



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

**PROTOTIPO IoT DE TELECONTROL DEL RIEGO A GOTEO PARA LA
AGRICULTURA INTELIGENTE CON TECNOLOGÍA LORA.**

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

ÁREA: Comunicaciones

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de información y sistemas de control

AUTOR: Angel Daniel Caisa Sánchez

TUTOR: Ing. Geovanni Danilo Brito Moncayo, Mg

Ambato – Ecuador

marzo - 2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de Titulación con el tema: **PROTOTIPO IoT DE TELECONTROL DEL RIEGO A GOTEO PARA LA AGRICULTURA INTELIGENTE CON TECNOLOGÍA LORA**, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Angel Daniel Caisa Sánchez, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del reglamento para obtener el Título de Tercer nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, marzo 2022.

Ing. Geovanni Danilo Brito Moncayo, Mg
TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: PROTOTIPO IoT DE TELECONTROL DEL RIEGO A GOTEO PARA LA AGRICULTURA INTELIGENTE CON TECNOLOGÍA LORA, es absolutamente original, auténtico y personal, En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, marzo 2022.



Angel Daniel Caisa Sánchez
C.C. 1804954707
AUTOR

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Angel Daniel Caisa Sánchez, estudiante de la Carrera de Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado PROTOTIPO IoT DE TELECONTROL DEL RIEGO A GOTEO PARA LA AGRICULTURA INTELIGENTE CON TECNOLOGÍA LORA, nos permitimos informar que el trabajo ha ido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, marzo 2022.

Ing. Pilar Urrutia, Mg.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Elizabeth Paulina Ayala Baño
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Ana Pamela Castro Martin
PROFESOR CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, marzo 2022.



Angel Daniel Caisa Sánchez

C.C. 1804954707

AUTOR

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi madre adoptiva Gladys Chimbolema y a mi padre Oswaldo Caisa por ser un pilar fundamental que cimentó durante toda mi formación profesional la perseverancia, en donde nunca faltó un consejo para no desistir, siendo mi inspiración de cambio y crecimiento personal. A toda mi familia por su apoyo incondicional.

A mi madre Marcia Sánchez que con su cuidado, consejos y correcciones supo guiarme en cada paso.

Angel Daniel Caisa Sánchez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la sabiduría, por la bendición de tener una familia y un techo en donde descansar ya que en la vida nada está dicho ni todo es para siempre, así como también agradezco a Dios por no solo darme una madre sino dos, una madre biológica y una madre adoptiva, las cuales me ha cuidado, protegido y enseñado lo bueno y lo malo que a lo largo de la vida se puede presentar, no cabe las palabras para expresar el amor y el cariño.

A mi familia en especial a mis abuelos, mamá Carmen y papá Silverio, han sabido cimentar el respeto, la honradez y la perseverancia en alas de superación y salir adelante cuyo ejemplo ha sido tomado por todos sus hijos y transmitidos a sus nietos.

A mis amigos y docentes de la FISEI, en especial a mi tutor Ing. Geovanni Brito. Mg que han sido una parte fundamental a lo largo de la carrera, por sus enseñanzas, alegrías y tristezas, ahora se cumple una meta gracias al apoyo de todos en conjunto.

La vida te entrega varias oportunidades muchas de ellas no las sabemos apreciar ni percibir, ya que con los años viene la experiencia, pero a pesar de. ello hay que dar todo de sí.

Angel Daniel Caisa Sánchez

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA.....	III
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO.....	IV
DERECHOS DE AUTOR	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
RESUMEN EJECUTIVO.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
CAPITULO I.....	2
MARCO TEÓRICO.....	2
1.1 Tema de Investigación	2
1.2 Antecedentes Investigativos.....	2
1.2.1 Contextualización del Problema	4
1.2.2 Fundamentación Teórica.....	5
1.3 Objetivos	28
1.3.1 Objetivo General.....	28
1.3.2 Objetivos Específicos.....	28
CAPITULO II	29
2 METODOLOGÍA.....	29
2.1 Materiales	29
2.2 Métodos.....	29
2.2.1 Modalidad de la investigación	29
2.2.2 Investigación aplicada.....	29
2.2.3 Investigación bibliográfica.....	29
2.2.4 Investigación de campo.....	30
2.2.5 Investigación Experimental	30

2.2.6	Población y Muestra	30
2.2.7	Recolección de la Información	30
2.2.8	Procesamiento y Análisis de Datos.....	30
2.2.9	Desarrollo del proyecto.....	30
CAPÍTULO III.....		32
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
3.1	Análisis y Discusión de los Resultados.....	32
3.2	Desarrollo de la propuesta.....	32
3.2.1	Análisis de la influencia del IoT en la agricultura	32
3.2.2	Arquitectura IoT.....	33
3.2.3	Beneficios del desarrollo del prototipo	34
3.2.4	Cultivos agrícolas en Tungurahua	36
3.2.5	Selección del cultivo	37
3.2.6	Ubicación de la parcela.....	39
3.2.7	Desarrollo de la propuesta del prototipo.....	40
3.2.8	Descripción del Hardware.....	42
3.2.9	Descripción sistema de riego a goteo.....	57
3.2.10	Descripción del Software.....	61
3.2.11	Implementación del sistema de telecontrol.....	88
3.2.12	Pruebas de Funcionamiento	97
3.2.13	Presupuesto	116
CAPITULO IV.....		120
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
4.1	Conclusiones	120
4.2	Recomendaciones.....	121
Referencias Bibliográficas		122
Anexos 128		
Anexo A	.....	128
Anexo B	.....	129
Anexo C	.....	131
Anexo D	.....	132
Anexo E	.....	135
Anexo F	.....	143
Anexo G	.....	145

Anexo H	147
Anexo I.....	148
Anexo J	149
Anexo K	151
Anexo L.....	152
Anexo M	153
Anexo N.....	154
Anexo O	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.	Arquitectura IoT ITU-T [12]	18
Fig. 2.	Protocolos de comunicación Inalámbrica IoT [16].	20
Fig. 3.	Suelos de acuerdo a su composición.	10
Fig. 4.	Distancia vs transmisión de datos, tecnologías inalámbricas. [36]	22
Fig. 5.	Influencia de la temperatura en las plantas. [49]	35
Fig. 6.	Irrigación de agua para la planta. [50]	35
Fig. 7.	Ubicación del terreno a utilizarse.	40
Fig. 8.	Arquitectura del prototipo IoT de telecontrol para la agricultura inteligente. .	40
Fig. 9.	Sensor DS18B20 [56]	42
Fig. 10.	Sensor YL-69 [58]	43
Fig. 11.	Pines del Arduino Nano [61].	46
Fig. 12.	Shield LoRa para Arduino [64]	47
Fig. 13.	Arduino Uno compatible con Shield LoRa [65].	48
Fig. 14.	NodeMCU ESP8266 [67]	49
Fig. 15.	Circuito de control bomba de agua para sistema de riego a goteo.	56
Fig. 16.	Circuito Fuerza/Potencia.	57
Fig. 17.	Sistema de riego a goteo.	58
Fig. 18.	Nodo sensor y componentes.	61
Fig. 19.	Código sensor de humedad YL-69.	62
Fig. 20.	Librerías sensor DS18B20.	62
Fig. 21.	Adquisición del dato de temperatura.	63
Fig. 22.	Adquisición del dato de pH.	63
Fig. 23.	Selección de librería SPI.	64
Fig. 24.	Librerías LoRa.	65
Fig. 25.	Cambio de plan de frecuencias.	65

Fig. 26.	Empaquetado y envío de datos.	66
Fig. 27.	Diagrama de flujo programa nodo sensor.	67
Fig. 28.	Nodo Gateway LoRa	67
Fig. 29.	Librerías Gateway LoRa.....	68
Fig. 30.	Diagrama de flujo programa Gateway.	70
Fig. 31.	Instancias EC2 de Amazon Web Service.	71
Fig. 32.	Configuración de reglas de entrada AWS.	72
Fig. 33.	Ingreso a phpmyadmin	73
Fig. 34.	Base de datos y tablas.....	74
Fig. 35.	Campos de la tabla de Sensorizacion.	74
Fig. 36.	Habilitación del puerto 1880, para Node-Red.	75
Fig. 37.	Nodo fuction.....	76
Fig. 38.	Conexión de la base de datos.....	76
Fig. 39.	Creación de tablas y grupos.....	77
Fig. 40.	Configuración del nodo de visualización.	77
Fig. 41.	Interfaz del dashboard sistema de riego.	78
Fig. 42.	Gráfica de humedad del suelo.	78
Fig. 43.	Gráfica de la temperatura perteneciente al sistema de riego.	79
Fig. 44.	Portada interfaz web.	80
Fig. 45.	Visualización de los valores en la interfaz web.....	80
Fig. 46.	Inicio de la conversación con BotFather	83
Fig. 47.	Asignación de nombre al bot.....	83
Fig. 48.	Nombre del bot y token para integración con Node-Red	84
Fig. 49.	Nodo Telegram Sender-nodered.....	84
Fig. 50.	Bloque para envío de alertas.....	84
Fig. 51.	Configuración nodo fuction para envío del mensaje	85
Fig. 52.	Notificación de la necesidad de riego del terreno.....	85

Fig. 53.	Esquema para el control de actuadores.....	88
Fig. 54.	Prototipo nodo sensor.	89
Fig. 55.	Verificación de datos Nodo sensor y datos a subir al servidor.....	90
Fig. 56.	Nodo Gateway LoRa	91
Fig. 57.	Tablero de control del nodo actuador	92
Fig. 58.	Dispositivo nodo actuador ensamblado.....	92
Fig. 59.	Tablero de control Bomba de agua.....	93
Fig. 60.	Sectores de riego.....	94
Fig. 61.	Grupo Tablero de Control-NodeRed	95
Fig. 62.	Base de datos y código nodo actuador.....	96
Fig. 63.	Electroválvulas1, 2 y 3.	96
Fig. 64.	Nodo Sensor	99
Fig. 65.	Elementos del tablero de control.	109
Fig. 66.	Sistema de riego a goteo.....	110
Fig. 67.	Encendido – Electroválvula 1.....	111
Fig. 68.	Encendido – Electroválvula 2.....	111
Fig. 69.	Encendido - Electroválvula 3.	112
Fig. 70.	Verificación del riego.	113
Fig. 71.	Almacenamiento de los datos de los sensores en el servidor	115
Fig. 72.	Visualización de valores de la base de datos.	115
Fig. 73.	Llegada de notificaciones del bot de Telegram	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características IoT [14].	19
Tabla 2. Aplicaciones de la IoT [17].	21
Tabla 3. Clasificación de las partículas del suelo [27].	9
Tabla 4. Características de acuerdo al color que presenta. [28]	10
Tabla 5. Características del pH de acuerdo a su rango y tipo de suelo. [30]	11
Tabla 6. Macronutrientes presentes en el suelo	12
Tabla 7. Fertilizante con micronutrientes importantes. [32]	12
Tabla 8. Valores referenciales de humedad del suelo en cm/m [35]	14
Tabla 9. Umbral de riego	15
Tabla 10. Cuadro comparativo de tecnologías LPWAN. [36]	23
Tabla 11. Bandas ICM reguladas por la Arcotel [39]	25
Tabla 12. Características necesarias para la agricultura inteligente [46]	27
Tabla 13. Nutrientes no absorbidos sobre o debajo del nivel requerido. [51]	36
Tabla 14. Tabla de comparación sensores de temperatura [55] [56]	42
Tabla 15. Tabla de comparación sensores de humedad [57] [58]	43
Tabla 16. Tabla de comparación sensores de pH	44
Tabla 17. Tabla de comparación de microcontrolador. [59] [60]	45
Tabla 18. Tabla de comparación tarjetas de comunicación LoRa [62] [63] [64]	46
Tabla 19. Tabla de comparación tarjetas Arduino compatibles para Shield LoRa. [65] [66] 48	
Tabla 20. Valores sensados día 1 y día 2, sin sistema de riego.	100
Tabla 21. Valores sensados día 3, sin sistema de riego.	103
Tabla 22. Promedio de los valores con sistema de telecontrol para el riego a goteo. ...	114
Tabla 23. Promedio de los valores sin sistema de telecontrol para el riego a goteo.	114
Tabla 24. Presupuesto para el diseño del prototipo.	117
Tabla 25. Presupuesto de construcción.	118

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo realizar un prototipo de telecontrol del riego a goteo para la agricultura enfocada con uso de IoT y tecnologías de largo alcance con bajo consumo energético, mismo que se desarrolló al ver la necesidad del sector de implementar un sistema que ayude al agricultor a que su cultivo sea tecnificado y así optimizar el uso de recursos naturales en el proceso de desarrollo de la planta.

El prototipo IoT de telecontrol para el riego a goteo consta de cuatro partes que son el nodo sensor, nodo Gateway, servidor y nodo actuador. El nodo sensor consta de tres sensores para la medición de parámetros físicos y químicos del suelo como lo es la temperatura, humedad y pH cuyos datos son enviados por transmisión inalámbrica LoRa hacia un Gateway el mismo que se encarga de transmitir hacia un servidor alojado en una máquina virtual Ubuntu en Amazon Web Service para almacenar los valores en su base de datos en MySQL, los mismos que son visualizados en un dashboard de Node-Red perteneciente a una interfaz web, lo que permite tener monitorizado los valores de los sensores y realizar el telecontrol de los actuadores. En la etapa del nodo actuador recibe los datos que son enviados desde la interfaz en Node-Red hacia el Gateway y de éste al nodo actuador que permite accionar la bomba de agua y las electroválvulas pertenecientes a los sectores en donde se realiza el riego, además consta de un envío de alertar en caso de que la humedad del cultivo decaiga drásticamente por medio del uso de mensajes a Telegram.

La implementación del prototipo IoT de telecontrol para el riego a goteo proporcionó un mejor manejo del recurso hídrico obteniendo una dosificación del agua de acuerdo a las necesidades del suelo y de la planta, además de la ayuda de la monitorización de los parámetros físicos y químicos del suelo.

Palabras Claves: IoT, telecontrol, LoRa, Node-Red, servidor, riego, agricultura, sensores, telegram.

ABSTRACT

The objective of this research project is to carry out a remote control prototype of drip irrigation for focused agriculture with the use of IoT and long-range technologies with low energy consumption, which was developed when seeing the need for the sector to implement a system that help the farmer to make his cultivation technified and thus optimize the use of natural resources in the plant development process.

The remote control IoT prototype for drip irrigation consists of four parts that are the sensor node, Gateway node, server and actuator node. The sensor node consists of three sensors for the measurement of physical and chemical parameters of the soil such as temperature, humidity and pH whose data is sent by wireless LoRa transmission to a Gateway, which is responsible for transmitting to a server hosted in a Ubuntu virtual machine in Amazon Web Service to store the values in its database in MySQL, the same that are displayed in a Node-Red dashboard belonging to a web interface, which allows monitoring the sensor values and performing the remote control of the actuators. In the stage of the actuator node, it receives the data that is sent from the interface in Node-Red to the Gateway and from this to the actuator node that allows to operate the water pump and the solenoid valves belonging to the sectors where irrigation is carried out. It consists of a dispatch to alert in case the humidity of the crop drops drastically through the use of messages to Telegram.

