 76

Altura del fréjol entre la fase A y B



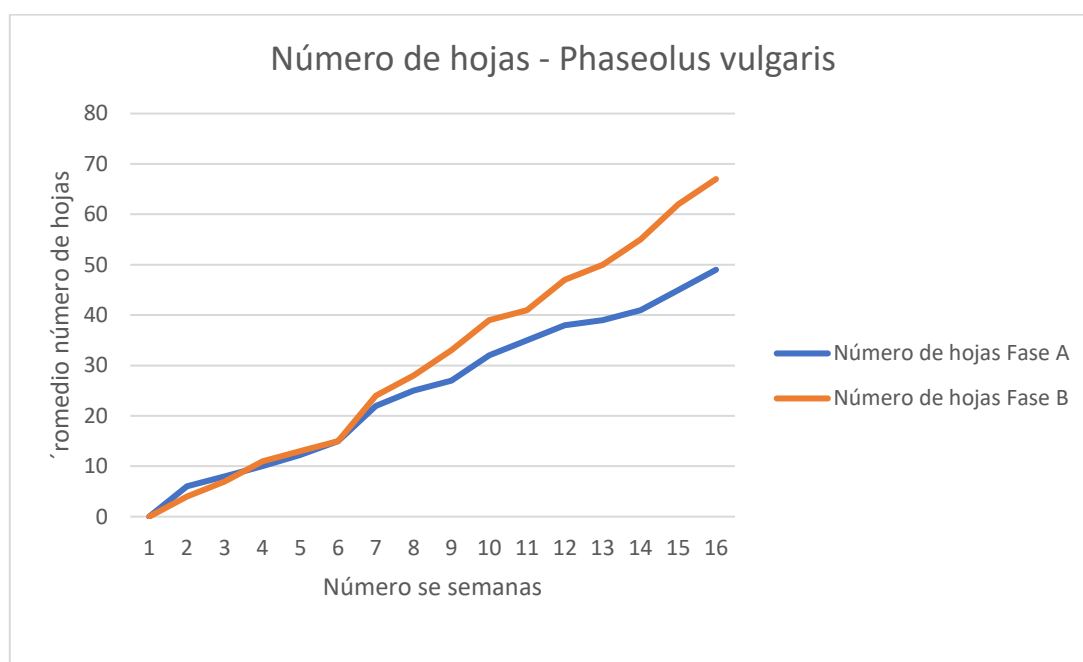
Fuente: Elaborado por el autor.

4.6.2. Coloración y número de hojas en *Phaseolus vulgaris*

En esta parte se observa una gran diferencia entre la coloración para la fase A y B, debido que existe un mayor número de variables, existe un mayor control del cultivo y de cada una de sus condiciones. Se presenta una gráfica que evidencia la diferencia entre los dos cultivos respecto al número de hojas obtenidos para este cultivo tanto en la fase A como en la fase B.

Figura 77

Promedio del número de hojas para el cultivo en la fase A y B



Fuente: Elaborado por el autor.

4.6.3. Peso y medida de los frutos de *Phaseolus vulgaris*

Para esta sección se considera la toma de muestras del producto tanto obtenido de forma manual como con el automatizado, evidenciando que el peso y el número de granos en el fréjol varía beneficiando en la producción con la automatización del sistema. Para ello se cosechan cada una de las filas de este cultivo y se hace la evaluación del porcentaje de diferencia para la fase A y para la B.

Figura 78

Peso de una fila cosechada de fréjol para la fase B



Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 31

Cosecha en gramos y libras de Phaseolus vulgaris por fila

Nº Fila	Fréjol tierno (gramos)	Fréjol seco (gramos)	
1	96	0	
2	129	29	
3	426	127	
4	341	120	
5	419	99	
6	92	58	
7	76	134	
8	115	154	
9	86	52	
10	0	0	Valor Total
Total (gramos)	1780	773	2553
Total (libras)	3,93	1,71	5,64

Fuente: Elaborado por el autor.

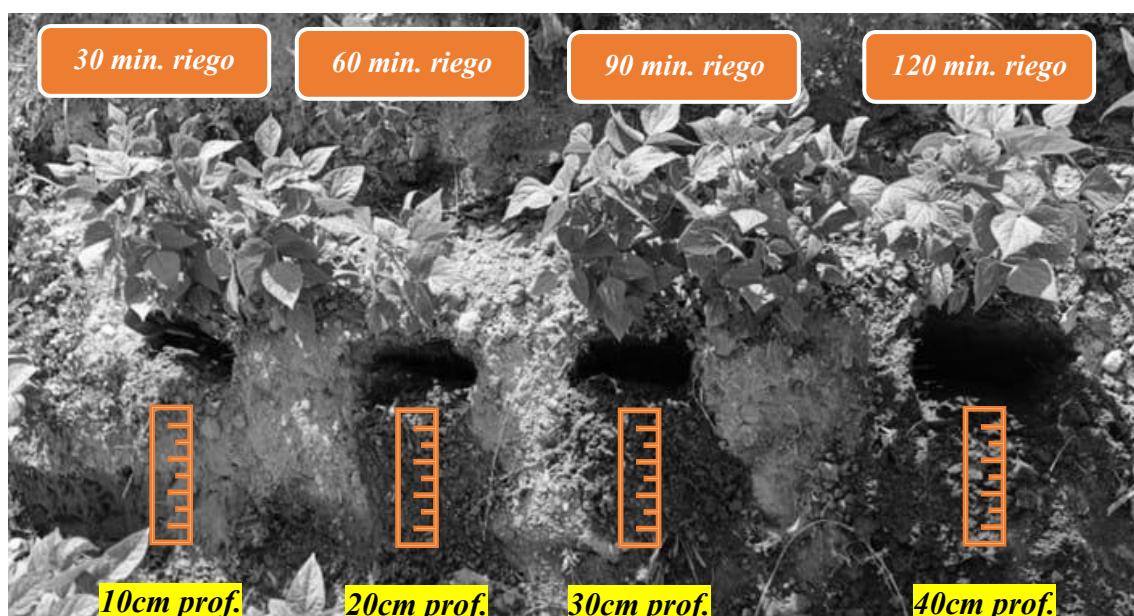
4.7. Funcionalidad del sistema de riego

4.7.1. Penetración de agua en el suelo

Para el cálculo de la profundidad que penetra el agua en el suelo, se realizó una práctica en la que se hacen huecos a 10cm, 20cm, 30cm y 40cm, poder decir que, una vez transcurrido un riego permanente de 2 horas con 09 minutos, llegar a saber que el agua penetra 10cm al transcurrir 30 minutos, por lo que se llega a concluir que es suficiente el riego de 30 minutos todos los días para solventar las necesidades de estos tipos de cultivos.

Figura 79

Medición de penetración de agua en el suelo



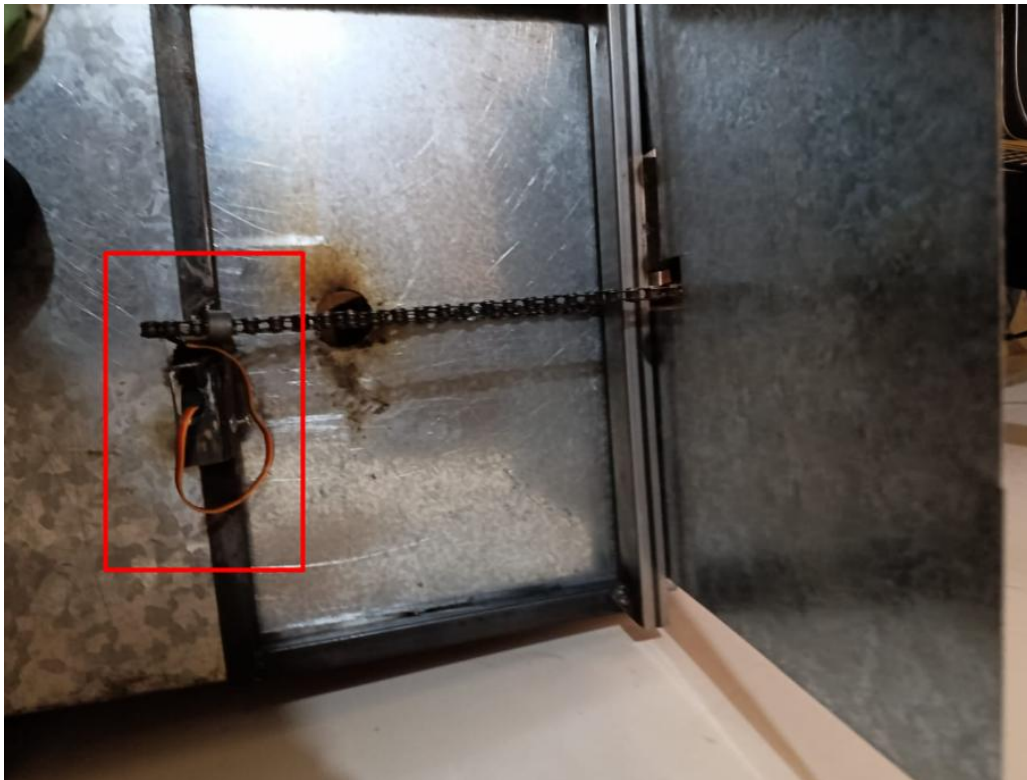
Fuente: Elaborado por el autor.

4.7.2. Pruebas de riego con compuerta mecánica

Para esta parte del sistema de riego se ha considerado una compuerta con un motor el cual va a accionar que todos los días se levante la compuerta a las 16:00 horas y que se cierre a las 16:30 pm. Se consideró al inicio un riego de 2 horas debido a que la penetración del agua en el suelo es de 10cm por cada media hora de riego. Pero para la parte automatizada se llegó a considerar un punto de riego máximo de 30 minutos todos los días para lo cual el servomotor abre la compuerta en horas específicas y de igual forma la cierra.

Figura 80

Compuerta de riego con la implementación del servomotor



Fuente: Elaborado por el autor.

4.8. Costos del sistema

Para esta sección se va a hacer el cálculo total de todo el sistema que se ha implementado, esto constará la parte del transmisor, nodo receptor y la parte automatizada del riego. Además, se toma en cuenta los valores de gastos adicionales que forman parte del proyecto y también costos de infraestructura.

4.8.1. Costos de Hardware

Es importante saber cada uno de los costos de Hardware que se están utilizando, es decir cada uno de los componentes de los que forman parte del sistema, esto incluye la parte del nodo del transmisor, la parte de la oficina como nodo receptor y la parte de automatización de la compuerta en costos reales.

Tabla 32*Tabla de costos de Hardware para el sistema*

COSTOS - HARDWARE				
Equipos	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Microcontrolador Arduino Mega 2560	unidad	1	\$ 32,00	\$ 32,00
Microcontrolador Arduino Uno R3	unidad	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Sensor YL-69	unidad	14	\$ 3,80	\$ 53,20
Foto-Resistor KY-018	unidad	1	\$ 2,75	\$ 2,75
Sensor de ph con sonda PH-4502C	unidad	1	\$ 23,50	\$ 23,50
LilyGO TTGO T3 (ESP32)	unidad	2	\$ 55,00	\$ 110,00
Raspberry PI 3B+	unidad	1	\$ 180,00	\$ 180,00
Servomotor MG-995	unidad	1	\$ 22,50	\$ 22,50
LCD 16x2 con módulo I2C	unidad	1	\$ 7,50	\$ 7,50
Módulo de reloj DS-1302	unidad	1	\$ 2,50	\$ 2,50
Jumpers o cables de conexión (macho-macho)	unidad	120	\$ 0,08	\$ 9,60
Jumpers o cables de conexión (hembra-hembra)	unidad	120	\$ 0,08	\$ 9,60
Jumpers o cables de conexión (hembra-macho)	unidad	120	\$ 0,08	\$ 9,60
Protoboard (200 puntos)	unidad	1	\$ 3,50	\$ 3,50
Protoboard (1000 puntos)	unidad	1	\$ 7,50	\$ 7,50
Cable UTP - Categoría 5	metros	60	\$ 0,40	\$ 24,00
Cable UTP - Categoría 6	metros	35	\$ 0,60	\$ 21,00
Cable de red RJ45 certificado	metros	4	\$ 1,80	\$ 7,20
Cargador para Arduino 9V-3A	unidad	1	\$ 8,50	\$ 8,50
Cargador para Raspberry 6V-2A	unidad	1	\$ 5,25	\$ 5,25
Cargador de voltaje variable para Arduino - 3A	unidad	1	\$ 13,50	\$ 13,50
TOTAL				\$ 578,20

Fuente: Elaborado por el autor.**4.8.2. Costos de software**

Para los costos de software es importante considerar cada una de las plataformas que se van a utilizar, tanto las plataformas para la configuración de cada uno de los equipos como para la subida de datos a la nube.

Tabla 33*Tabla de costos de software para el sistema*

COSTOS - SOFTWARE			
Software	Cantidad	Precio Unitario (USD) /MES	Subtotal (USD)
Arduino IDE	1	\$ 0,00	\$ 0,00
Amazon Web Service (Licencia - IAM)	1	\$ 0,00	\$ 0,00
Amazon Web Service (Licencia - DynamoDB)	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Interfaz InfluxDB	1	\$ 23,00	\$ 23,00
Grafana Cloud	1	\$ 19,00	\$ 19,00
Interfaz de Telegram	1	\$ 0,00	\$ 0,00
TOTAL			\$ 67,00

Fuente: Elaborado por el autor.**4.8.3. Costos de Infraestructura**

Es importante considerar este tipo de costos, debido a que cada sistema debe ser levantado de alguna forma, esto debe considerar la protección para el sistema y alguna base que sostenga de este, son complementos que forman parte importante de infraestructura para el sistema.