The implementation of the remote control IoT prototype for drip irrigation provided a better management of the water resource obtaining a dosage of the water according to the needs of the soil and the plant, in addition to the help of the monitoring of the physical and chemical parameters of the I usually.

Keywords: IoT, remote control, LoRa, Node-Red, server, irrigation, agriculture, sensors, telegram

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de Investigación

PROTOTIPO IoT DE TELECONTROL DEL RIEGO A GOTEO PARA LA AGRICULTURA INTELIGENTE CON TECNOLOGÍA LORA

1.2 Antecedentes Investigativos

Por medio de la utilización de fuentes en repositorios de Universidades Nacionales e Internacionales se realizó la presente investigación, para lo cual se recolectó información de diversos artículos científicos publicados en diferentes revistas acerca del uso de la tecnología de comunicación inalámbrica LoRa y agricultura inteligente.

En el año 2018, G. Sushanth¹ and S. Sujatha del departamento ECE, Crist University, Bangalore India, presentaron el proyecto titulado “IOT Based Smart Agriculture System” mismo que cuenta con la implementación de un sistema IoT para medir parámetros ambientales en los cultivos en tiempo real y que permita tener el control estando alejado del cultivo, así como también el ahorro energético con los módulos empleados. La tecnología utilizada para subir los datos desde los nodos es mediante tecnología WiFi para que los datos sean recolectados por el Gateway con una comunicación dúplex. Además del envío de un SMS al agricultor utilizando la red 2G y 4G que ayudó a mejorar los procesos del cultivo. [1]

En el año 2018, Rahul Dagar, Subhranil Som, Sunil Kumar Khatri Amity Institute of Information Technology, Amit University Uttar Pradesh, Noida, India, presentaron el proyecto titulado “Smart Farming – IoT in Agriculture” los cuales proponen un modelo que busca obtener datos de las variables climáticas por medio de sensores de temperatura y humedad, y que pretende tener un control eficiente del agua y de la electricidad, ya que al tener un modelo antiguo y no controlable se desperdicia recursos. Cabe denotar también en su descripción se hace énfasis en que IoT es una tecnología revolucionaria que combina dos áreas que por muchos años ha

permanecido separada como lo es la comunicación y la informática, con ello se busca mejorar las prácticas y tener una mejor gestión de los recursos. [2]

En el año 2020, Lakshmi Narayana Thalluri, Jitendra Prasad Ayodhya, T B Anjaneya Prasad, CH Yuva Raju, del departamento ECE ALIENT, presentaron su proyecto titulado “A Novel and Smart IoT System for Real Time Agriculture Applications with IaaS Cloud Computing” en el cual se desarrolla un sistema IoT con arquitectura en la nube IaaS para aplicación en la agricultura en tiempo real, el cual cuenta de 6 nodos cuya comunicación es por medio de la tecnología WiFi, un servidor LAMP en el cual se utiliza MySQL para el almacenamiento de los datos recopilados y una Raspberry Pi en la que se instala el servidor. Dando como resultado un sistema cuyo beneficio principal es reducir tiempo y recursos a los agricultores, mejorando así el requerimiento del uso de personas en campo para manipular los equipos. [3]

En el año 2020, VijayDept. of Electronic Science University, Anil Kumar SainiCyber Physical SystemsCSIR-CEERI, Susmita BanerjeeElectronics and Comm.SKFGI, Himanshu NigamCyber Physical SystemsCSIR-CEERI, en su trabajo titulado “An IoT Instrumented Smart Agricultural Monitoring and Irrigation System” en el que se detalla que un sistema utilizando IoT puede reducir recursos como lo es el agua al momento de ser regado en sus cultivos, pero el alcance de la comunicación inalámbrica es un factor negativo ya que ocupan la tecnología WiFi. Sin embargo, con los valores recopilados y a través de la plataforma ThingSpeak se puede realizar un análisis en Matlab para luego visualizar los valores, demostrando así la eficiencia del sistema. [4]

En el año 2020, Hyuk Lee, Woojin Jang, Hye Won Yoon, Dong Jun Kim, Heejae Jung, Gowoon Choi, Miran Lee, Chaehee Weon, Anthony Smith, en su trabajo “Feasibility of Networking Technology for SmartFarm: LoRa vs APRS” el cual se menciona la estrecha relación con las granjas inteligentes y el internet de las cosas IoT además de que según su rango de alcance, consumo energético y energía necesaria para la comunicación varían dependiendo de la tecnología de red. Si bien existen muchas tecnologías de red, LoRa (Long Range) es una de las redes de área amplia de bajo consumo (LP) más comunes en uso por granjas inteligentes. En teoría, APRS (Automatic Packet Reporting System) puede comunicarse a mayores distancias que LoRa. Por lo que se realiza el estudio, concluyendo que LORA es una

conexión inalámbrica más factible que APRS ya que de acuerdo a los resultados LORA tiene un índice mayor de cobertura con menos ganancia en las antenas transmisoras y receptores con el 45.16% para LORA y 1.44% para APRS en cobertura. [5]

1.2.1 Contextualización del Problema

Una de las actividades que en el país genera fuentes de empleo y productividad es la agricultura y fruticultura, mismas que se encuentran principalmente desarrolladas de manera tradicional. Uno de estos factores en el proceso de crecimiento de los frutos es el riego hacia la planta, las cuales fueron practicadas desde nuestros antepasados y se ha ido transmitiendo de generación en generación. Ahora con el avance tecnológico y sus innovaciones se puede acoplar a estos métodos y mejorar el uso de los recursos naturales de manera eficiente, reduciendo el ciclo de producción, mejorando costo e intervención en los cultivos, logrando ahorrar recursos y mano de obra al tener datos del estado de la plantación y así tomar decisiones acertadas.

La población humana va en aumento y cada vez es necesario nuevas formas de producción agrícola, requiriendo productos de primera necesidad, por lo que el agricultor se ve en la necesidad de mejorar sus cultivos, ofertando un producto de calidad y que cumpla con las nuevas exigencias del mercado. Para ello es imperativo el uso de la tecnología como es para el censado de los niveles del suelo, humedad, temperatura entre otros. [6]

El área con mayor consumo de agua fresca es la agricultura con alrededor del 75% del uso de agua, y que, debido al potencial crecimiento poblacional, la pronta urbanización y la contaminación del agua se ejerce una presión sobre la agricultura debido que, al reducirse el líquido vital, el agricultor debe tomar nuevos métodos de riego que en general lo era por los tradicionales como lo es el riego por gravedad. Para ello se toma como referente al riego por goteo ya que se tiene una eficiencia de uso del líquido del 95%. [7]

A pesar que la agricultura es una de las fuentes generadoras de trabajo principales en el Ecuador y que contribuye a la economía del país, solo el 21% de las parcelas cuentan con acceso al riego limitando su producción anual. Por ello la instalación de

sistemas de riego es importante y asegura a los agricultores que en tiempo de sequía su cultivo no sea propenso a perderse por falta del líquido vital y que su producción no se limite tan solo a los meses con pluviosidad. Se estima que el 82% de la producción nacional de fruta fresca proviene de la provincia de Tungurahua, por lo que el uso de la tecnología en los sistemas de riego brinda una oportunidad para mejorar la eficiencia del uso del agua [8].

Al desarrollar un prototipo basado en IoT para agricultura inteligente aplicado al riego de una plantación mediante el uso de la tecnología actual reduce la intervención humana generando así un proceso seguro y confiable, permitiendo el telecontrol del cultivo con la recopilación de datos que son censados para la toma de decisiones automática o manual, mejorando la calidad y el rendimiento del cultivo al satisfacer de manera oportuna los requerimientos de las plantas.

A lo largo del desarrollo de las tecnologías inalámbricas de largo alcance ha tenido mucho auge la llamada tecnología inalámbrica de baja potencia (LPWAN), cuyo uso de frecuencias se encuentra en las bandas libres (ICM). Una de ellas es la tecnología LoRA.

En el país al tener extensiones de terrenos para cultivo a largas distancias y muchos de ellos alejados de la conectividad a internet como para desarrollar una solución IoT, se puede utilizar la tecnología LoRa para transmitir la información de sensores ubicados en diferentes partes del terreno al ser de largo alcance.

1.2.2 Fundamentación Teórica

1.2.2.1 Riego

Al riego se le atribuye la capacidad de dotar agua al sustrato(suelo) para que así las plantas derivadas de la agricultura o fruticultura tengan la capacidad de desarrollarse y crecer [9].

A través de los años desde el momento en que nuestros antepasados poblaron la tierra y desarrollaron las habilidades de labrar el suelo y hacerlo producir para su alimentación se han empleado distintas técnicas de riego que en su mayoría son artesanales. En zonas en donde la pluviosidad es escasa es imperativo el uso de

sistemas de riego por ello existen represas y/o estanques para garantizar que los cultivos no se pierdan. Por tal motivo el desarrollo de nuevas técnicas que permitan tener un uso efectivo del agua seguirá estando presente para lograr un desempeño y garantizar la producción [10].

1.2.2.1.1 Sistemas de Riego

Alrededor del 75% de la superficie del globo terráqueo se encuentra constituida por agua, pero apenas un 2.5% es agua dulce que se puede aprovechar para el consumo. Para la vida en el planeta es un recurso indispensable que con el pasar de los años se acorta mucho más por el mal uso del recurso y la preocupación de los gobiernos se ha incrementado generando concientización en los ciudadanos sobre su cuidado. En la parte agrícola para que se desarrolle el cultivo es necesario el uso del recurso agua que de igual manera y dependiendo de la época del año existe escases por lo que se emplea sistemas de riego que permitan administrar de forma eficiente el agua [11].

Existen diversos sistemas de riego que se adaptan al cultivo de cada región ya que ahora el tener áreas verdes ya no es un lujo si no es una necesidad para conservar la vida en el planeta. Dichos sistemas mejoran el consumo del agua permitiendo tener un control y uso eficiente del agua disponible, así que aplicare algún tipo de riego va a depender de un estudio previo en el que la mejor opción sea de acuerdo al terreno y el cultivo. [11]

1.2.2.1.2 Tipos de Riego

Hace referencia a la distribución del recurso agua sobre la superficie del suelo o cultivo, donde intervienen procedimientos que se consideran la manera en que el agua es introducida al suelo para que un cultivo se desarrolle y produzca, éstos surgen a manera de suplir cuando las precipitaciones en diferentes épocas del año son deficientes o nulas, los métodos utilizados son: [12]

Riego por inundación: Este riego se lo realiza en pantano y debido a que no existe bordos o composturas y al operar caudales grandes es necesario operar con varias personas para manejar el agua dentro de la parcela y así distribuir el agua en todo el terreno. La topografía del terreno para este tipo de riego se lo hace en terrenos planos y de nivelación uniforme para que permita fluir el agua de riego [13].

Riego por desbordamiento: es el que se ocupa diques de contención para ayudar a mejorar la distribución del agua, disminuyendo la mano de obra. La topografía para este tipo de riego se lo realiza en terreno planos o de poca nivelación por lo que se realiza estructuras de control y/o regulación para mejorar la aplicación del riego en la parcela [13].

Riego por melgas: La división del terreno para cultivo se lo hace por melgas lo cual ayuda a tener un mejor control del ingreso del agua y a regar de manera equitativa, de igual manera que el riego por inundación se requiere de más mano de obra, esto para nivelar el terreno y realizar las melgas (bordos). La topografía del terreno para este tipo de cultivo se lo hace en terrenos con poca pendiente [13].

Riego por melgas y surcos: Para tener un control del agua ayuda mucho los bordos de las melgas ya que ayudan a dividir de manera equitativa el agua, el riego se lo puede realizar cubriendo toda la melga o solamente el surco ya esto depende de la cantidad del caudal [13].

Riego por melgas o pozas: Este tipo de riego ayuda a mejorar el riego en el cultivo ya que al regarse la poza se corta el flujo de entrada ayudando así a regular el riego [13].

Riego por surcos: De acuerdo con las condiciones de infiltración y pendiente del terreno el riego puede ser favorable o no favorable y se lo realiza en terreno cuyo cultivo necesite ser aporcado [13].

Riego por bancos o cajetas: Al igual que en el riego por melgas, éste permite controlar mejor el agua en los terrenos que sean con pendiente ya que permite estancar el agua en los diferentes compartimientos del terreno. [13]

Riego por aspersión: Una forma artificial de simular la lluvia lo es los aspersores por medio de un equipo de rociado que van humedeciendo el terreno. Hay diferentes sistemas que se recomienda ser instalados en zonas con vientos menores a los 17Km/h [14].

Riego por goteo: El sistema de riego por goteo es uno de los más efectivos disponibles en la actualidad por su capacidad de suministro continuo y uniforme de agua por goteo que ayuda a mantener el agua en la zona de las raíces siempre en condiciones de baja presión. El agua aplicada por el gotero forma una forma bulbosa

húmeda dentro del suelo, conocida como "maceta húmeda". Este bulbo suele alcanzar su diámetro máximo a una profundidad de unos 30 cm, y su forma se ve fuertemente modificada por las características del suelo, especialmente su textura. [14]

1.2.2.1.3 Eficiencia de riego

La relación que existe entre el agua útil que es utilizada por las plantas y la cantidad total de agua utilizada para el riego se define como la eficiencia de riego teniendo como las principales a las siguientes [15]:

- Riego superficial o por gravedad 35%
- Inundación 40 - 65%
- Aspersión 80 - 85%
- Micro aspersión 85-90%
- Goteo 90-95%

Los métodos tradicionales tales como gravedad, esto es, a través de surcos, melgas, cuadros, terrazas, entre otros, requieren un consumo de agua elevado con una eficiencia considerablemente baja [15].

1.2.2.2 Suelo

El suelo se define como un medio natural en el que permite el desarrollo de las plantas, el suelo es el resultado a través del tiempo del cambio del clima, topografía, organismos (flora, fauna y el ser humano), así como también de materiales pétreos como rocas y minerales. El resultado de esta mezcla nos da diferentes tipos de suelos que difieren en textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas [16].

1.2.2.2.1 Fertilidad del suelo

Se define como la capacidad que tiene el suelo de proporcionar los nutrientes necesarios a las plantas para que su desarrollo sea equilibrado. Comprende dos características que son de suma importancia los cuales son. [17]:

- Debe disponer de características físicas, químicas y biológicas para dotar de un buen crecimiento de las raíces de las plantas.
- Los nutrientes que son requeridos por las plantas deben ser proporcionados en la cantidad necesaria

1.2.2.2.2 Propiedades físicas del suelo

Determinan en gran medida la capacidad del suelo en retener agua, retener nutrientes y la capacidad de drenaje, factores importantes que influyen en el crecimiento de las plantas y ayudan al humano a comprender su funcionamiento [18].

1.2.2.2.3 Textura del suelo

La textura del suelo está representada por un porcentaje en el que se encuentra los elementos que constituyen el suelo. De acuerdo al departamento de Agricultura de Estados Unidos y la Sociedad Internacional de la ciencia del suelo plantean la clasificación de las partículas del suelo en la Tabla 1:

Tabla 1. Clasificación de las partículas del suelo [18].