Tabla 34*Tabla de costos de infraestructura para el sistema*

COSTOS - INFRAESTRUCTURA				
Infraestructura	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Soporte de metal (nodo transmisor)	unidad	1	\$ 45,00	\$ 45,00
Compuerta metálica (automatización de riego)	unidad	1	\$ 160,00	\$ 160,00
Caja de hermetización para compuerta	unidad	1	\$ 3,50	\$ 3,50
Cubierta de vidrio para nodo transmisor	unidad	1	\$ 17,00	\$ 17,00
Cinta adhesiva doble faz	rollo (5m)	2	\$ 10,00	\$ 20,00
Amarras 20 cm	funda	1	\$ 1,50	\$ 1,50
Plástico de polarización de vidrio	metros	2	\$ 5,50	\$ 11,00
TOTAL				\$ 258,00

Fuente: Elaborado por el autor.

4.8.4. Costos Adicionales

Estos costos adicionales forman parte igual para el desarrollo del proyecto, debido a que estos son importantes para que este sea realizado a pesar de ser adicionales.

Tabla 35

Costos adicionales para el levantamiento de cultivos y sistema

COSTOS - ADICIONALES			
ADICIONAL	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Costo - pasaje (bus)	108	\$ 0,95	\$ 102,60
Costo - camioneta	108	\$ 1,00	\$ 108,00
Semilla pimienta	2000	\$ 0,09	\$ 180,00
semilla fréjol	5	\$ 1,50	\$ 7,50
remedios de fumigación	2	\$ 20,00	\$ 40,00
Abono químico	5	\$ 4,50	\$ 22,50
TOTAL			\$ 460,60

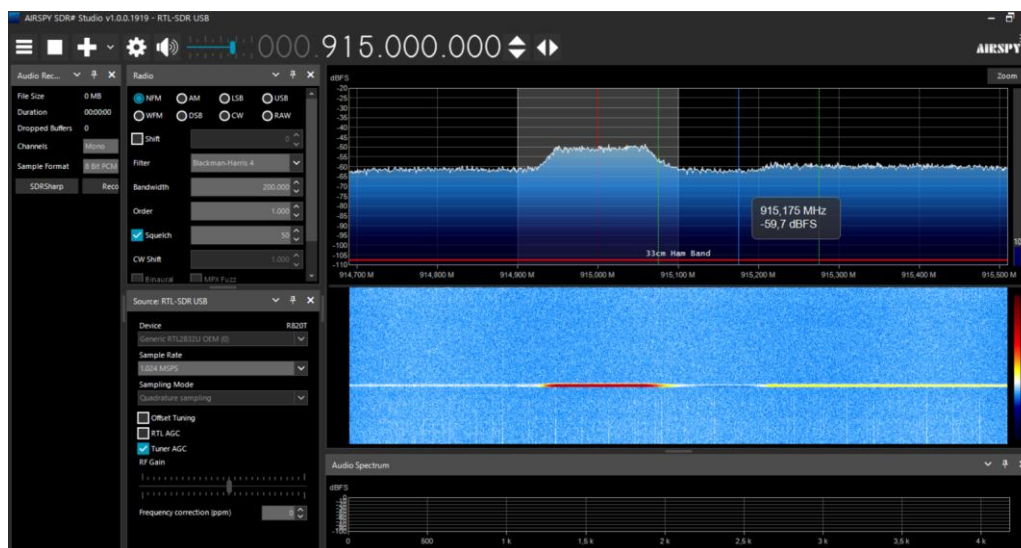
Fuente: Elaborado por el autor.

4.9. Validación de trabajo de frecuencia con un SDR

La validación de la frecuencia de trabajo en un sistema IoT es un paso crítico para asegurar que las comunicaciones inalámbricas se realicen correctamente y sin interferencias. En el proyecto, que utiliza dispositivos LoRa, fue esencial confirmar que operaban en la frecuencia de 915 MHz. Para ello, utilicé un analizador SDR SHARP V3, que me permitió visualizar y verificar la señal emitida por la LilyGO T3. Esta comprobación garantiza que los dispositivos están configurados adecuadamente y que no se están generando emisiones fuera de banda. Validar la frecuencia también ayuda a optimizar el alcance y la estabilidad de la comunicación.

Figura 81

Validación de frecuencia de transmisión y recepción de datos a 915 MHz con un SDR



Fuente: Elaborado por el autor.

CONCLUSIONES

La investigación exhaustiva sobre los factores que influyen en el rendimiento de los cultivos de *Capsicum annuum* y *Phaseolus vulgaris* ha demostrado que el manejo adecuado del riego y el monitoreo constante de variables clave, como la humedad, luminosidad y la calidad del suelo (pH), son determinantes en la productividad de estos cultivos.

La creación de un sistema de recolección de datos específico para las variables de riego por surcos resulta ser una herramienta clave para la optimización del uso del agua y el crecimiento saludable de los cultivos. El diseño del sistema ha permitido la recopilación precisa de datos en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones informadas sobre el riego, asegurando que los cultivos reciban la cantidad adecuada de agua, sin excesos ni deficiencias.

La implementación del sistema de riego por surcos ha permitido un uso más eficiente del agua, un recurso fundamental para los cultivos de ciclo corto. La medición precisa y la gestión adecuada de las variables de riego, con la ayuda del sistema desarrollado, ha optimizado el consumo de agua, evitando tanto el desperdicio como el riesgo de escasez.

El almacenamiento de los datos obtenidos a través de sensores en la nube y su visualización en un Dashboard facilita el monitoreo remoto y el control de los cultivos. La implementación de esta tecnología ha sido clave para la toma de decisiones eficientes y la mejora continua de los procesos de cultivo, permitiendo a los agricultores gestionar sus cultivos de manera más efectiva y aumentar la productividad de manera sostenible.

RECOMENDACIONES

Es recomendable estudiar a fondo cada una de estas variables, debido a que eso determinará el crecimiento en los cultivos y la obtención de los productos, se debe ampliar los datos de recolección de variables de riego por surcos para evaluar su eficacia a mayor escala.

Es esencial proporcionar formación continua a los agricultores sobre el uso adecuado de las tecnologías de monitoreo y control del riego. Es por ello por lo que a pesar de que los datos son visualizados en un Dashboard, estos muchas veces no pueden ser leídos de forma sencilla y clara, por lo que de ser el caso se deberá brindar una capacitación para el entendimiento tanto del levantamiento del sistema como del estudio de este y los resultados obtenidos.

Se recomienda hacer del sistema que sea apto y escalable para todo tipo de cultivo, debido a que ayudará en la diversificación de los recursos y el monitoreo integral de los cultivos, para el caso se toma en cuenta las 3 variables de riego por surcos, pero se pueden considerar otras variables dependiendo el cultivo y el ciclo de vida de este.

Se recomienda investigar y aplicar tecnologías de automatización de compuertas de riego, debido a que estas pueden ayudar en la optimización del recurso hídrico para los cultivos, prmitiendo un paso de agua por un tiempo determinado y que los cultivos mantengan las mismas características y los mismos rangos de crecimientos y resultados finales al obtener buenos productos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aepla. (28 de Abril de 2023). *Buenas prácticas: ¿Cómo cuidar el suelo agrícola?* - *Blog Aepla*. Obtenido de Aepla: <https://blog.aepla.es/buenas-practicas-cuidado-suelo-agricola/>
- Agropinos. (11 de Noviembre de 2022). *¿Cómo puede mejorar el cuidado de sus cultivos?* Obtenido de Agropinos: <https://www.agropinos.com/blog/proteccion-de-suscultivos>
- Alarcón, M. A. (2020). *Dialnet*. Obtenido de Arquitectura IoT para el desarrollo de sistemas de monitorización y análisis de variables fisiológicas en el área de asistencia médica: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7799074>
- Amaya, O. E. (18 de diciembre de 2020). *RIUD Principal* . Obtenido de Evaluación de sistema de riego por goteo automatizado con energía fotovoltaica para cultivos de cebolla en Duitama: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/29881>
- Ameet, J. (2021). Azure Machine Learning. *Learning e Inteligencia Artificial*. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-26622-6_22
- Arohuanca, J. W., & Pinazo, S. B. (29 de junio de 2020). Obtenido de Evaluación y monitoreo de la calidad ambiental del agua en el proyecto sistema de riego Canal N, provincia de Melgar – Puno, Perú: <https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/view/936>
- Ascencios, D., & Meza, K. (2020). *Revista de Investigaciones Altoandinas*. Obtenido de Calibración, validación y automatización del sistema de riego por goteo subterráneo usando un microcontrolador Arduino: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572020000100095
- Barrionuevo, M. (2021). Estrategias de pre-procesamiento de datos para el análisis de tráfico de redes como problema big data. *Universidad Nacional de la Plata*. Obtenido de <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/130444>
- Bellido, B. S. (07 de febrero de 2020). Obtenido de Evaluación de la distribución del agua en sistemas de riego por aspersión estacionarios con viento: <https://idus.us.es/handle/11441/94149>

- Bernal, M. G., & Silvera, C. M. (2020). *Tierra Latinoamericana*. Obtenido de Respuesta del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Quivicán a la aplicación de medicamentos homeopáticos:
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792020000100137&script=sci_arttext
- Buades, M. S. (2020). *Universidad Alicante*. Obtenido de ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN HISTÓRICA: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/5146/1/RHM_01_05.pdf
- Calderón, A. M., & Linares, P. V. (junio de 2020). *Biota colombiana*. Obtenido de Caracterización funcional de plantas y su utilidad en la selección de especies para la restauración ecológica de ecosistemas altoandinos:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-53762020000100001&script=sci_arttext
- Cenicaña. (06 de Abril de 2015). *Cenicaña*. Obtenido de Riego por surcos:
<https://www.cenicana.org/riego-por-surcos/>
- Chávez, C., & Fuentes, C. (septiembre de 2010). Obtenido de Uso eficiente del agua de riego por gravedad utilizando yeso y poliacrilamida:
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792010000300005&script=sci_arttext
- Chávez, C., & Hernández, J. L. (2019). Obtenido de DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL RIEGO POR GRAVEDAD EN LOS:
<https://www.riego.mx/congresos/comeii2019/docs/ponencias/extenso/COMeII-19054.pdf>
- Choque, A. (2020). *Universidad Católica Boliviana*. Obtenido de Metodología de Desarrollo de Sistema IoT con LoRaWAN para la Agricultura:
https://www.researchgate.net/profile/Hernan-Choque/publication/364214016_IoT_System_Development_Methodology_with_LoraWan_for_Agriculture/links/633f58c4ff870c55ce06b007/IoT-System-Development-Methodology-with-LoraWan-for-Agriculture.pdf
- Chumpitaz, H. A. (2020). Obtenido de Diseño e implementación de un sistema de riego por goteo automatizado para una hectárea de cultivo de durazno en el distrito de La Isla - Asia, Cañete: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3354>

- Codeluppi, G., & Cilfone, A. (4 de abril de 2020). *Universidad de Parma*. Obtenido de LoRaFarM: A LoRaWAN-Based Smart Farming Modular IoT Architecture: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/7/2028>
- Cortilla, J. (2021). Datos, herramientas digitales y aprendizaje significativo: un análisis en el contexto educativo actual. *Datos y megadatos* . Obtenido de <https://dm.saludcyt.ar/index.php/dm/article/view/96>
- Costa, L. (18 de Agosto de 2022). *AuE RIEGO*. Obtenido de Origen del riego: <https://aueriego.com/?id=origen-del-riego&in=292>
- Cotrim, J. R., & Kleinschmidt, J. H. (31 de julio de 2020). Obtenido de LoRaWAN Mesh Networks: A Review and Classification of Multihop Communication: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/15/4273>
- Cruz, M. d., & Paez, M. (2023). Diseño de arquitectura en cloud computing para mejorar la disponibilidad de un e-commerce de equipos informáticos. *Universidad San Ignacio de Loyola*. Obtenido de <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/df1854cb-ba08-49a8-99db-99c2094cffe1>
- Cuchí, J. A. (1 de junio de 2015). Obtenido de Aportaciones a la evolución del sistema de riegos del Isuela en la ciudad de Huesca: <https://revistas.iea.es/index.php/JC/article/view/549>
- David. (10 de Enero de 2020). *Agenda 2030: Así contribuye Envera a once objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de Envera: https://grupoenvera.org/agenda-2030-asi-contribuye-envera-once-los-objetivos-desarrollosostenible/?gclid=CjwKCAjwvfm0BhAwEiwAG2tqzNfT3q4QXn6ZmrRgySQ6c4OIahNKLrYKRJEwgSmWkBMJpZuroSyoxoCRysQAvD_BwE#anchor
- Espinosa, A., & Ponte, D. (enero de 2020). Obtenido de Estudio de Sistemas IoT Aplicados a la Agricultura Inteligente: <https://jadimike.unachi.ac.pa/handle/123456789/717>
- Fundación AQUAE. (22 de Septiembre de 2021). *El consumo de agua en la agricultura de regadío*. Obtenido de Fundación AQUAE:

<https://www.fundacionaquae.org/wiki/5-000-litros-de-agua-1-kilo-de-arroz-el-uso-delagua-en-la-agricultura/>

García, A. (mayo de 2020). *RIVAR (Santiago)*. Obtenido de Sistemas de riego y agricultura prehispánica en el centro oeste de Argentina:

https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-49942020000200022&script=sci_arttext&tlng=pt

González, F. (2019). *Ministerio de Agricultura*. Obtenido de Principios básicos del riego por superficie: <https://digital.csic.es/handle/10261/18632>

Huamani, E. A. (2020). *Repositorio de la Universidad César Vallejo*. Obtenido de Comportamiento hidráulico del sistema de riego por aspersión mediante herramientas computacionales, Paras, Ayacucho 2020:

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63382>

Kufakunesu, R., & Hancke, G. (5 de septiembre de 2020). Obtenido de Una encuesta sobre optimización adaptativa de la velocidad de datos en LoRaWAN: soluciones recientes y principales desafíos: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/18/5044>