Fracción del Suelo	Diámetro límites en mm
Arena muy gruesa	2.00 – 1.00
Arena gruesa	1.00 – 0.50
Arena media	0.50 – 0.25
Arena fina	0.25 – 0.10
Arena muy fina	0.10 – 0.05
Limos	0.05 – 0.002
Arcilla	Menos de 0.002

A la configuración de arcilla con otros compuestos se obtiene como resultado los suelos arcillosos, suelo franco y suelo arenoso, como se muestra en la Figura 1, en el que se tiene las condiciones para los cultivos en donde el agricultor seleccionará el mejor.

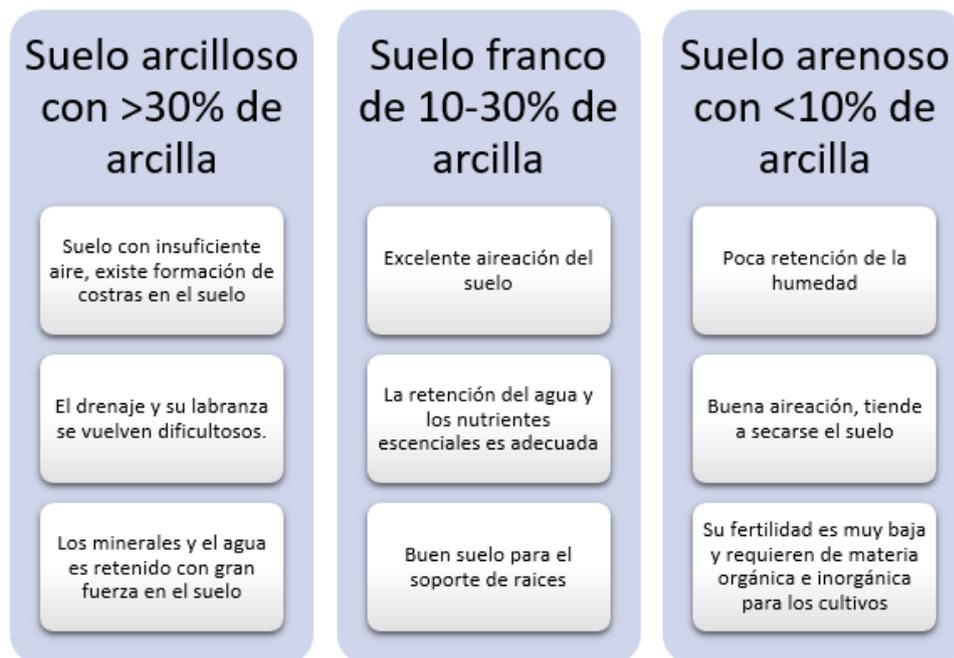


Fig. 1. Suelos de acuerdo a su composición.

Elaborado por: el investigador.

1.2.2.2.4 Color del suelo

En la Tabla 2 constan las características de acuerdo al color que presentan los suelos, en el que su contenido de minerales varía de acuerdo al color, y es una manera de saber aproximadamente que necesita el suelo.

Tabla 2. Características de acuerdo al color que presenta. [19]

Color	Característica
Oscuro	Alto contenido de Materia Orgánica (MO), el exceso de sodio y baja MO puede presentar coloración oscura.
Rojo o amarillo	Suelos viejos, producto de las reacciones químicas de Fe_2O_3 (rojo) o por $FeO-OH$ (amarillos o cafés), producto de la oxidación e hidratación del mineral hierro Fe al poseer aireación y la humedad es propicia para esta oxidación.
Azul o verde	Períodos largos en condiciones de inundación con una inadecuada aireación con la presencia de hierro Fe.
Gris	Así como la presencia de color azul por falta de aireación y prolongados tiempos de inundación. O También por depósitos de carbonato de calcio, así como también a floración de sales.

1.2.2.3 Propiedades Químicas del suelo

1.2.2.3.1 PH

Condición que se la utiliza para cuantificar si una solución es ácida, alcalina o neutra, es un índice logarítmico que detalla la concentración de iones de hidrógeno (H) en una solución de agua, el valor del pH disminuye cuando los iones de hidrógeno van incrementando. El valor de un pH corresponde a una escala de entre 0-14 en donde el valor de 7 corresponde al agua pura siendo así que los valores por debajo de este valor sean considerados “ácidos” y los situados por encima “alcalinos”. [20]. En la Tabla 3 se menciona sus características conforme su clasificación.

Tabla 3. Características del pH de acuerdo a su rango y tipo de suelo. [21]

Tipo de suelo con pH	Valor pH	Característica
Muy Alcalino	$\text{pH} > 8.5$	La actividad microbiana es poca y existe una disponibilidad escasa de micronutrientes.
Alcalino	$7,5 < \text{pH} \leq 8.5$	Existe carbonato de calcio y una deficiencia creciente de Cu, Fe, Mn, y Co
Neutro	$6,5 < \text{pH} \leq 7.5$	Se tiene que los efectos tóxicos de los distintos elementos son mínimo
Ácido	$5,5 < \text{pH} \leq 6.5$	Rango en el que se puede cultivar con gran disponibilidad de nutrientes se los encuentra con más frecuencia
Muy Ácido	$\text{pH} < 5.5$	Condiciones del suelo muy desfavorables

Elaborado por: El investigador

1.2.2.3.2 Macronutrientes

Se define como elementos en grandes cantidades que la planta necesita para su correcto desarrollo, crecimiento y supervivencia. A pesar de la existencia de estos elementos nutritivos en el suelo no se garantiza la correcta asimilación por parte de la planta. Existen dos grupos importantes dentro de los macronutrientes que se detallan en la Tabla 4 [22]:

Tabla 4. Macronutrientes presentes en el suelo

Primarios	Secundarios
Nitrógeno [N]	Calcio [Ca]
Fosforo [P]	Magnesio [Mg]
Potasio [K]	Azufre [S]

Elaborado por: El investigador

1.2.2.3.3 Micronutrientes

Este tipo de nutrientes que la planta requiere se necesitan en pequeñas cantidades, pero hay que tener un estrecho margen entre el exceso y deficiencia de estos elementos químicos. El pH toma un papel importante ya que la deficiencia de micro elementos depende en gran cantidad de que si el pH es bajo (ácido) o es muy alto (alcalino) de modo que algún cambio en él la disponibilidad de micro elementos para la planta cambian [23].

Una forma de proporcionar micro elementos a la planta se lo hace por medio de fertilizantes detallados en la Tabla 5:

Tabla 5. Fertilizante con micronutrientes importantes. [23]

Fertilizante portador de micronutrientes	Micronutrientes
Sulfato ferroso	Hierro (Fe)
Sulfato de cobre	Cobre (Co)
Sulfato de zinc	Zinc (Zn)
Sulfato de manganeso	Manganeso (Mn)
Borax	Boro (B)
Molibdato de sodio	Molibdeno (Mo)

1.2.2.4 Consideraciones Hídricas de la planta

Se define como la cantidad de agua necesaria de una planta para su correcto desarrollo, aquí interviene varios factores que dependen de la evapotranspiración de las plantas y de las precipitaciones. En la Ecuación 1 se muestra la fórmula para el cálculo de la evapotranspiración. [24].

$$ET_c = ET_0 * k_c$$

Ecuación 1. Ec. Evapotranspiración

Nomenclatura:

ET_c = evapotranspiración de la planta (mm/día)

ET_0 = evapotranspiración de referencia (mm/día)

k_c = constante de las plantas.

Como se puede evidenciar en el Anexo L, el valor de la constante ET_0 para la provincia de Tungurahua y Anexo M de la constante Kc para cultivos iniciales de frutas.

1.2.2.4.1 Evaporación y transpiración

La evaporación es uno de los procesos físicos de la naturaleza convirtiendo de estado al agua, pasando de líquido a un estado gaseoso o vapor, así encontramos ciertos parámetros que intervienen en la evaporación como la humedad de la atmósfera, vientos y temperatura ambiente. La transpiración realiza un proceso similar, ya que envía vapor a la atmósfera desde los tejidos internos de las hojas, la suma de las dos formas en que se evapora el agua de la planta se lo denomina evapotranspiración. [24]

1.2.2.4.2 Evapotranspiración

La evapotranspiración de una planta es la pérdida de agua en forma de vapor, la misma que viene dado por la suma de la evaporación y transpiración, la cual se muestra en la Ecuación 2, con una unidad de medida en mm o su equivalente a litros por metro cuadrado (l/m^2) que se puede expresar en hora, día, mes o año [25].

$$Evapotranspiración = Evaporación + Transpiración$$

Ecuación 2. Fórmula evapotranspiración [25]

1.2.2.4.3 Humedad aprovechable (H_a)

Es la capacidad que tiene el suelo homogéneo en retener cierta cantidad de agua en el suelo, la cual depende del tipo de riego y las condiciones climáticas del sector, su cálculo se lo realiza en función de la Ecuación 3 [26].

1.2.2.4.4 Capacidad de campo (CC)

Es el resultado luego de haber sido el terreno regado de manera abundante y drenado en un lapso de 24 – 48 horas [26].

1.2.2.4.5 Punto de marchitez permanente (PMP)

De acuerdo con el INIAP el PMP se refiere a una condición de la humedad del suelo donde las plantas del cultivo no han logrado absorber dicha humedad generando un punto de marchitez en la planta que no se puede divisar, dichos valores de acuerdo a la textura del suelo se muestran en la Tabla 6. [26].

Tabla 6. Valores referenciales de humedad del suelo en cm/m [26]

Textura	CC%	PMP%	Ha(cm/m)
Arenoso	9	4	8
Franco	14	6	12
Franco Arenoso	22	10	17
Franco Arcilloso	27	13	19
Arcilloso Arenoso	31	15	21
Arcilloso	35	17	23

1.2.2.4.6 Profundidad del suelo

Es la distancia desde la base del suelo y la planta en donde las raíces logran crecer sin problemas para obtener su recursos necesarios como nutrientes y agua, a ello se le suma el terreno debe ser labrado para permitir el crecimiento de las plantas [26].

1.2.2.4.7 Pedregosidad

Se refiere a la cantidad de sustrato pedregoso o comúnmente llamadas piedras en el suelo, por medio de ello permite calcular la capacidad en que el suelo logra retener agua ya sea por medio de lluvia o un sistema de riego [26].

$$Ha = \frac{CC\% - PMP\%}{100} * Prof * (1 - pred)$$

Ecuación 3. Cálculo de la humedad aprovechable

En donde:

Ha = Humedad aprovechables del suelo (cm)

CC% = Capacidad de campo

PMP% = punto de marchitez permanente [26]

$$Hd = Ha * UR$$

Ecuación 4. Cálculo de la humedad de déficit

En donde:

Hd = humedad de déficit(cm)

Ha = Humedad aprovechable(cm)

UR = umbral de riego (%), como se puede ver en la Tabla 7.

Tabla 7. Umbral de riego

Textura	Riego Tradicional (%)	Riego Tecnificado (%)
Arenoso	20 – 40	20 – 30
Franco Arcilloso	40 – 60	30 – 50
Franco	30 - 60	30 – 40

Frecuencia de riego (FR). – es la cantidad de días en los que se debe volver a regar el terreno y viene dado por la Ecuación 5 [26].

$$FR = \frac{ETc}{Hd}$$

Ecuación 5. Cálculo de la frecuencia de riego

Antes de determinar el tiempo de riego se debe saber algunas consideraciones del sistema. En lo que refiere al sistema de riego a goteo se necesita saber la cantidad de emisores por hectárea, en donde viene dado por la Ecuación 6:

$$Ne = \frac{10000}{Ds * Dh}$$

Ecuación 6. Densidad de emisores por hectárea.

En donde:

Ne = densidad de emisores por hectárea

Dh = distancia entre emisores (m)

Ds = distancia de los emisores en la misma línea(m)

Para el cálculo de la precipitación del sistema viene dado por la Ecuación 7 en donde se requieren de valores previamente deben ser calculados como es la densidad de emisores, el caudal que maneja cada emisor instalado y el área de terreno,

$$pp = \frac{Ne * Qe}{10000}$$

Ecuación 7. Cálculo de la precipitación del sistema.

En donde:

pp = precipitación bruta del sistema (mm/h)

Ne = densidad de emisores por hectárea

Qe = caudal del emisor(L/h)

El tiempo de riego se calcula con la Ecuación 8, en donde se necesita la eficiencia del sistema de riego que se va a utilizar, la demanda hídrica y la precipitación bruta del sistema en donde su resultado va a estar dado en horas.

$$TR = \frac{ETc}{pp * Ef}$$

Ecuación 8. Cálculo del tiempo de riego (h)

En donde:

TR = tiempo de riego (h)

ETc = demanda hídrica (mm/d)

Ef = eficiencia del sistema del riego, en este caso riego a goteo con una Ef teórica de 90%. [26]

1.2.2.5 IOT (Internet de las Cosas)

Internet of Things por sus siglas (IoT), se define como un sistema en el cual existe dispositivos que se interrelacionan para dar comunicación con una red de internet, es decir, es la interconexión entre los datos del mundo físico (sensores, objetos y artículos de uso diario) y el mundo digital del internet en el que se tiene la capacidad procesar la información recolectada para tener una monitorización, control y gestión de un sistema en general, en donde dicha información es almacenada en la nube y posteriormente tomada para realizar un análisis para tomar una decisión [27] .

1.2.2.5.1 Ventajas

La información se la puede enviar y de igual manera recibir a una velocidad alta por su intercomunicación en la red global por lo cual se puede tener monitorizado y controlado de manera automática los dispositivos, ya sean sensores o actuadores, con facilidad y lo mejor del caso que su control se lo puede hacer a largas distancias, ya que dichos sistemas tienen la capacidad de toma de decisiones, permitiendo así el ahorro de tiempo y disminuyendo la mano de obra presencial [28].

1.2.2.5.2 Desventajas

En un mundo digitalizado y un sistema todavía en auge se tiene el inconveniente de la interoperabilidad de los equipos comerciales dando como resultado un trabajo complejo y una seguridad y privacidad de los sistemas de baja calidad [28].

1.2.2.5.3 Arquitectura IoT

De acuerdo con la ITU-T en su dominio se tiene que la arquitectura IoT incluye a un grupo de dispositivos físicos conectados mediante una pasarela o puerta de enlace (Gateway) a una red de comunicaciones que une con el mundo virtual, en el que es capaz de intercambiar información con otros dispositivos permitiendo la gestión y procesamiento de datos [29]. Se muestra en la Figura 2, la base de la arquitectura de IoT se encarga o permite el desarrollo de aplicaciones. [30]

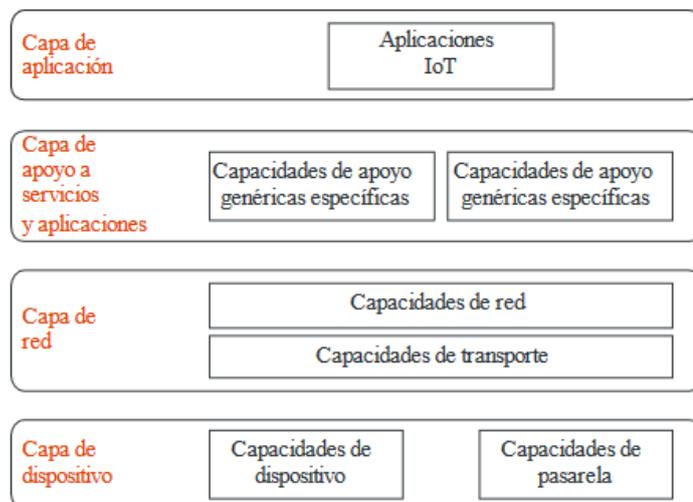


Fig. 2. Arquitectura IoT ITU-T [30]

Capa de dispositivo es la que se encarga recopilar la información, ésta capa está compuesta por los nodos sensores, nodos actuadores y de interfaz de comunicación con la red de comunicación que permite tener el control del sistema instalado [31].