Las Naciones Unidas en Ecuador. (s.f.). *Sustainable Development Goal 13: Acción por el Clima*. Obtenido de Las Naciones Unidas en Ecuador:

<https://ecuador.un.org/es/sdgs/13>

Las Naciones Unidas en Ecuador. (s.f.). *Sustainable Development Goal 15: Vida de ecosistemas terrestres*. Obtenido de Las Naciones Unidas en Ecuador:

<https://ecuador.un.org/es/sdgs/15>

Las Naciones Unidas en Ecuador. (s.f.). *Sustainable Development Goal 6: Agua limpia y saneamiento*. Obtenido de Las Naciones Unidas en Ecuador:

<https://ecuador.un.org/es/sdgs/6>

Las Naciones Unidas en Ecuador. (s.f.). *Sustainable Development Goal 9: Industria, innovación e Infraestructura*. Obtenido de Las Naciones Unidas en Ecuador:

<https://ecuador.un.org/es/sdgs/9>

León, E. (2021). Propuesta de modelo de adopción de Cloud Computing en la implementación de un sistema de control de inventario en las PYMEs del sector

- ferretero de la ciudad de Machala. *Repositorio UTEG*. Obtenido de <http://204.199.82.243:8080/handle/123456789/1465>
- León, G. S., & León, E. E. (diciembre de 2020). *Siembra*. Obtenido de Evaluación del desempeño del riego por aspersión en lotes con cultivo de banana en Chiapas, México: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2477-88502020000100001&script=sci_arttext
- Limachi, J. (2020). Diseño de un sistema de información territorial de vias municipio de El Alto. *Universidad Mayor San Andres*. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/30835>
- Lopera, J. O. (2020). Obtenido de Diseño de un sistema acuapónico monitoreado mediante internet de las cosas e inteligencia artificial: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n47/a20v41n47p05.pdf>
- LópezHurtado, M. A. (10 de agosto de 2020). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. Obtenido de 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>
- Millian, O. M., & Manrique, O. B. (diciembre de 2019). *Revista de Ciencia y Tecnología*. Obtenido de Análisis del consumo de agua y energía en el riego por surcos: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-75872019000200003&script=sci_arttext
- Nurelmadina, N., & Hasan, M. K. (1 de enero de 2021). *Universidad de Taibah*. Obtenido de A Systematic Review on Cognitive Radio in Low Power Wide Area Network for Industrial IoT Applications: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/1/338>
- Onumanyi, A., & Abu-Mahfouz, A. (30 de noviembre de 2020). *Universidad de Pretoria*. Obtenido de Low Power Wide Area Network, Cognitive Radio and the Internet of Things: Potentials for Integration: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/23/6837>
- Ortiz, A. T., & Fajardo, C. H. (2020). *3Universidad Santo Tomás*. Obtenido de Propuesta De Un Marco General Para El Despliegue: <https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Fajardo->

Toro/publication/339616405_Proposal_for_a_General_Framework_for_the_Deployment_of_Smart_Cities_Supported_in_the_Development_of_IoT_in_Colombia/links/5e5c81384585152ce8ff2d4c/Proposal-for-a-General-Framework

Palacios, A. P. (2020). Obtenido de Seguridad informática :

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=UCjnDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Seguridad+del+sistema+2020&ots=-IU_io5Ph9&sig=yuiX4lZK-Vyz9m1v_z9f9v88zLM#v=onepage&q=Seguridad%20del%20sistema%202020&f=false

Pérez, T. H., & Gómez, M. d. (2020). Obtenido de Capsicum annum (pimiento picante): Un antiguo cultivo latinoamericano con destacados compuestos bioactivos y potencial nutraceutico. Una revisión:

<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1541-4337.12634>

Robles, C. A. (2011). *Universidad de Córdoba*. Obtenido de Origen y evolución de los sistemas de riego, ingenios hidráulicos y abastecimiento de agua de la acequia gorda del río Genil en Granada:

<http://www.acequiagorda.es/wargg/index.php/origen-y-evolucion-de-los-sistemas-de-riego>

Robles, J. S., & Muros, L. T. (26 de junio de 2020). Obtenido de Educación, etnobotánica y rescate de saberes ancestrales en el Ecuador:

<https://www.revistaespacios.com/a20v41n23/a20v41n23p14.pdf>

Roman, M. (2020). Prevención del delito y despliegue territorial de la policía en la Ciudad de México. Evidencia a debate. *Revista Criminalidad*. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-31082021000200067&script=sci_arttext)

[31082021000200067&script=sci_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-31082021000200067&script=sci_arttext)

Rosado, P. (2019). Vistas panorámicas sobre el patrimonio visual colectivo a través de redes neuronales convolucionales. Las exposiciones Revolutionary Arkive y Mnemosyne 2.0 de Pilar Rosado. *Universidad de Barcelona*. Obtenido de <https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/178916>

Rozo, F. (2019). *Revista UIS Ingenierías*. Obtenido de Revisión de las tecnologías presentes en la industria:

<https://www.redalyc.org/journal/5537/553768132019/553768132019.pdf>

- Salazar, D. (2010). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO*. Obtenido de DISEÑO DE UN PROCESO DE TRATAMIENTO PARA REMOVER LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y LA CARGA BACTERIANA DE LAS AGUAS DEL RÍO CHILCA PARA USOS DE RIEGO AGRÍCOLA :
<https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1c190239-bfd6-4563-aea5-11bea5198329/content>
- Sgargi, C. (16 de Junio de 2022). *Sensores para la agricultura*. Obtenido de Agricolus:
<https://www.agricolus.com/es/tecnologias/sensores-para-la-agricultura/>
- Suannavas, A. (2020). En el contexto de la informática y la gestión de información, la investigación de datos se presenta como una disciplina esencial para revelar patrones, tendencias y conocimientos valiosos desde conjuntos extensos. Este procedimiento abarca la utilización . *Torrosa*. Obtenido de
<https://www.torrossa.com/en/publishers/ediciones-universidad-de-salamanca.html>
- Suástegui, J. M., & Silvera, C. M. (2020). *Terra Latinoamericana*. Obtenido de La Homeopatía incrementa la tolerancia al estrés por NaCl en plantas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Quivicán:
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792020000100149
- Sued, G. (2021). Repertorio de técnicas digitales para la investigación con contenidos generados en redes sociodigitales. *PAAKAT: revista de tecnología y sociedad*. Obtenido de
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-36072020000200002
- Vásquez, V. S., & Vasquez, G. E. (2020). *Doalnet* . Obtenido de Control químico de malezas en fincas de arroz (*Oryza sativa* L.), en el sistema de riego y drenaje Babahoyo, Ecuador: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7398045>
- Videla, E. (2021). Evaluación de algoritmos de agrupamientos para inferir estructura genética poblacional en datos genómicos. *Universidad Nacional de Cordova* . Obtenido de <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/20184>

Yumizaca, L. C. (2023). Obtenido de Revisión de la literatura sobre el uso del Internet Of Things enfocada a la atención hospitalaria:
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25117>

Zurawik, A., & Jadcak, D. (2020). *Plant Soil and Environment*. Obtenido de Macro- and micronutrient content in selected cultivars:
<http://www.agriculturejournals.cz/pdfs/pse/2020/04/03.pdf>

ANEXOS

ANEXO A.- Código de Arduino Almacenamiento de variables de los sensores

```
// Pines de sensores
const int humedadPins[14] = {A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13}; // Pines para 14 sensores de humedad
const int luminosidadPin = A14; // Pin para sensor de luminosidad
const int phPin = A15; // Pin para sensor de pH

// Configuración de comunicación Serial
#define LILYGO_SERIAL Serial2 // Usar Serial2 para comunicarse con el ESP32 (TX2 y RX2 en Mega)

void setup() {
  // Inicializar Serial para depuración
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Iniciando lectura de sensores...");

  // Inicializar Serial2 para comunicar con el ESP32
  LILYGO_SERIAL.begin(9600);
}

void loop() {
  // Crear un arreglo para almacenar los valores de los sensores
  int sensorValues[16];

  // Leer y almacenar los valores de los 14 sensores de humedad
  for (int i = 0; i < 14; i++) {
    sensorValues[i] = analogRead(humedadPins[i]);
  }

  // Leer y almacenar el valor del sensor de luminosidad
  sensorValues[14] = analogRead(luminosidadPin);

  // Leer y almacenar el valor del sensor de pH
  sensorValues[15] = analogRead(phPin);

  // Enviar los valores al ESP32 como un vector en formato CSV
  LILYGO_SERIAL.print("[");
  for (int i = 0; i < 16; i++) {
    LILYGO_SERIAL.print(sensorValues[i]);
    if (i < 15) {
      LILYGO_SERIAL.print(", ");
    }
  }
  LILYGO_SERIAL.println("]");

  // Mostrar los valores en el Monitor Serial del Mega
  Serial.print("[");
```

```

for (int i = 0; i < 16; i++) {
    Serial.print(sensorValues[i]);
    if (i < 15) {
        Serial.print(", ");
    }
}
Serial.println("]");

delay(5000); // Leer y enviar los valores cada 5 segundos
}

```

ANEXO B.- Código de Lilygo T3 - LoRA (Transmisor -TX)

```

#include <LoRa.h>
#include <SPI.h>

// Pines para el módulo LoRa
#define SCK 5
#define MISO 19
#define MOSI 27
#define SS 18
#define RST 14
#define DI00 26

#define BAND 915E6 // Frecuencia de operación (ajusta según tu región)

void setup() {
    Serial.begin(9600); // Comunicación con el Arduino Mega
    Serial2.begin(9600); // Monitor Serial para depuración

    // Inicio del LoRa
    SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);
    LoRa.setPins(SS, RST, DI00);
    //exepcion de error
    if (!LoRa.begin(BAND)) {
        Serial2.println("Error al inicializar LoRa.");
        while (1);
    }

    Serial2.println("LilyGO T3 listo para transmitir.");
}

void loop() {
    if (Serial.available()) {
        String incomingData = Serial.readStringUntil('\n'); // Leer datos del
        Arduino Mega

        // Envio datos LoRa
    }
}

```

```

    LoRa.beginPacket();
    LoRa.print(incomingData);
    LoRa.endPacket();

    // Mostrar los datos enviados en el Monitor Serial
    Serial2.println("Datos enviados por LoRa: " + incomingData);
  }
}

```

ANEXO C.- Código de Lilygo T3 - LoRA (Receptor - RX)

```

#include <LoRa.h>
#include <SPI.h>

// Pines para el módulo LoRa
#define SCK 5
#define MISO 19
#define MOSI 27
#define SS 18
#define RST 14
#define DI00 26

// Frecuencia de operación (ajusta según tu región)
#define BAND 915E6

void setup() {
  Serial.begin(115200); // Comunicación con la Raspberry Pi
  Serial2.begin(9600); // Monitor Serial para depuración

  // Configuración del LoRa
  SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);
  LoRa.setPins(SS, RST, DI00);

  if (!LoRa.begin(BAND)) {
    Serial2.println("Error al inicializar LoRa.");
    while (1);
  }

  Serial2.println("LilyGO T3 listo para recibir.");
}

void loop() {
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {
    // Leer los datos recibidos por LoRa
    String receivedData = "";
    while (LoRa.available()) {
      receivedData += (char)LoRa.read();
    }
  }
}

```

```

// Mostrar los datos recibidos en el Monitor Serial
Serial2.println("Datos recibidos: " + receivedData);
Serial.println(receivedData);

// Enviar los datos a la Raspberry Pi por Serial
Serial.print(receivedData);
}

```

ANEXO D.- Código de Raspberry PI 3B+ (Gateway)

```

import serial
import requests
import time
import boto3
from botocore.exceptions import NoCredentialsError,
PartialCredentialsError
from decimal import Decimal
from influxdb_client import InfluxDBClient, Point, WritePrecision
from influxdb_client.client.write_api import SYNCHRONOUS
from influxdb_client.client.query_api import QueryApi
from telegram.bot import Bot
from datetime import datetime # Importar datetime para obtener el
timestamp actual

# Credenciales y configuración de AWS DynamoDB
AWS_ACCESS_KEY = "AKIA4AQ3UORAFYX5T5VA"
AWS_SECRET_KEY = "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"
AWS_REGION = "us-east-2"
TABLE_NAME = "SensorData"

# Credenciales y configuración de InfluxDB
INFLUXDB_URL = "https://us-east-1-1.aws.cloud2.influxdata.com"
INFLUXDB_TOKEN = "pSbgNR7AwqpreGpmPhLjI-
pTv0x4KKjU0GbYwHCSK_jEri45Z8KndcAEJCc7ZZbUfrPrBUrOoU9XPiCQBkWrcQ=="
INFLUXDB_ORG = "d2a10dce2416a36a"
INFLUXDB_BUCKET = "SensorDataIoT"

# Credenciales y configuración de Telegram
CHAT_ID = "5010614909"
TOKEN = "7743718247:AAF8WfJafsQqbbsY3W_GC_yKmkciYvklCFg"

# Crea un objeto del bot de Telegram
bot = Bot(token=TOKEN)

# Conectar a InfluxDB Cloud
influx_client = InfluxDBClient(url=INFLUXDB_URL, token=INFLUXDB_TOKEN,
org=INFLUXDB_ORG)