Capa de red en la que se divide en dos etapas la cual es la capacidad de red que se encarga del control de la conectividad y control de acceso. La capacidad de transporte se encarga de recolectar la información proporcionada desde la puerta de enlace. Existen diferentes tecnologías inalámbricas que son utilizadas para IoT, tales como Bluetooth, Zigbee, WiFi, LPWAN, entre otros [31].

Capa de servicio es la etapa que se encarga del procesamiento, almacenado de la información y que tiene capacidad de atender las necesidades de las aplicaciones IoT. En general es aquella que se encarga de los servicios de la nube IoT [31].

Capa de aplicación contiene las aplicaciones IoT, la cual se compone de herramientas para una visualización eficiente compatibles con diferentes plataformas para presentar los datos al usuario final, cuya visualización sea comprensible y transparente. [31]

1.2.2.5.4 Características de IoT

El Internet de las Cosas (IoT) se identifica por tener una serie de características fundamentales las cuales se describen a continuación en la Tabla 8:

Tabla 8. Características IoT [32].

Características	Descripción
Interconectividad	Es la que permite tener compatibilidad y dota de acceso a la infraestructura de la información y comunicación a nivel mundial. Siendo así una característica que da todo su potencial a IoT.
Servicios relacionados con objetos	Dentro de alguna restricción que se tenga con algún objeto IoT puede proporcionar servicios.
Heterogeneidad	Se puede interactuar entre dispositivos basados en diferentes plataformas con diferente hardware y red.
Cambios dinámicos	Esto hace referencia al cambio en dispositivos finales, los cuales pueden estar activos, en reposo conectados o desconectados. Así mismo los dispositivos pueden cambiar en número.
Escalabilidad	Al ser que en los próximos años el número de dispositivos IoT conectados va a sufrir un incremento es necesario una buena gestión de los datos, interpretación y manipulación de manera eficiente.
Conectividad basada en la identificación	Una de las cualidades de los dispositivos es que tienen un identificador mismo que es usado para interconectar distintos objetos, así como también poder manejar dichos identificadores.
Compatibilidad	Si el caso es el uso con diferentes servicios debe existir y garantizar la conectividad de los servicios.

1.2.2.5.5 Protocolos y tecnologías de IoT

Dependiendo del tipo de conexión que se vaya a utilizar como constituyente del rótulo de IoT depende del ingenio, de su representación y de los usuarios. Para determinar el tipo de conectividad que IoT va a requerir, va a estar dado por la distancia en la que los datos van a viajar ya sea corta o larga. Los dispositivos pertenecientes a redes de baja potencia y corto alcance requieren de baterías de reducido tamaño. En cambio, las redes de largo alcance con un mínimo consumo de energía (LPWAN) permiten la comunicación en un radio mínimo de 500 metros. En la Figura 3 se muestran las tecnologías inalámbricas y su cobertura. [33]

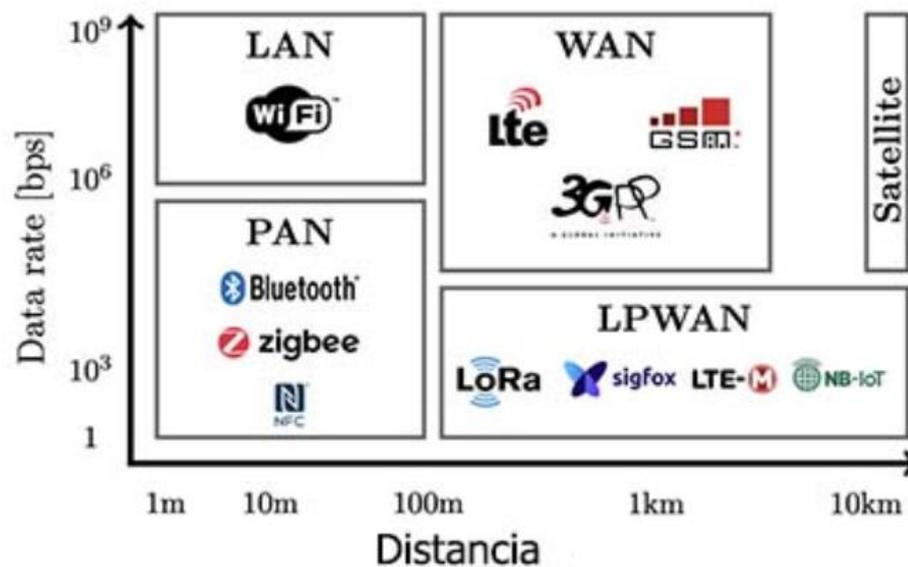


Fig. 3. Protocolos de comunicación Inalámbrica IoT [34].

1.2.2.5.6 Aplicaciones IoT

Al tener una gran variedad de dispositivos a su alcance se puede ocupar en distintos campos por ende IoT posee una gran variedad de aplicaciones que brindan soluciones a cada una de ellas, las cuales se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Aplicaciones de la IoT [35].

Aplicaciones IoT	Descripción
Ciudades inteligentes	Al usar sensores se puede tener un control de los espacios para parqueo en la ciudad y también dispositivos que detecten el movimiento de las personas para un control efectivo del tráfico.
Agua Inteligente	Análisis de la calidad del agua en ríos y mares salvaguardando la flora y fauna. El uso de sensores ayuda a tener un control del nivel en represas.
Contadores o medidores inteligentes	Gestión de la lectura a distancia de los datos de medidores eléctricos, agua, estaciones fotovoltaicas.
Control Industrial	El uso del M2M para el auto-diagnóstico y control de activos, así como también la monitorización de variables físicas involucradas en la industria.
Agricultura	Por medio del uso de sensores existe la monitorización de los parámetros necesarios para un buen cultivo como lo es la humedad, temperatura, PH del suelo, lo que permite tener un control adecuado de los cultivos.
Domótica	Monitorización del consumo de los servicios básicos en un domicilio, conexión y desconexión de forma remota de electrodomésticos mejorando el consumo energético. Sistemas de seguridad con alertas.
Salud	Asistencia a personas de la tercera edad que necesiten de ayuda, pero por su condición no puedan moverse y así tener vigilados al paciente. Con el uso de sensores de radiación ultravioleta informar a los ciudadanos del cuidado que deben tener a su exposición.

1.2.2.6 Tecnologías LPWAN

Las redes de baja potencia y área amplia emergen entre una de las soluciones de comunicación inalámbrica cuyas especificaciones principales son el largo alcance, bajo consumo de energía prolongando el tiempo de vida de las baterías y su baja tasa de transmisión de datos que la hace propicia para el uso en deferentes aplicaciones de IoT. Sin embargo, al tener estas características hace que esta tecnología se restrinja y no pueda transmitir audio y video por su baja transmisión de datos, como se muestra en la Figura 4 [36].

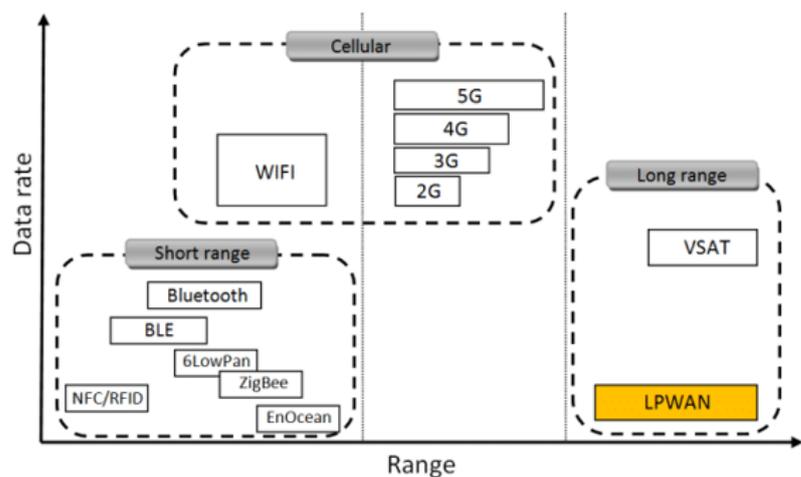


Fig. 4. Distancia vs transmisión de datos, tecnologías inalámbricas. [36]

Además, un factor importante de esta tecnología es la modulación en la capa física para transmitir la información, estas son, banda angosta o Narrowband y espectro ensanchado o Spread Spectrum, permitiendo la conexión de varios dispositivos y al tener la característica del espectro ensanchado la transmisión se torna más confiable y robusta ante la presencia de algún ataque o la existencia de interferencias [36]. En la Tabla 10 se muestra un cuadro comparativo de las tecnologías de largo alcance y bajo consume energético.

Tabla 10. Cuadro comparativo de tecnologías LPWAN. [36]

	NB.IOT	SigFox	LoRa
Modulación	QPSK	BPSK	CSS
Frecuencia	Lte con licencia	915 Mhz	915Mhz-928Mhz
Bandwidth	200 KHz	100 Hz	125 KHz-500KHZ
Máxima transferencia de datos	200 Kbps	100 Kbps	50 Kbps
Tipo de comunicación	Limitada/Half Dúplex	Limitada/Half Dúplex	Si / Half Dúplex
Envío de mensajes/día	Sin límite	140 UL, 4 DL	Sin límite
Tamaño máx. mensaje	1600 bytes	12 bytesUL 8 DL	243 bytes máx.
Longitud de alcance	1 Km urbano-10 Km rural	10 Km urbano-40 Km rural	5 Km urbano -20 Km rural
Interferencias	Poco probable	Poco probable	Poco probable
Encriptación		Opcional	AES 128b
Tasa de bit adaptable	Si	No	Si
Estandar	LTE 4G	Sigfox Company	LoRa Alliance

1.2.2.7 LoRa

Se define como una tecnología de comunicación inalámbrica, y al igual que las demás tecnologías inalámbricas utiliza un tipo de modulación de radiofrecuencia para el envío de los mensajes, dicha modulación ha sido patentado por la empresa de fabricación de chips de radio SEMTECH. LoRa al pertenecer al grupo de redes LPWAN posee grandes beneficios para su uso en proyectos de IoT por su capacidad de envío de datos en zonas urbanas de 5 Km de distancia y en zonas rurales al existir menos interferencias alcanza hasta 20 Km de distancia [37].

LoRa al ser una tecnología de bajo consumo permite a los usuarios trabajar con una batería a un máximo de 10 años con una sensibilidad para recibir los datos de -168dB, además sus principales características son: largo alcance, bajo consumo, opera en las bandas ISM es decir no necesita licencia para utilizar el espectro de

radiofrecuencias, baja transferencia de datos, bajo costo y alta tolerancia a interferencias [37].

1.2.2.7.1 Modulación de radio LoRa

La modulación Chirp Spread Spectrum (CSS) ha sido utilizada por parte de los militares para su comunicación y por su capacidad de transmisión de datos a largas distancias además de tener solidez ante alguna interferencia. CSS utiliza chirridos de frecuencia con una variación lineal de frecuencia a lo largo del tiempo para codificar la información. Debido a la linealidad de los pulsos de chirrido, las compensaciones de frecuencia entre el receptor y el transmisor son equivalentes a las compensaciones de tiempo, que se eliminan fácilmente en el decodificador. Esto también hace que esta modulación sea inmune al efecto Doppler, equivalente a un desplazamiento de frecuencia. El desplazamiento de frecuencia entre el transmisor y el receptor puede alcanzar el 20% del ancho de banda sin afectar el rendimiento de la decodificación. Esto ayuda a reducir el precio de los transmisores LoRa, ya que los cristales incrustados en los transmisores no necesitan fabricarse con una precisión extrema. [38]

1.2.2.7.2 Bandas de frecuencia

El país se rige a las normas establecidas por la ARCOTEL (agencia de regulación y control de las telecomunicaciones) y dentro del organismo se rige a las normas internacionales establecidas por la UIT en donde se dicta las normas para el uso de las bandas ISM (por sus siglas en ingles), corresponde al uso libre del espectro de radiofrecuencia para los campos Industriales, Científicos y médicos. LoRa trabaja en ese rango de frecuencias. Ecuador se encuentra en la región 2 de la norma establecida, por lo tanto, se debe trabajar en la banda de frecuencia de 915 MHz. En la Tabla 11 se especifica los niveles que se permiten para dichas bandas libres (ICM).

Tabla 11. Bandas ICM reguladas por la Arcotel [39]

Bandas	Frecuencia central	Intensidad de campo
6765 – 6795 KHz	6780 KHz	80 – 100 (dBuV/m)
13553 – 13567 KHz	13560 KHz	80 – 120 (dBuV/m)
26957 – 27283 KHz	27120 KHz	70 – 120 (dBuV/m)
40,66 – 40,70 MHz	40,68 MHz	60 – 120 (dBuV/m)
902 – 928 MHz	915 MHz	60 – 120 (dBuV/m)
2400 – 2500 MHz	24,50 MHz	30 – 120 (dBuV/m)

1.2.2.7.3 Aplicaciones de tecnología LoRa

Las aplicaciones en las que se puede ocupar la tecnología Lora encuentran similitud con las aplicaciones IoT por tener la capacidad de extraer y/o enviar información para poder tener el control a distancia de diferentes dispositivos que se encuentren conectados en la red Lora. A continuación, se encuentran las aplicaciones relacionadas con las posibles aplicaciones que se le puede dar a la tecnología Lora [40]:

- Ciudades Inteligentes
- Redes de sensores
- Automatización Industrial
- Medidores Inteligentes
- Agricultura Inteligente
- Seguimiento de flotas
- Domótica

1.2.2.8 Agricultura Inteligente

Con una población creciente año tras año y los avances en el ámbito tecnológico en campos de la digitalización, aportan al agro y a la ganadería para solventar la demanda de alimentos, a esta revolución de la tecnología se lo denomina como agricultura 4.0 o agricultura inteligente que integra diferentes técnicas de distintas disciplinas para transformar de forma significativa la producción de la agricultura para en un futuro poseer la capacidad de producción necesaria para la población. [41]

El uso efectivo de los recursos naturales necesarios para el desarrollo de un cultivo se ha tomado en cuenta para introducir la tecnología en las labores del día a día del agricultor. Entonces la monitorización y registro de datos permiten tener un control para analizarlos y tomar decisiones frente alguna variación de los parámetros. Además de que por medio de la introducción de sensores en puntos estratégicos del terreno permite al agricultor mejorar la producción obteniendo mejores beneficios. [42]

También conocida como agricultura 4.0 por su revolución e introducción de la tecnología en el sector, para así tener un proceso optimizado en el cultivo al tener diferentes parámetros físicos monitorizados, dicha aplicación disminuye en gran medida costos de producción generando una mayor rentabilidad y eficiencia en la producción gracias a la introducción de sensores y sistemas los cuales sirven para almacenar la información y ayuda a procesar la misma para así tener una respuesta eficiente, tal es el caso del riego de los cultivos, al tener un sistema se puede tener una eficiencia del consumo de agua ya que por los medios tradicionales se consume más agua de lo que la planta necesita. [43]. En la Tabla 12 se muestra las características que necesita la agricultura inteligente.