```

```

write_api = influx_client.write_api()

# Configuración para crear el BUCKET
def create_bucket():
    try:
        buckets_api = influx_client.buckets_api()
        existing_buckets = buckets_api.find_bucket_by_name(INFLUXDB_BUCKET)

        if existing_buckets is None:
            print(f"Creando bucket '{INFLUXDB_BUCKET}' en InfluxDB Cloud...")
            buckets_api.create_bucket(bucket_name=INFLUXDB_BUCKET,
org=INFLUXDB_ORG)
            print(f"Bucket creado exitosamente.")

        else:
            print(f"El bucket ya existe en InfluxDB Cloud.")
    except Exception as e:
        print(f"Error al crear el bucket: {e}")

#Crear el bucket antes de enviar datos
create_bucket()

# Conectar a DynamoDB de AWS
dynamodb = boto3.resource(
    'dynamodb',
    region_name=AWS_REGION,
    aws_access_key_id=AWS_ACCESS_KEY,
    aws_secret_access_key=AWS_SECRET_KEY
)
table = dynamodb.Table(TABLE_NAME)

# Configura el puerto serial
while True:
    try:
        ser = serial.Serial('/dev/ttyS0', 115200)
        time.sleep(10)
        lineBytes = ser.readline()
        line = lineBytes.strip()

        # Decodifica los datos de cadena de texto y separa por comas
        data = line.decode('utf-8').split(',')

        # Verifica si hay 16 datos
        if len(data) == 16:
            # Asigna cada valor a una variable
            var1, var2, var3, var4, var5, var6, var7, var8, var9, var10,
var11, var12, var13, var14, var15, var16 = data

```

```

        # Obtener el timestamp actual
        timestamp = datetime.now().isoformat() # Obtiene la fecha y
hora actual en formato ISO

        # Asignar a DynamoDB con las conversiones necesarias
        item = {
            'timestamp': timestamp, # Agregar la clave primaria
'timestamp'
            'humedad F1': Decimal(int(var1.strip('[]').strip())), #
Columna 1
            'humedad F2': Decimal(var2.strip('[]').strip()), #
Columna 2
            'humedad F3': Decimal(var3.strip('[]').strip()), #
Columna 3
            'humedad F4': Decimal(var4.strip('[]').strip()), #
Columna 4
            'humedad F5': Decimal(var5.strip('[]').strip()), #
Columna 5
            'humedad F6': Decimal(var6.strip('[]').strip()), #
Columna 6
            'humedad F7': Decimal(var7.strip('[]').strip()), #
Columna 7
            'humedad F8': Decimal(var8.strip('[]').strip()), #
Columna 8
            'humedad F9': Decimal(var9.strip('[]').strip()), #
Columna 9
            'humedad F10': Decimal(var10.strip('[]').strip()), #
Columna 10
            'humedad F11': Decimal(var11.strip('[]').strip()), #
Columna 11
            'humedad F12': Decimal(var12.strip('[]').strip()), #
Columna 12
            'humedad F13': Decimal(var13.strip('[]').strip()), #
Columna 13
            'humedad F14': Decimal(var14.strip('[]').strip()), #
Columna 14
            'luminosidad': Decimal(var15.strip('[]').strip()), #
Columna 15
            'ph': Decimal(int(var16.strip('[]').strip())) # Columna
16
        }

    try:
        # enviar datos a la tabla DynamoDB
        table.put_item(Item=item)
        print("Datos insertados correctamente en DynamoDB")
    except (NoCredentialsError, PartialCredentialsError) as e:
        print(f"Error de credenciales: {e}")
    except Exception as e:

```

```

        print(f'Ocurrio un error: {e}')

    print("Enviando datos a InfluxDB...")

    try:
        # enviar datos a BUCKET en InfluxDB
        print("Enviando datos a InfluxDB...")
        #Crear puntos de datos para InfluxDB
        point = (
            Point("sensor_data")
                .field("humedad_F1", var1)
                .field("humedad_F2", var2)
                .field("humedad_F3", var3)
                .field("humedad_F4", var4)
                .field("humedad_F5", var5)
                .field("humedad_F6", var6)
                .field("humedad_F7", var7)
                .field("humedad_F8", var8)
                .field("humedad_F9", var9)
                .field("humedad_F10", var10)
                .field("humedad_F11", var11)
                .field("humedad_F12", var12)
                .field("humedad_F13", var13)
                .field("humedad_F14", var14)
                .field("luminosidad", var15)
                .field("ph", var16)
                .time(timestamp, WritePrecision.NS)
        )

        # Muestra las variables en consola
        print("Datos recibidos desde LilyGO:")
        print(f"Var1: {var1}, Var2: {var2}, Var3: {var3}, Var4: {var4}, Var5: {var5}")
        print(f"Var6: {var6}, Var7: {var7}, Var8: {var8}, Var9: {var9}, Var10: {var10}")
        print(f"Var11: {var11}, Var12: {var12}, Var13: {var13}, Var14: {var14}, Var15: {var15}")
        print(f"Var16: {var16}")

        #Enviar datos a InfluxDB Cloud
        write_api.write(bucket=INFLUXDB_BUCKET, org=INFLUXDB_ORG, record=point)
        print(f"Datos enviados: {timestamp}")
        print(f"humedad_F1: {var1:.2f}, humedad_F2: {var2:.2f}, humedad_F3: {var3:.2f}, humedad_F4: {var4:.2f}, humedad_F5: {var5:.2f}, humedad_F6: {var6:.2f}, humedad_F7: {var7:.2f}, humedad_F8: {var8:.2f}, humedad_F9: {var9:.2f}, humedad_F10: {var10:.2f}, humedad_F11: {var11:.2f}, humedad_F12: {var12:.2f}, humedad_F13: {var13:.2f},

```

```

Humedad_F14: {var14:.2f}, luminosidad: {var15:.2f}, pH:
{var16:.2f}")

    except Exception as e:
        print(f"Error en InfluxDB: {e}")
        time.sleep(1200)

    #Cerrar cliente
    influx_clien.close()

    else:
        print("Error: Se esperaban 16 valores, pero se recibieron",
len(data))

        time.sleep(1200) #tiempo espera de lectura de variables
        ser.close()

except serial.SerialException as e:
    print(f"Error al abrir o leer desde el puerto serial: {e}")
    time.sleep(1200) #tiempo espera de apartura de de puerto serial

except requests.RequestException as e:
    print(f"Error al enviar los datos a cloud: {e}")
    time.sleep(1200)

# Alerta Telegram
if humedad_f1 > 511.5:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F1 rabano_Suelo Húmedo")
else:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F1 rabano_Suelo Seco")

# Alerta Telegram
if humedad_f2 > 511.5:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F3 fréjol_Suelo Húmedo")
else:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F3 fréjol_Suelo Seco")

# Alerta Telegram
if humedad_f3 > 511.5:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F5 fréjol_Suelo Húmedo")
else:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F5 fréjol_Suelo Seco")

# Alerta Telegram
if humedad_f4 > 511.5:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F7 fréjol_Suelo Húmedo")
else:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F7 fréjol_Suelo Seco")