Tabla 12. Características necesarias para la agricultura inteligente [44].

Características	Descripción
Confiabilidad de sensores	Invertir en sensores de precisión ayuda a una gestión eficaz y obtener datos confiables.
Sistema de comunicación	Es el que se encarga de llevar los datos desde los nodos sensores hacia un concentrador o Gateway que se encarga de tomar los datos y llevarlos a la nube o a su almacenamiento local.
Plataforma de visualización	Es la que se encarga de mostrar los datos de manera que sea intuitiva y de fácil manejo.
Escalable y adaptable	Que sea capaz de incrementar nodos conforme las necesidades del sector lo requieran.
Respaldo	Tener una seguridad de que los datos se mantengan estables y no exista fallos para así gestionar eficientemente las necesidades del terreno. [44]

La agricultura inteligente o agricultura 4.0 tiene como finalidad promover el cambio de la forma en que se tenía la concepción de labrar la tierra tradicional, añadiendo el uso de las TIC para mejorar el desempeño del cultivo con menores costos de producción y obteniendo un incremento en la obtención del producto. De manera que al tener mayor cantidad en el rendimiento de los cultivos se asegura que la población no tenga un déficit alimentario. [45]

De acuerdo a la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación) estima que para el año 2050 la demanda de producto de consumo masivo proveniente de la agricultura sufrirá un incremento de entre el 60% y 70% y su población superará los 9000 millones de habitantes, por lo cual es imperativo tomar medidas que ayuden a solventar este déficit, además que tiene que ir de la mano la conservación del recurso hídrico necesario para la vida en el planeta. [46]

1.2.2.9 Sensorización y control de riego

La gestión de riego mediante el uso de la tecnología para adquirir datos por medio de sensores proporciona la viabilidad de conocer el comportamiento de las magnitudes

físicas que el planeta nos proporciona tras la lluvia o el riego mismo. Permittedose poder ajustar la dosificación del líquido vital de acuerdo a las necesidades de la planta asegurando así el evitar pérdidas de agua y permitir el realizar una gestión de riego que mejora el estado sanitario y productivo del cultivo, consiguiendo tener ahorro en un recurso que al pasar de los años se va limitando considerablemente. [47]

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar un prototipo IoT de telecontrol del riego a goteo para la agricultura inteligente con tecnología LoRa en una plantación de campo abierto.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la influencia del internet de las cosas en la aplicación de la agricultura inteligente.
- Determinar el escenario de aplicación del IoT para el monitoreo y telecontrol del sistema de riego a goteo.
- Diseñar una red de sensores con tecnología LoRa que permita la adquisición de datos para el control del riego aplicada a una plantación de campo abierto.

CAPITULO II

METODOLOGÍA.

2.1 Materiales

Para el presente trabajo los materiales con los que se desarrolló e implementó fueron artículos científicos, tesis de repositorios de la universidad, revistas indexadas y documentos en línea relacionados a la temática del proyecto, además de que se requirió de un terreno para las pruebas del sistema de telecontrol del riego a goteo.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la investigación

El presente proyecto tiene como finalidad el telecontrol de los dispositivos finales o actuadores, así como también el monitorear las magnitudes físicas del suelo como lo es la temperatura, pH y humedad por medio de comunicación LoRa, por tal motivo nos encontramos con las siguientes modalidades de investigación:

2.2.2 Investigación aplicada

El presente proyecto se lo estableció como una investigación aplicada, porque se emplearon los conocimientos adquiridos durante el proceso de estudio para la implementación de un prototipo IoT de telecontrol del riego a goteo para la agricultura inteligente con tecnología LoRa.

2.2.3 Investigación bibliográfica

El proyecto de investigación se basó en consultas de revistas técnicas, libros, artículos científicos, publicaciones en internet y en proyectos de tesis similares referente a temas de implementación de sistemas controlables a distancia por protocolos de comunicación, además del control del riego a goteo y sus niveles para sensorización.

2.2.4 Investigación de campo

Se analizó si el sistema para el telecontrol de riego a goteo es adecuado además de que el envío y recepción de la información fueron adecuados de acuerdo a las consignas para activación del actuador.

2.2.5 Investigación Experimental

Se realizó una serie de pruebas del control y monitoreo del sistema de telecontrol de riego a goteo, con lo cual se determinó la eficiencia de este y la calidad del dispositivo.

2.2.6 Población y Muestra

No se requirió de una población y muestra para el presente trabajo de investigación por el motivo que el prototipo que se desarrolló fue implementado en un solo terreno de cultivo.

2.2.7 Recolección de la Información

Para lograr la recolección de información se emplearon libros, revistas, fuentes online y proyectos desarrollados, así como guías prácticas y manuales de construcción por lo que se tomó en cuenta bases de datos confiables que permitieron el desarrollo del proyecto.

2.2.8 Procesamiento y Análisis de Datos

Para el procesamiento y análisis de datos en el presente proyecto se realizaron mediante la revisión de la información recopilada y el estudio de las propuestas de solución planteadas para elevar índices de producción en la agricultura, así como también el planteamiento de la propuesta de solución y el control y verificación de los datos obtenidos mediante el testeo del dispositivo.

2.2.9 Desarrollo del proyecto

En base a las siguientes actividades se desarrolló la presente investigación:

1. Determinación de las características de la arquitectura y estructura IoT para a adquisición de datos.

2. Determinación de las características y funcionalidades de la agricultura inteligente.
3. Análisis de los beneficios que representa el desarrollo del prototipo
4. Análisis de la estructura de conexión de sensores necesarios para la adquisición de datos en la agricultura inteligente.
5. Análisis de las plataformas para procesamiento IoT de los datos recolectados.
6. Selección de hardware y software necesarios para el prototipo.
7. Determinación de la topología de red a ser implementada con la tecnología LoRa.
8. Diseño y programación de la adquisición de datos.
9. Programación de la etapa de proceso de datos recopilados.
10. Ensamblaje del prototipo.
11. Validación del funcionamiento del sistema diseñado en base a los resultados obtenidos mediante la implementación en una plantación a campo abierto.
12. Elaboración del informe final del proyecto.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y Discusión de los Resultados

El desarrollo de un prototipo para mejorar el riego en la agricultura y así tener un uso más eficiente del recurso hídrico permite al agricultor tener su terreno y cultivos con las condiciones hídricas necesarias para su crecimiento y desarrollo, además de poseer una monitorización de las variables de humedad, temperatura y pH las cuales permiten tener una tele gestión en tiempo real y así tomar decisiones para el accionamiento de los actuadores. Al tener un consumo moderado del agua se tiene una producción en las temporadas que la lluvia es escasa o comienza la temporada de sequía, reduciendo así el uso del personal humano para gestión de riego en el terreno.

Para el desarrollo del prototipo se trabajó con hardware libre como lo fue los dispositivos electrónicos que se los puede encontrar en el mercado nacional o internacional y software libre para el desarrollo de la programación de cada una de las partes del sistema necesarias para su ejecución.

3.2 Desarrollo de la propuesta

3.2.1 Análisis de la influencia del IoT en la agricultura

El dotar de tecnología en el área agrícola asume un rol importante ya que su uso mejora las funciones operativas y con ello aumenta el índice de productividad del cultivo. Con una eficiencia operativa se puede recopilar los datos por medio del IoT para así tener una guía en el momento de que se intervenga en el cultivo como lo es para el control de plagas, control de humedad del suelo, entre otras, ya que se tiene una base de los datos recopilados y por medio de ello se puede tener una evolución a través del tiempo teniendo un mejor control de la producción. Así como también se tiene que existe mucho trabajo por delante para desarrollar la tecnología de IoT para el uso en la agricultura para mejorar la eficiencia operativa y productividad de los

cultivos en los que se aplique, además de que su implementación sea asequible para el pequeño y mediano productor. [48]

Se tiene en cuenta que para una inversión de tecnología IoT en la agricultura va estar estrechamente ligado con la producción de un cultivo ya que gran variedad de ellos se los cultiva una vez al año, por lo que el campo frutícola y vitivinícola son uno de los más atractivos para la implementación de estos servicios. En España la producción de uvas para la elaboración del vino debe ser de calidad ya que la mezcla de distintas calidades la calidad del fruto decae y no es conveniente, por lo cual se implementan sistemas que permiten tener un control de los niveles de temperatura y humedad óptimos para los viñedos y sistemas que permiten diferenciar entre las diferentes calidades del producto, y, gracias a ésta selección se menciona el incremento entre el 10% y 40% en la producción, el cual se ha reflejado en premios y reconocimientos, así lo indica el ingeniero agrónomo Julio Prieto. [49]

En los últimos años se ha tenido un avance en la transformación del desarrollo y proceso en que funciona las industrias en la que se involucra la agricultura misma que se ha ido dotando de tecnología IoT para así mantener la conectividad, siendo un vínculo entre las magnitudes físicas del suelo con el ser humano para así poder interpretar los datos y tomar decisiones, también permite reducir el riesgo de alguna pérdida en los cultivos, aumentando así la productividad y la rentabilidad a través de la tecnología permitiendo optimizar y utilizar fertilizantes, pesticidas y riego de manera eficiente, crear productos más saludables y con ello reducir los costos de producción en el agro.

3.2.2 Arquitectura IoT

Para lograr un sistema cuya arquitectura utilizada es IoT suele constar de tres etapas las cuales van desde los sensores que se conectan por medio de una red de datos que se llevan hasta un contenedor de datos, ya sea local o en la nube para así lograr un procesamiento de los datos y si se lo desea su posterior almacenamiento para así lograr la visualización posterior de los datos.

Etapa 1, sensado. - el comienzo del sistema o de algún proceso en particular se comienza desde la parte del sensado en donde los nodos toman los datos de los sensores cuyos datos se encuentran en el ambiente como magnitudes físicas, éstos

pueden ser humedad, temperatura, composición o estructura química, caudal del agua entre otros.

Etapa 2, pasarela o Gateway. – Un dispositivo el cual recolecta los datos de la etapa uno por medio de una comunicación inalámbrica o cableada, un Gateway recolecta los datos de los sensores para llevárselos a la etapa de procesamiento.

Etapa 3, procesamiento y centro de datos. – en esta parte se elige de acuerdo a las necesidades de cada situación en donde se analiza, gestiona y almacena de forma segura los datos tomados de la etapa del sensado. Por medio de IoT se puede tomar decisiones, analizar datos o detectar fallas (anomalías en los sistemas) estando en diferentes partes geográficas. [50]

3.2.3 Beneficios del desarrollo del prototipo

Al tener la posibilidad de acceder en la actualidad a los que se conoce como World Wide Web (WWW) acceso a internet y el uso de las tecnologías de la información (TIC) tenemos un mundo para poder desarrollar diferentes aplicaciones y que mejor en ayuda de los sistemas existentes o de uso tradicional. Como ya se ha mencionado en los párrafos anteriores uno de los campos de producción es la agricultura y que a nivel nacional en el Ecuador es el que menos se lo ha explotado ni se lo ha dotado de la suficiente inversión.

El prototipo IoT que se plantea para el telecontrol del riego a goteo en la agricultura con tecnología LoRa brinda las facilidades de tener monitorizado variables que muchas de las veces a simple vista no se las puede percibir con precisión por lo cual la ayuda de sensores diseñados para cada área, tales son:

Temperatura. - misma que varía constantemente en el día, así como también en cada estación ya que para los cultivos es muy importante porque al no tener el calor necesario retrasa su producción por tener un índice bajo como lo es en el invierno al tener frío el suelo se demora en calentarse incrementando el tiempo de floración y crecimiento de los frutos, en cambio en verano el clima es idóneo ya que tiene el calor necesario que la planta necesita para su desarrollo, pero no todo en demasía es bueno al tener exceso de calor a planta transpira más y tiende a secarse por lo que hay que tener un equilibrio con la hidratación de la planta [51].

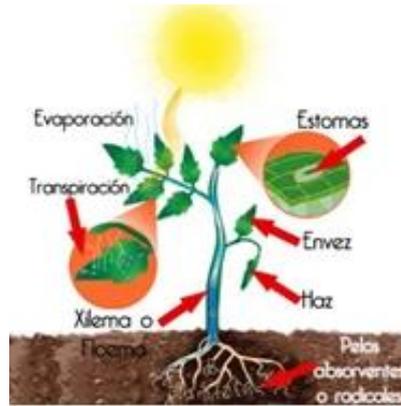


Fig. 5. Influencia de la temperatura en las plantas. [51]

Humedad. – Así como cuando se tiene una deficiencia de agua en el suelo para las plantas, éstas se tienden a marchitar y a secar, lo mismo se aplica cuando existe una humedad excesiva la planta tiende a dañarse, generalmente sucede en épocas de lluvia ya que las precipitaciones suelen ser elevadas y el terreno no cuenta con el drenaje necesario para que la planta se pueda oxigenar de manera eficaz reduciendo así la asimilación de nutrientes [52].



Fig. 6. Irrigación de agua para la planta. [52]

pH. – Se mide en una escala de 0 – 14 en donde cero significa muy ácido y 14 muy alcalino, se tiene un nivel neutro en el medio nivel 7. El pH influye en las plantas de manera que, si existe un déficit o un exceso sobre el nivel medio, generando un obstáculo grande en la absorción de nutrientes necesarios para la planta, como se lo muestra en la Tabla 13 [53]:

Tabla 13. Nutrientes no absorbidos sobre o debajo del nivel requerido. [53]

pH \leq 5, déficit en la absorción	pH \geq 6, déficit en la absorción
Nitrógeno (N)	Boro (B)
Molibdeno (Mo)	Fosfatos (PO)
Azufre (S)	Cobre (Cu)

Para medir los valores de temperatura, humedad y pH presentes en el suelo se desarrolló un prototipo que sea capaz de mostrar al agricultor o persona operaria del sistema dichos valores. En caso de existir un cambio en una de las magnitudes físicas como la humedad del suelo, se pueda tomar acción y proceder a regar el cultivo, permitiendo así ayudar a la planta a tener un mejor desarrollo, en donde permita mejorar la rentabilidad para el agricultor al momento de la cosecha. Por tal se menciona algunos de los beneficios del prototipo:

- El uso de la tecnología ayuda a tener un control de dichas variables físicas.
- Por medio del manejo de los datos se los puede almacenar y procesar.
- Tener un control del uso del recurso hídrico necesario para la vida.
- Ahorro tiempo y recursos necesarios en los cultivos, al tener una visión clara de los parámetros que influyen en el crecimiento de las plantas.
- Minimiza los riesgos por daños debido a factores climáticos.
- Al poseer un control del riego permite el cultivo en diferentes épocas del año.
- Comodidad y seguridad por parte del operario al poseer la herramienta de telecontrol para así tomar decisiones sobre los actuadores.