```

```

# Alerta Telegram
if humedad_f5 > 511.5:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F9 fréjol_Suelo Húmedo")
else:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F9 fréjol_Suelo Seco")

# Alerta Telegram
if humedad_f6 > 511.5:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F11 fréjol_Suelo Húmedo")
else:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F11 fréjol_Suelo Seco")

# Alerta Telegram
if humedad_f7 > 511.5:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F13 fréjol_Suelo Húmedo")
else:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F13 fréjol_Suelo Seco")

# Alerta Telegram
if humedad_f8 > 511.5:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F1 pimienta_Suelo
Húmedo")
else:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F1 pimienta_Suelo Seco")

# Alerta Telegram
if humedad_f9 > 511.5:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F3 pimienta_Suelo
Húmedo")
else:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F3 pimienta_Suelo Seco")

# Alerta Telegram
if humedad_f10 > 511.5:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F5 pimienta_Suelo
Húmedo")
else:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F5 pimienta_Suelo Seco")

# Alerta Telegram
if humedad_f11 > 511.5:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F7 pimienta_Suelo
Húmedo")
else:
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F7 pimienta_Suelo Seco")

# Alerta Telegram
if humedad_f12 > 511.5:

```

```

        bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F9 pimientto_Suelo
Húmedo")
    else:
        bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F9 pimientto_Suelo Seco")

    # Alerta Telegram
    if humedad_f13 > 511.5:
        bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F11 pimientto_Suelo Seco")
    else:
        bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F11 pimientto_Suelo Seco")

    # Alerta Telegram
    if humedad_f14 > 511.5:
        bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F13 pimientto_Suelo
Húmedo")
    else:
        bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="F13 pimientto_Suelo Seco")

    # Alerta Telegram
    if luminosidad > 250:
        bot.send_message(chat_id=CHAT_ID,
text="verificacion_Luminosidad")
    else:
        bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="Luminosidad estable")

    # Alerta Telegram
    if ph > 560:
        bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="pH suelo alcalino")
    else:
        bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text="pH suelo ácido")

    time.sleep(1200)

#cancelar manualmente
except KeyboardInterrupt:
    break
#control de lectura de puerto serial para evitar desbordamiento
finally:
    try:
        ser.close()
    except:
        pass

```

ANEXO E.- Código para la automatización de la compuerta de riego

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <ThreeWire.h>
#include <RtcDS1302.h>

```

```

#include <Servo.h>

// Pines del DS1302
#define DS1302_DATA 7
#define DS1302_CLK 6
#define DS1302_RST 8

ThreeWire myWire(DS1302_DATA, DS1302_CLK, DS1302_RST); // DAT, CLK, RST
RtcDS1302<ThreeWire> rtc(myWire);

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Dirección del LCD I2C
Servo miServo;                      // Instancia del servo

const int servoPin = 9;
bool yaMovido = false;

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    miServo.attach(servoPin);        // Conectar el servo al pin
    miServo.write(90);               // Posición inicial (centro o derecha)

    lcd.init();
    lcd.backlight();

    rtc.Begin();

    if (rtc.GetIsWriteProtected()) {
        rtc.SetIsWriteProtected(false);
    }

    if (!rtc.IsDateTimeValid()) {
        Serial.println("RTC no válido, estableciendo fecha por defecto");
        rtc.SetDateTime(RtcDateTime(__DATE__, __TIME__));
    }

    // ⚠ Establecer hora manual una sola vez:
    // rtc.SetDateTime(RtcDateTime(2025, 4, 30, 19, 40, 0));
}

void loop() {
    RtcDateTime now = rtc.GetDateTime();

    // Mostrar hora
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Hora: ");
    print2digits(now.Hour());
    lcd.print(":");
    print2digits(now.Minute());
    lcd.print(":");
}

```

```

print2digits(now.Second());

// Mostrar fecha
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Fecha: ");
print2digits(now.Day());
lcd.print("/");
print2digits(now.Month());
lcd.print("/");
lcd.print(now.Year());

// Movimiento del servo a las 16:00
if (now.Hour() == 16 && now.Minute() == 00 && !yaMovido) {
    miServo.write(0); // Gira a la izquierda
    yaMovido = true;
}

// Movimiento del servo a las 16:30
if (now.Hour() == 16 && now.Minute() == 30 && yaMovido) {
    miServo.write(90); // Vuelve a su posición inicial (derecha o centro)
    yaMovido = false;
}

delay(1000);
}

void print2digits(int number) {
    if (number < 10) {
        lcd.print("0");
    }
    lcd.print(number);
}

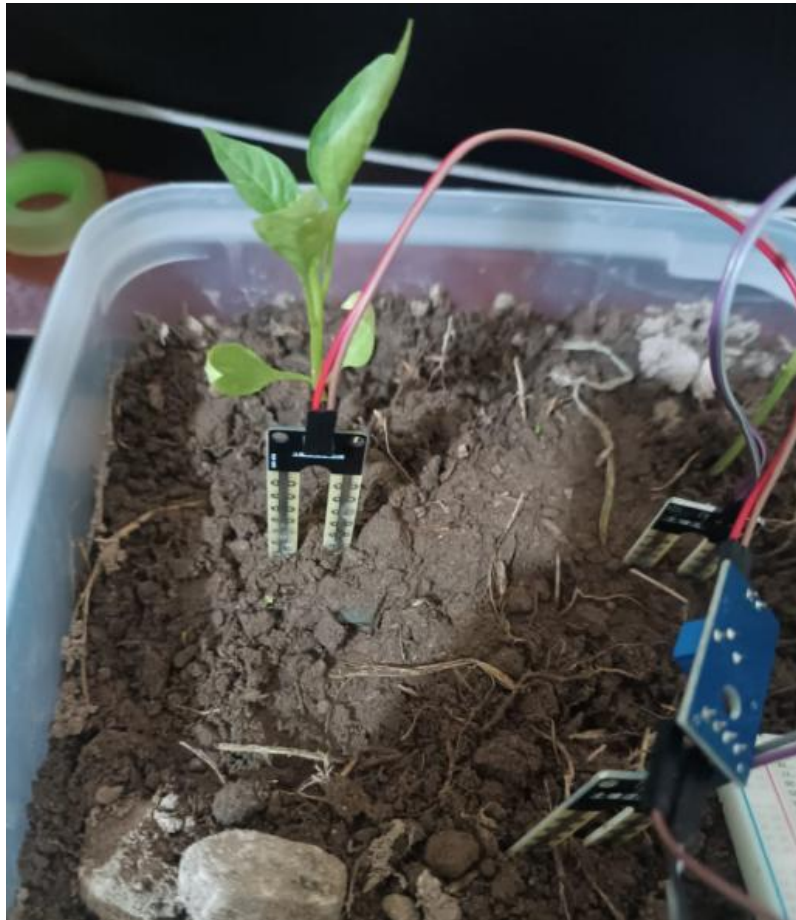
```

ANEXO F.- Semillas de Pimiento**ANEXO F.- Semillas de Fréjol**

ANEXO G.- Preparación de terreno y reparación de surcos**ANEXO H.- Fumigación y cuidado en los cultivos**

ANEXO I.- Verificación de cultivo de *Capsicum annuum***ANEXO J.- Verificación de cultivo de *Phaseolus Vulgaris***

ANEXO K.- Validación de funcionamiento del proyecto en un sistema más pequeño



ANEXO L.- Pines de conexión para la Lilygo TTGO T3 V1