3.2.4 Cultivos agrícolas en Tungurahua

La provincia de Tungurahua al tener grandes extensiones de terrenos y por su situación geográfica son aptos para el cultivo, algunos de ellos son la horticultura, tubérculos, cereales y algunas especies de bayas lo cual hace que la provincia cuente con una producción diversificada y abundante. Por ellos se determina que la agricultura es una de las actividades con mayor relevancia tiene en la población económicamente activa con un 40% de participación. [54]

En el cantón Cevallos al poseer un clima propicio para la siembra y cultivo de huertas frutales se tiene así que una de las actividades de producción de las familias en el cantón lo es la fruticultura, aquí se encuentra frutos como la manzana, pera, claudia y durazno cuyo período de cosecha se lo hace anualmente, otra variedad de producto que ha tomado gran acogida lo es la mora por su producción semanal lo que ha hecho que se introduzca fuertemente en el mercado, aportando así a la producción nacional. [55]

Conforme a la información del ministerio de agricultura y ganadería (MAG) se tiene que en el cantón Cevallos perteneciente a la provincia de Tungurahua el cultivo de mora se encuentra como uno de los diez productos cuya producción a nivel nacional se encuentra como prioridad del MAG, debido a que su siembra y cosecha aporta en un 60% a la producción nacional. Así como también la mención de varios productores del cambio al cultivo de mora por sus prestaciones y que el producto a diferencia de la Claudia, manzana y pera muy particulares del sector, la mora tiene un período de cultivo de 10 años y una cosecha de producto semanal. [55]

3.2.5 Selección del cultivo

Al realizar un análisis de los productos cuyo impacto en el mercado ha aumentado y conforme a la información previamente recopilada se toma al cultivo de mora por sus prestaciones que tiene para el agricultor y la posibilidad que se tiene para introducir procesos que ayuden a mejorar su producción, tal es el caso de un productor de mora del cantón el cual menciona que gracias al asesoramiento correcto por parte de los técnicos obtiene un rendimiento favorable en su producción llegando a ser casi el doble que cuando lo hacía sin asesoría [56].

Otro caso, es que con una tecnificación por medio de la implementación de un sistema de riego a goteo el cultivo mejoró la producción en un 70% generando así al productor un mayor ingreso para su familia que se dedica en su totalidad al cultivo de mora [56].

3.2.5.1 Características del cultivo de mora

Las moras son unas frutas las que pertenecen al grupo de bayas. Es percedero, rico en vitamina C y con una cantidad de agua elevada. Las zonas productivas

de Ecuador se encuentran ubicadas en los valles y la cordillera andina, en las provincias de Tungurahua, Chimborazo, Pichincha, Imbabura y Carchi, en donde sus características agroecológicas dan paso para mantener la producción por todo el año. A nivel del continente se la puede encontrar en los países de Colombia, Ecuador, Panamá, Guatemala, Honduras, México y El Salvador. Después de haber sido trasplantadas, sus frutos comienzan a explotarse a partir de los 6 a 8 meses, y dependiendo de la supervisión y control de la finca, las plantas tienen un período de producción de 10 años o más, el cual aumenta a medida que el cultivo crece y madura.

Para su desarrollo necesita tener ciertos requerimientos climáticos que se detallan a continuación [57]:

- **Temperatura:** clima relativamente fresco y soleado con una temperatura promedio de 25°C y una temperatura baja promedio de 16°C.
- **Altitud:** Para un óptimo desarrollo la mora se debe cultivar entre los 1.200 y 2.000 m.s.n.m., aunque puede tolerar un amplio rango de altitudes.
- **Precipitación pluvial:** entre 1.500 y 2.500 mm. al año bien distribuidas.
- **Humedad relativa:** del 80 al 90%.

Requerimientos del suelo para el desarrollo de la mora [57]:

- Mejor desarrollo en suelos franco arcillosos.
- Deben presentar un buen drenaje, tanto interno, como externo al ser que es susceptible a encharcamientos.
- Con alto contenido en materia orgánica como el fósforo y potasio.
- Con un nivel de pH entre 5,2 – 6,7 en donde el valor óptimo se encuentra en 5,7.

Distancia de plantación: es definida de acuerdo a ciertos factores como fertilidad del suelo, condiciones ambientales, pendiente del terreno variedad y empleo de maquinaria. En base a esto dependiendo del terreno si es fértil, con pendiente, frío o húmedo requerirá de una mayor distancia, con el fin de disminuir la influencia de

enfermedades. Además de evaluar si se va a ocupar un tractor en el terreno para la manutención del terreno entre las filas o si se lo realiza de forma manual. En la Tabla 14 se muestra diferentes distanciamientos dependiendo del tipo del terreno [58].

Tabla 14. Distancia de plantación para mora [58].

Tipo	Entre hileras	Entre plantas	Nº plantas/hectárea	Observaciones
Rectángulo	3,00 m	2,00 m	1666	Sitios fríos altos; húmedos
Rectángulo	2,50 m	1,50 m	2666	Sitios secos
Rectángulo	2,80 m	1,80 m	2000	Sitios medio húmedos
Cuadrado	2,50 m	1,50 m	2000	Sistema chiquero

En ciertos terrenos en donde la vigorosidad de la planta es menor se ocupa distancias de plantación que oscilan entre 1,80 – 2,40 m entre hileras y de 0,50 m – 0,70 m entre plantas dentro de la hilera dando como resultado un total de 6000 – 11 100 plantas por hectárea [58].

3.2.6 Ubicación de la parcela

La parcela en que se va a instalar el prototipo se encuentra ubicada en la provincia de Tungurahua en el cantón Cevallos barrio Santo Domingo, en dicho terreno se utiliza el riego de manera tradicional que es por inundación, por tal es idóneo el lugar para verificar el sistema de riego a goteo. En la Figura 7 se muestra la ubicación del terreno a utilizarse el cual cuenta con 178.59 metros cuadrados con el cultivo de mora, tradicional del sector.

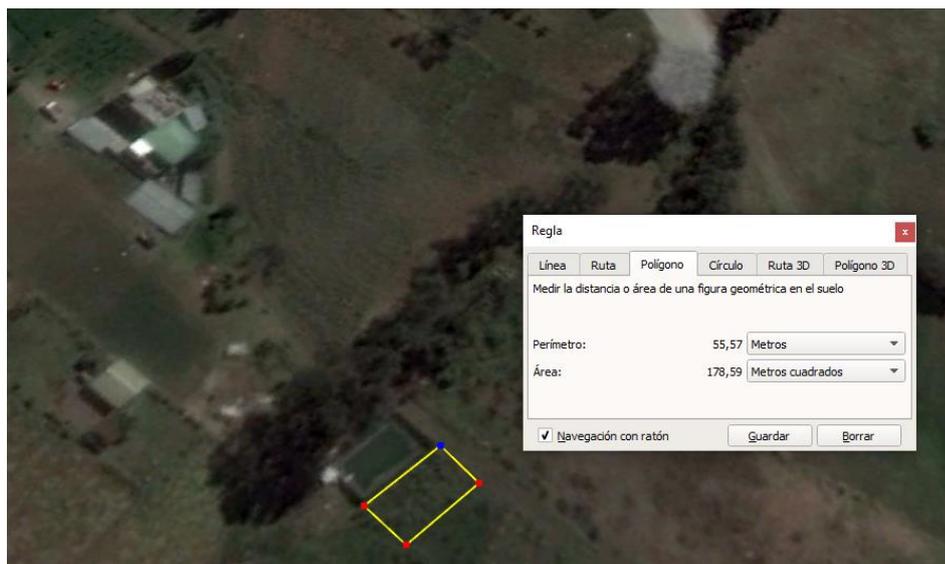


Fig. 7. Ubicación del terreno a utilizarse.

Elaborado por: El investigador

3.2.7 Desarrollo de la propuesta del prototipo

El esquema del prototipo sienta sus bases en las redes LPWAN en su implementación, conforme a ello el sistema consta de cuatro bloques mismos que son nodo sensor, Gateway LoRa, Servidor y Nodo actuador, en la Figura 8 se muestra sus componentes.

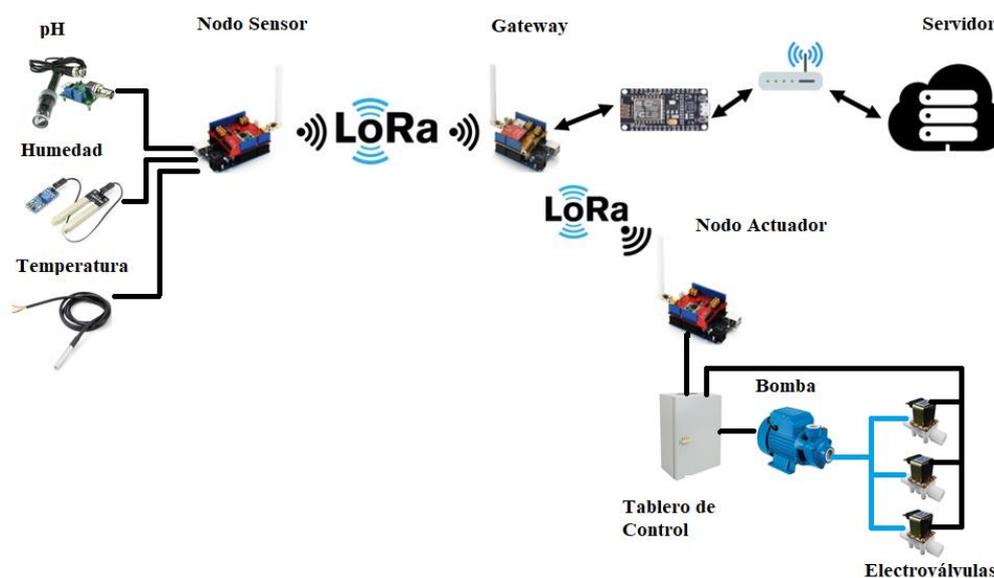


Fig. 8. Esquema general del prototipo IoT de telecontrol para la agricultura inteligente.

Elaborado por: El investigador

3.2.7.1 Nodo Sensor

En el nodo sensor podemos encontrar dos etapas que lo conforman, mismas que son la etapa de sensado y adquisición de datos, y, etapa de transmisión:

Sensorización y adquisición de datos: aquí los sensores se encargan de tomar las magnitudes físicas del suelo para luego ser convertidas o acondicionadas por medio del ADC de microcontrolador, el cual cuantifica los datos.

Transmisión: por medio de la Shield LoRa quien en primera instancia recibe los datos desde el microcontrolador los toma y transmite de forma inalámbrica hacia el Gateway LoRa.

3.2.7.2 Gateway LoRa

Se determina en esta etapa la recepción de los datos que son enviados desde el nodo sensor, aquí los datos son procesados y por comunicación serial se los transmite hacia la tarjeta ESP8266 que hace de intermediario con el servidor. En el Gateway se recibe los datos tanto del nodo sensor como desde el servidor para ser enviado al nodo actuador.

3.2.7.3 Servidor

Aquí es en donde se gestiona la información que es enviada desde las etapas anteriores, mismo que contiene un Servidor LAMP para el almacenado de los datos en una base de datos en MySQL, Node Red en donde el cliente interactúa de manera directa por medio de una interfaz web en donde se puede visualizar las magnitudes físicas y realizar el control del nodo actuador.

3.2.7.4 Nodo actuador

Es el dispositivo que recibe los datos que son enviados desde el servidor hacia el Gateway LoRa y éste por medio de comunicación inalámbrica los envía hasta en nodo actuador en donde se realiza en control de la bomba monofásica y de las electroválvulas desde la interfaz web.

3.2.8 Descripción del Hardware

3.2.8.1 Nodo Sensor

Adquirir las variables físicas que nos proporciona el suelo ayudó a tener un análisis del comportamiento para la toma de decisiones. Los datos recolectados son procesados y transmitidos hacia el Gateway LoRa. Aquí se realiza la medición de temperatura, humedad y pH, y la utilización de hardware LoRa para la transmisión de los datos.

3.2.8.1.1 Selección de sensor de Temperatura

En la Tabla 15 se muestra tres distintos sensores para medir temperatura, existentes en el mercado y compatibles con Arduino.

Tabla 15. Tabla de comparación sensores de temperatura [57] [58]

	DS18B20	DTH11	LM-35
Voltaje de alimentación	3 – 5,5 voltios	3 – 5 voltios	4 – 20 voltios
Rango de medición	-55°C a +125°C	0°C a 50°C	-55°C a +150°C
Precisión	0,5 °C	2 °C	0,5 °C
Calibrado	° Celsius	° Celsius	° Celsius
Precio	\$3,50	\$4,00	\$2,85

Para los propósitos del desarrollo del prototipo se utilizó el sensor de temperatura DS18B20, por sus características, las mismas que son propicias para el suelo ya que posee un revestimiento que permite impermeabilizarlo ante las condiciones climáticas como la lluvia, además de una terminal de acero inoxidable, por lo que se seleccionó este sensor, como se puede ver en el Anexo J y como se evidencia en la Figura 9 la distribución de pines.



Fig. 9. Sensor DS18B20 [58]

3.2.8.1.2 Selección sensor de Humedad

En la Tabla 16 se realizó una comparación de los sensores de humedad aparentes para el diseño del proyecto, los cuales se los puede encontrar en el mercado de forma accesible.

Tabla 16. Tabla de comparación sensores de humedad [59] [60]

	YL69	DTH11	DHT-22
Voltaje de alimentación	3.3 – 5 voltios	3 – 5 voltios	3 – 5 voltios
Corriente	35 mA	0,3 mA	0,3 mA
Rango de % humedad	0% - 93%	20% - 90%	0% - 100%
Precio	\$1,75	\$3.50	\$7,25

Por las características del proyecto se seleccionó el sensor de humedad YL-69, ver Figura 10, ya que dicho sensor posee dos electrodos que se puede enclavar en el suelo con gran facilidad, así como también de que posee un módulo acondicionador que a su salida entrega un dato analógico o uno digital, por motivos de precisión se ocupara la salida analógica.

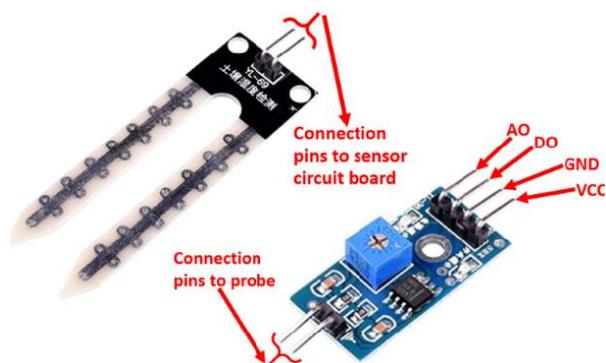


Fig. 10. Sensor YL-69 [60]

3.2.8.1.3 Selección sensor de pH

En el mercado nacional se puede encontrar una marca de sensor que permite la medición del nivel de pH, el cual se menciona en la Tabla 17.

Tabla 17. Tabla de comparación sensores de pH
Elaborado por: El investigador

	SEN0161
Voltaje de alimentación	0 – 5 voltios
Rango de Medición	0 – 14 pH
Precisión	+ - 0,1 pH
Tipo de conector	BNC
Precio	\$45

La sonda seleccionada para sensar pH fue SEN0161 ya que es la existente en el país y posee características de compatibilidad con la plataforma Arduino ya que la sonda viene con una tarjeta de acondicionamiento de la señal que nos da a la salida un dato analógico, con ello se puede procesar la información de salida en el Arduino. Ver (Anexo K)

Rango de sensores seleccionados

En la Tabla 18 se muestra una breve descripción de los rangos de cada uno de los sensores utilizados en el presente proyecto. En donde de acuerdo a las condiciones que se tiene del suelo podemos establecer y llegar a la conclusión conforme a la información investigada, de que los sensores son óptimos para los propósitos del prototipo. Cada uno posee un rango de medición que se adapta a las condiciones tanto del suelo como del clima, el sensor de temperatura posee una punta de metal con un revestimiento de plástico que permite al sensor ser colocado a la intemperie. Un sensor de humedad que permite la medición adecuada en un rango específico para tomar los valores de la humedad del suelo, este sensor posee dos electrodos por medio del cual se toma la medición. Y un sensor de pH cuya sensibilidad es adaptable por medio de su tarjeta acondicionadora de señal. Los tres sensores se los hizo funcionar con una alimentación de 5 voltios DC de acuerdo a las características de alimentación.

Tabla 18. Rango de sensores

	DS18B20	YL69	SEN0161
Voltaje de alimentación	3 – 5,5 voltios	3.3 – 5 voltios	0 – 5 voltios
Rango de medición	-55°C a +125°C	0% - 93%	0 – 14 pH
Precisión	0,5 °C		+ - 0,1 pH

Elaborado por: El investigador

3.2.8.1.4 Selección del microcontrolador

Al tener el uso de librerías del sensor de pH se produce una interferencia entre los datos por lo que se selecciona de acuerdo a la Tabla 19 conforme se analizó por sus características:

Tabla 19. Tabla de comparación de microcontrolador. [61] [62]

	Arduino Nano	Arduino Micro	Arduino MiniPro
Voltaje de alimentación	5 / 7 – 12 Voltios	7 – 12 Voltios	3,35 – 12 Voltios
Procesador	ATmega328p	ATmega32U4	ATmega328*
Velocidad CPU	16 MHz	16 MHz	8 MHz
Entradas Analógicas	8	12	6
Entradas Digitales	14	20	14
USB	Mini USB	Mini USB	No
UART	1	1	1
SRAM	1KB	2,5 KB	2 KB
EEPROM	512 bytes	1 KB	1 KB
Precio	\$5,50	\$7,00	\$5,50

Se eligió en base al análisis de sus características de los microcontroladores descritos en la Tabla 19 que es conveniente un Arduino Nano al tener las características necesarias para el desarrollo del proyecto. Sus características como la disposición de un puerto mini USB para poder cargar el programa, una frecuencia de reloj del procesador de 16 000 Hz para procesar los datos, como se puede ver la distribución de pines en la figura 11 y por su precio que es accesible. Ver Anexo H

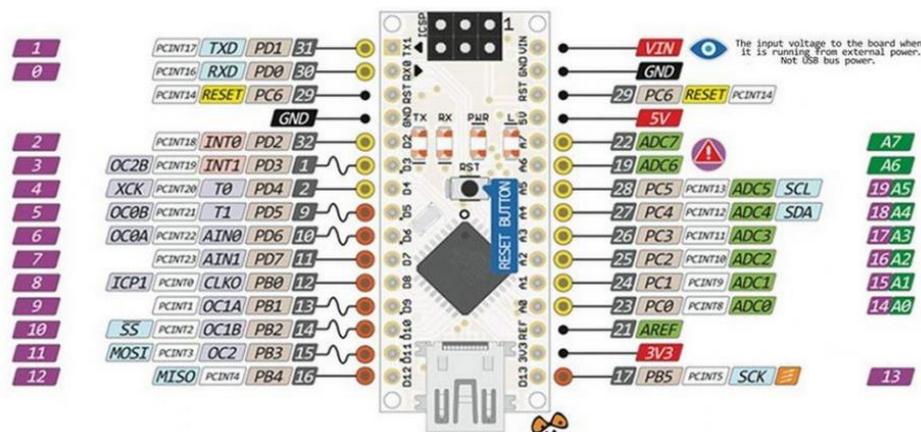


Fig. 11. Pines del Arduino Nano [63].

3.2.8.1.5 Selección tarjeta de comunicación LoRa

Existe diferentes tipos de tarjetas electrónicas para cada función a emplearse, en la Tabla 20 se muestra tres de las tarjetas empleadas en proyectos con comunicación LoRa.

Tabla 20. Tabla de comparación tarjetas de comunicación LoRa [64] [65] [66]

	Lyligo LoRa32	Heltec ESP8266	Shield Lora
Voltaje de alimentación	1,8 – 3,7 Voltios	3,7 Voltios	3,5 – 5 Voltios
Corriente	10 – 14 mA		
Comunicación Inalámbrica	LoRa/WiFi/BT	LoRa/WiFi/BT	LoRa
Chip RF	SX1276/SX1278	SX1276/SX1278	SX1276/SX1278
Frecuencia	868/915 MHz	868/915 MHz	868/915 MHz
Potencia de Transmisión	19dBm	19,5 dBm	20 dBm
Sensibilidad de Recepción	-130 dBm	-98 dBm	-148 dBm
Modulación	FSK	FSK	FSK/GFSK/MSK/OOK
Interface	SPI/I2C/UART	SPI/I2C/UART	SPI
Antena	IPEX	IPEX	Coaxial

La Shield LoRa, que se muestra en la Figura 12, es compatible con placas Arduino basada en el chip de radiofrecuencia SX1276/SX1278 cuyas bandas de frecuencia se encuentran dentro de las frecuencias de ICM que son bandas libres y permitidas en el país para uso de investigación, que es el caso del presente proyecto. Dentro del análisis realizado y por cual se procedió a la selección de esta tarjeta descartando a las otras se debe a la existencia de librerías propicias para la configuración de la transmisión de la información, al ser que se conecta por SPI a una tarjeta de Arduino compatible, su programación es mucho más didáctica, acoplándose a las necesidades requeridas. Ver (Anexo G)

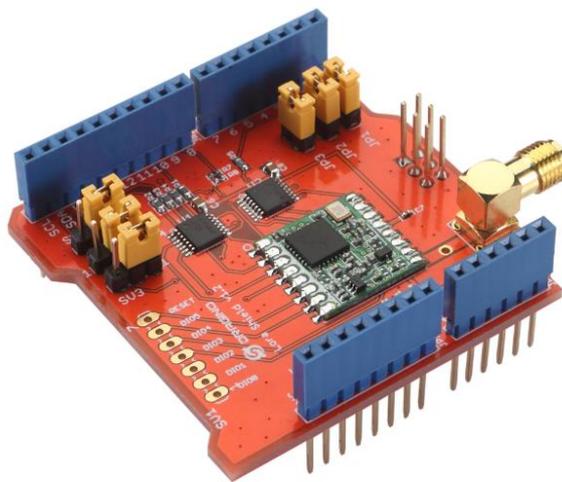


Fig. 12. Shield LoRa para Arduino [66]

3.2.8.1.6 Selección de tarjeta Arduino para Shield LoRa

Una de las características de las tarjetas de programación de software libre es la capacidad de ser compatibles con otras tarjetas, en la Tabla 21 se muestra una comparación de cada tarjeta compatible con la shield LoRa.

**Tabla 21. Tabla de comparación tarjetas Arduino compatibles para Shield LoRa. [67]
[68]**

	Arduino Mega	Arduino Leonardo	Arduino Uno
Voltaje de alimentación	5 / 7 – 12 Voltios	5 / 7 – 12 Voltios	5 / 7 – 12 Voltios
Procesador	ATmega2560	ATmega32u4	ATmega328
Velocidad CPU	16 MHZ	16 MHz	16 MHz
Pines Analógicas	16	12	6
Pines Digitales	54	20	14
USB	Si	Si	Si
UART	2	1	1
Interface	SPI/I2C/UART	SPI/I2C/UART	SPI/I2C/UART
SRAM	8 Kb	2,5 Kb	2 Kb
EEPROM	4 kb	1 Kb	1Kb
Precio	\$24,00	\$19,00	\$10,00

Todas las placas mencionadas anteriormente poseen características similares y en base al análisis mediante la Tabla 21 se determinó el uso de la placa Arduino Uno por adaptarse al tipo de conexión de la Shield LoRa que lo es por SPI, se podría elegir la placa Arduino Mega, pero se estaría sobredimensionando los requerimientos de hardware con lo que se va a utilizar, por ello se eligió el Arduino Uno ya que cumple con los requerimientos necesarios para el desarrollo del proyecto, además de que su precio es accesible.



Fig. 13. Arduino Uno compatible con Shield LoRa [67].

3.2.8.2 Nodo Gateway LoRa

El conjunto de la Shield LoRa con el Arduino Uno fue seleccionado como dispositivo pasarela de datos (Gateway) LoRa por sus características que posee, ya que en este punto es el que se va a encargar de la recepción de los datos desde el nodo sensor y en envío de los datos hacia el nodo actuador por medio de comunicación inalámbrica LoRa. El mismo que va a estar conectado por comunicación serial hacia la tarjeta NodeMCU ESP8266 para su comunicación con internet para realizar el IoT, que va a estar conectado a un servidor.

NodeMCU 8266. – Es un dispositivo para plataformas IoT el cual posee una comunicación inalámbrica WiFi y Bluetooth por lo que en su código se lo puede conectar hacia un servidor, se puede realizar plug and play con un módulo fácil de configurar. Sus principales usos son en el desarrollo de aplicaciones IoT como lo es el caso del presente proyecto. Ver Anexo I

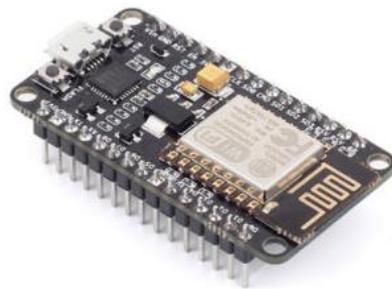


Fig. 14. NodeMCU ESP8266 [69]

3.2.8.3 Nodo Actuador

Selección de bomba

Bomba periférica. - Su utilización se centra en los ambientes domésticos donde la altura de impulsión llega hasta los 30 metros de altura, sirve para dotar de agua a edificios en el cual la distancia por la presión normal del sistema público no abastece las necesidades de los usuarios.

Bomba centrífuga. – Este tipo de bombas son utilizadas en los ambientes domésticos y agrícolas. Se diferencia de las demás en su categoría por la capacidad de succión, en donde se puede sacar el agua de pozos y dotar al regadío de una buena cantidad de agua en lapso de tiempo corto. Además, que son más silenciosas que las periféricas.

Motobomba. – Para su funcionamiento es necesario la utilización de combustible fósil que a diferencia de las anteriores que utilizan la electricidad, ésta tipo de bomba es apto para suministrar agua a lugares en que su distancia es considerable, así como también se la utiliza para el llenado de tanques y el uso en el sector agrícola.

Se seleccionó una bomba centrífuga por su uso en el sector agrícola al tener la capacidad de succión desde un tanque el cual almacena el agua. Así como también se adapta a las necesidades del proyecto, en el que se riega el agua por medio de las tuberías hacia la planta para así asegurar su eficiencia en la producción.

3.2.8.3.1 Dimensionamiento Eléctrico

Consumo energético nodo sensor

Se determina el consumo del dispositivo en base al consumo de cada elemento, el nodo consta de los elementos detallados en la Tabla 22.

Tabla 22. Consumo de corriente del nodo sensor

Dispositivo	Consumo de corriente (mA)	Voltaje (V)	Potencia(mW)
Arduino nano	15	5	75
Arduino uno	40	5	200
Shield LoRa	10,3	5	51,5
Sensor pH	30	5	150
Sensor Humedad	5	5	25
Sensor Temperatura	5	5	25
Total	105,3	5	526,5
Valor medido	98,7	5	493,5

Elaborado por: El investigador

Consumo energético del nodo Gateway

En la Tabla 23 se muestra los valores teóricos de consumo de corriente de cada uno de los elementos que intervienen en nodo, en donde se corroboró por medio de la utilización de un multímetro marca TRUPER serie MUT39 que el valor sea el de consumo, en donde se puede evidenciar la variación que existe entre el valor teórico y el valor medido.

Tabla 23. Consumo de corriente nodo Gateway

Dispositivo	Consumo de corriente (mA)	Voltaje (V)	Potencia(mW)
Arduino uno	40	5	200
Shield LoRa	10,3	5	51,5
NodemCU 8266	70	5	350
Total	120,3	5	601,5
Valor medido	117,6	5	588

Elaborado por: el investigador

Consumo de energía del nodo Actuador

De acuerdo a las características del proyecto, esta etapa se divide en dos partes, la primera que corresponde electrónica y de control. La primera se lo realizó con el cálculo de la corriente teórica y en base a la medición por medio de un multímetro en el que se evidencia el consumo real que tiene el dispositivo. Se tomó el consumo de 500 mA de la shield de relays de 4 canales en su consumo máximo, ya que cada bobina consumo 90 mA dando un total de 360mA mas el consumo de la placa dando un total de 500mA de consumo. En la Tabla 24 se muestra los valores del consumo de corriente del nodo actuador.

Tabla 24. Consumo de corriente nodo Actuador

Dispositivo	Consumo de corriente (mA)	Voltaje (V)	Potencia(mW)
Arduino uno	40	5	200
Shield LoRa	10,3	5	51,5
Shield Relays	500	5	2500
Total	550,3	5	2751,5
Valor medido	548,7	5	2743,5

Elaborado por: El investigador

Potencia y Control

Para la selección de los componentes necesarios para el correcto funcionamiento de la bomba monofásica se procedió a calcular el consumo de corriente por medio de la siguiente fórmula:

Cálculo de alimentadores y protecciones de un motor monofásico.



Figura 1: Placa bomba de agua monofásica Siemens 1 HP.

Fuente: El investigador

Datos

Potencia mecánica (P_m) = 1 HP → en Watts $P_m=745.7$ W

Eficiencia nominal (η)= 66 %

Voltaje (V)= 115 V

F_p (Factor de potencia) = 0.86

Cálculo de la corriente nominal

$$I_n = \frac{P_e}{V * F_p}$$

Simbología

I_n (Corriente nominal)

P_e (Potencia eléctrica del motor) en watts

$$P_e = \frac{P_m}{\eta}$$

$$P_e = \frac{745.7}{0.66}$$

$$P_e = 1129.84 \text{ Watts}$$

$$I_n = \frac{1129.84}{115 * 0.86}$$

$$I_n = 11.42 \text{ A}$$

La corriente nominal coincide con la de la placa 

Selección de Guardamotor

Para seleccionar el guardamotor se utiliza la corriente de servicio que es el porcentaje de sobrecarga que soporta el motor.

$$I_s = I_n * F_s$$

$$I_s = 11.42 * 1.15$$

$$I_s = 13.13$$

Entonces se selecciona un guardamotor de 10 a 16 amperios y se selecciona el valor de I_s

Guardamotor seleccionado Guardamotor 10–16A 3RV2021-4AA10 SIEMENS



Selección del conductor para alimentar la bomba

$$I_n = 11.42 \text{ A}$$

Para seleccionar el cable o conductor adecuado para que no se sobrecaliente la CEN(Comité Europeo de Normalización) recomienda multiplicar el valor de la

corriente nominal por 1.25% y de ahí seleccionar el valor correspondiente según la tabla 250-95 del CEN

$$I = I_n * 1.25$$

$$I = 11.42 * 1.25$$

$$I = 14.28 \text{ A}$$

Como en la tabla solo hay valores enteros se aproxima al inmediato superior

$$I=15 \text{ A}$$

Tabla 250-95

Tabla 250-95. Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos

Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, tubo conduit, etc. (A)	Sección Transversal			
	Alambre de cobre		Alambre de aluminio o de aluminio revestido de cobre *	
	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
15	2,08	14	3,30	12
20	3,30	12	5,25	10
30	5,25	10	8,36	8
40	5,25	10	8,36	8

El valor seleccionado para alambre de cobre en AWG es el calibre 14

Selección del disyuntor para el circuito

La selección del disyuntor motor se realiza en función de la corriente nominal del motor.

$$I_d = \text{Corriente del disyuntor}$$

$$I_d > I_n$$

$$I_d > 11.4$$

Se eligió un disyuntor de 12 Amperios

Selección del contactor

Se selecciona en base a la corriente nominal de motor.

$$I_d = \text{Corriente del contactor}$$

$$I_d > I_n$$

$$I_d > 11.4$$

$$I_K \geq I_n \Rightarrow I_K \geq 11A$$

Elegimos contactor de 12A, con bobina de 110V/60 Hz y un contacto auxiliar normalmente abierto.

3.2.8.3.2 Circuito de control/mando

En la figura del Anexo A se muestra los circuitos de mando y de fuerza que se instaló en el prototipo de telecontrol del riego a goteo, el cual consta del circuito de control y el circuito de fuerza que permite el accionamiento de los actuadores. En el que para su funcionamiento se tomó como base la corriente calculada que consume la bomba que es de 6,78 amperios.

El circuito de mando consta de dos bloques, bloque A y bloque B, los que permiten el accionamiento de la bomba de agua y las electroválvulas.

Bloque A

Consta de un botón de paro de emergencia en caso de que existiera alguna anomalía en el funcionamiento del circuito o en caso de que el operario lo requiera. Un selector de dos posiciones en el que se elige el funcionamiento del circuito ya sea desde el sistema por medio de la interfaz de telecontrol, o desde el tablero eléctrico de forma manual en el que el operario decida su funcionamiento. Un contactor el cual, dependiendo del control, ya sea manual o desde la interfaz, activa su bobina y permite el paso de la energía para accionar la bomba de agua, seguido la activación de la electroválvula de paso principal. Para visualización de la persona que se encuentra en campo se colocó en el tablero una luz indicadora para verificar que se encuentra encendido la bomba.

Bloque B

El bloque B abarca parte del control de las electroválvulas, en el proyecto del diseño del prototipo se instaló tres electroválvulas para simular el control de tres sectores de cultivo del riego a goteo. De igual manera como el funcionamiento del bloque A, se tiene dos maneras de controlar el circuito, la forma manual en la que el operario tiene la potestad de elegir y decidir el funcionamiento, y la forma de control por medio del sistema de telecontrol. Para lograr dicho funcionamiento se coloca en el diagrama unifilar en paralelo ambas condiciones, lo cual permite trabajar de las dos formas, cada electroválvula posee una luz indicadora para tener una forma visual del funcionamiento.

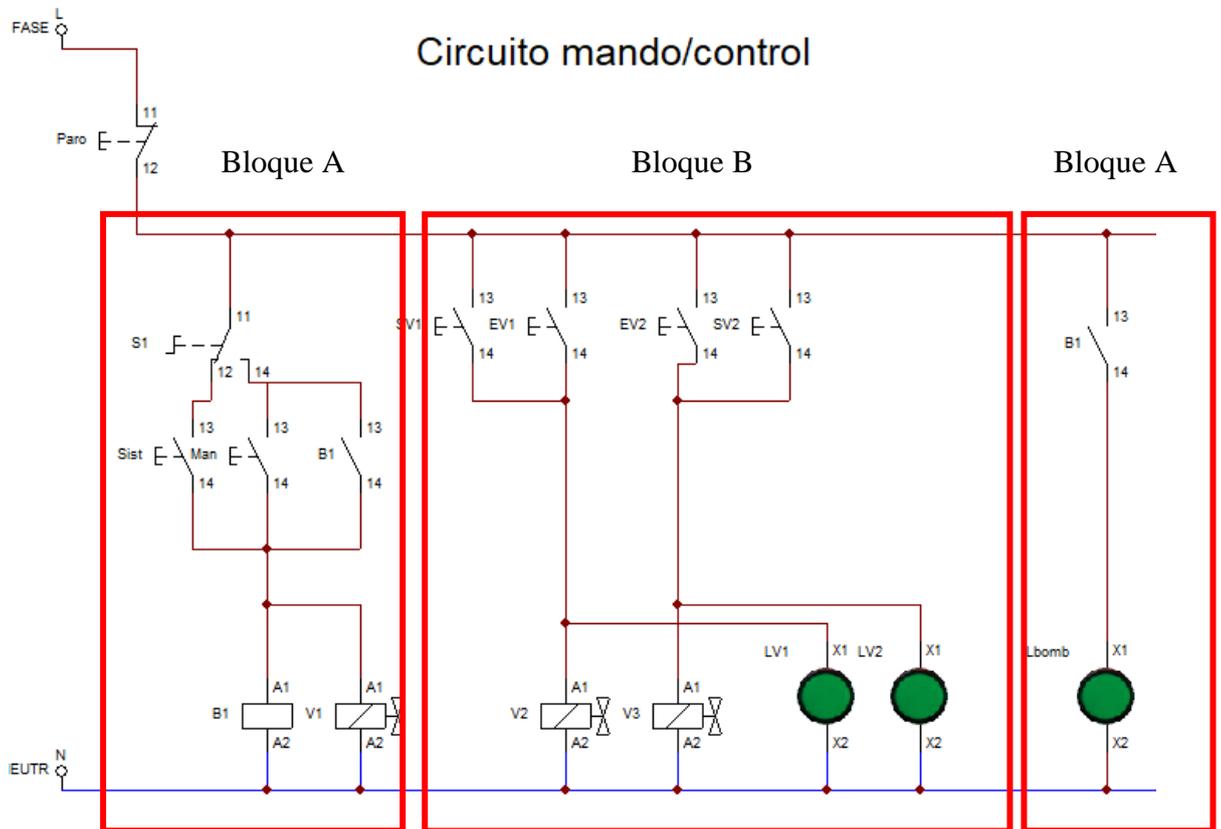


Fig. 15. Circuito de control bomba de agua para sistema de riego a goteo.

Elaborado por: El investigador

3.2.8.3.3 Circuito de Fuerza/Potencia

Por medio del circuito de control se acciona la bomba de agua monofásica de 1 HP en cual consta de un magneto térmico, un guarda motor con los valores requeridos

por la bomba de agua y un contactor que permite que la bobina se quede enclavada por medio de los contactos NA del contactor, así la bomba se acciona y realiza su funcionamiento. En la Figura 16 se muestra el circuito de fuerza.

Circuito de Fuerza/Potencia

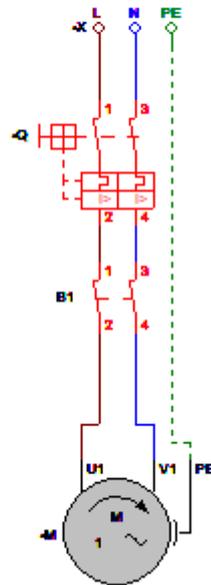


Fig. 16. Circuito Fuerza/Potencia.

Elaborado por: El investigador

3.2.9 Descripción sistema de riego a goteo

Mediante las señales que vienen desde la interfaz de telecontrol o de manera local por medio del tablero eléctrico, se controla la forma de regar el agua hacia las plantas de cultivo, en este caso se regó a la plantación de mora. Se activa la bomba con la señal de llegada dando paso del agua desde el tanque reservorio hacia la electroválvula principal, luego continuó hacia el recipiente de fertilizante, si es el caso de fertilizar el cultivo por medio del mismo sistema de riego, esto se pudo decidir por medio de los valores sensados en el cultivo. Dependiendo del caso ya se el sector 1 correspondiente a la electroválvula 2 o el sector 2 correspondiente a la electroválvula 3 se activará el sistema, el riego se lo puede hacer en diferentes horas del día, pero por motivo de que la planta se recupera en el horario de la tarde al caer el sol se recomienda realizar el proceso a dicho intervalo de tiempo y en base a los

datos calculados con la frecuencia de riego (FR), en el que se obtuvo como resultado un total de riego a la semana de: 6,42 hrs/semana.

$$TR = 6,42 \text{ hrs/semana}$$

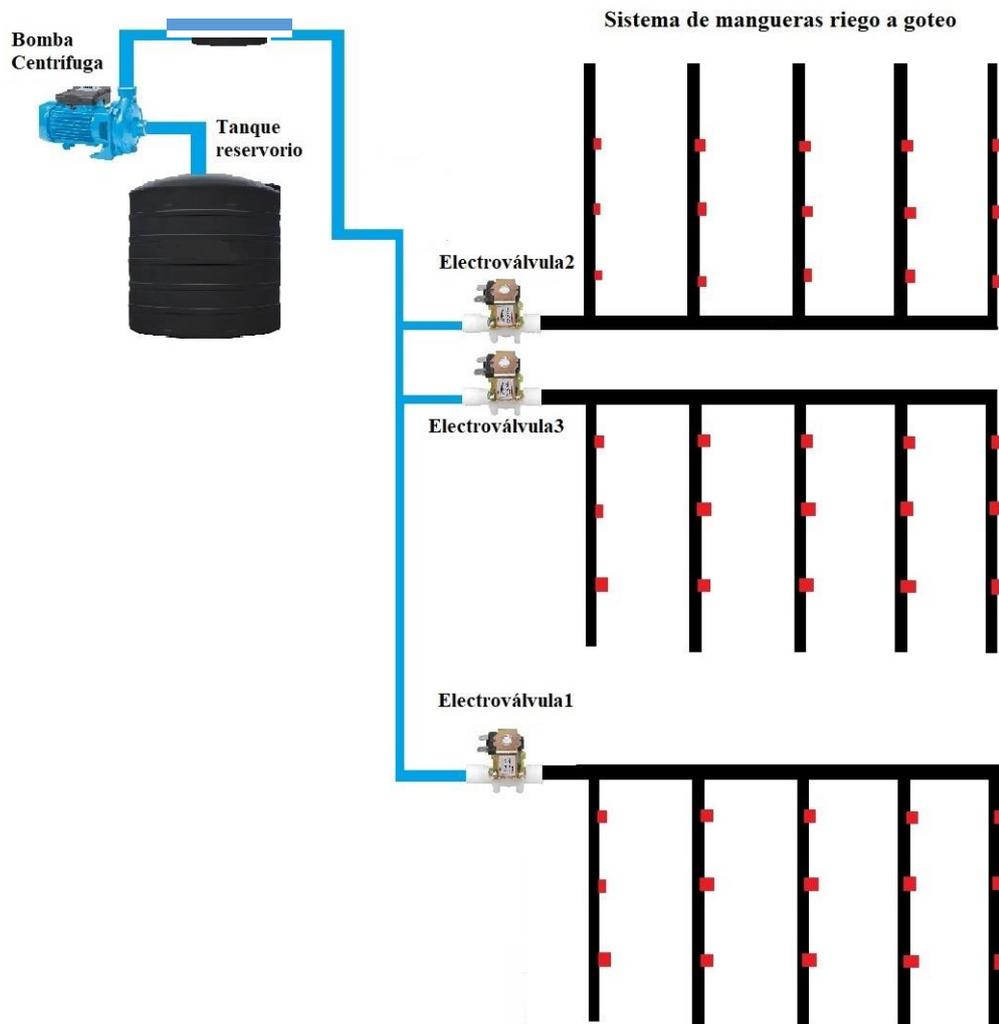


Fig. 17. Sistema de riego a goteo.

Elaborado por: El investigador

3.2.9.1 Cálculo de la frecuencia de riego

De acuerdo con el Anexo I y Anexo J los valores para la ETo son mensuales y de para el valor de Kc se toma el valor inicial de crecimiento de la planta de fruta. Se calculó en base a ello:

$$ET_c = ET_0 * k_c$$

$$ET_c = 82 * 0,30$$

$$ET_c = 24,6 \text{ mm/mes}$$

Cálculo de la humedad aprovechable (Ha):

$$Ha = \frac{CC\% - PMP\%}{100} * Prof * (1 - pred)$$

De acuerdo a la Tabla 8 se toma los valores de CC y PMP conforme a las condiciones del terreno. En donde la profundidad de mojamiento va a ser de 15 cm en un terreno que no es pedregoso.

$$Ha = \frac{22\% - 10\%}{100} * 15 \text{ cm} * (1 - 0)$$

$$Ha = 1,8 \text{ cm}$$

De acuerdo con la Tabla 9 se toma el valor de Ur para el cálculo de la humedad de déficit, el sistema de riego a goteo tiene un porcentaje del 20%.

$$Hd = Ha * UR$$

$$Hd = 1,8 \text{ cm} * \left(\frac{20}{100}\right)$$

$$Hd = 0,36 \text{ cm}$$

$$Hd = 3,6 \text{ mm}$$

Para determinar la frecuencia de riego necesitamos el valor previamente calculado de ETc que para el tema de investigación tenemos un valor de 61,5 mm/mes.

$$FR = \frac{ET_c}{Hd}$$

$$FR = \frac{24,6 \text{ mm/mes}}{3,6 \text{ mm}}$$

$$FR = 6,8333 \text{ mes}$$

$$FR = 1,70 \text{ semana}$$

Para determinar el tiempo de riego se necesitó saber cómo se distribuye los goteros en el terreno y calculamos la densidad de emisores (Ne). Las plantas se encuentran plantadas 1,5 x 1m con emisores de 2 L/h ubicados a 0,5 m entre sí, en un área de 50m²

$$Ne = \frac{10000}{Ds * Dh}$$

$$Ne = \frac{50 \text{ m}^2}{1,5 * 0,5}$$

$$Ne = 66,6 \text{ goteros}$$

Es necesario calcular la precipitación del sistema:

$$pp = \frac{Ne * Qe}{50}$$

$$pp = \frac{66,6 \text{ goteros} * 2 \text{ L/h}}{50}$$

$$pp = 2,66 \text{ mm/h}$$

Para finalizar se calculó el tiempo de riego TR en donde la eficiencia del sistema de riego a goteo es del 90%.

$$TR = \frac{ETc}{pp * Ef}$$

$$TR = \frac{6,15 \text{ mm/semana}}{2,66 \text{ mm/h} * 0,9}$$

$$TR = 2,56 \text{ hrs/semana}$$

En base a la frecuencia de riego cuyo resultado es de 2 veces por semana podemos ubicar en cada riego un total de 77 minutos para humedecer al suelo y que la planta cumpla con su ciclo. En la Figura 17 se observa la matriz principal de la tubería saliente de la bomba de agua, que en este caso funciona de forma manual y por el sistema de telecontrol, en donde se controló el funcionamiento de cada actuador desde la interfaz creadas para dicho propósito.

3.2.10 Descripción del Software

3.2.10.1 Nodo Sensor

Para la adquisición de los datos se toma los sensores descritos en la selección del hardware, los cuales se encargan de tomar las variables físicas del suelo para ser procesadas por el microcontrolador, para ser enviada por transmisión inalámbrica LoRa. Como se muestra su esquema en la Figura 18.

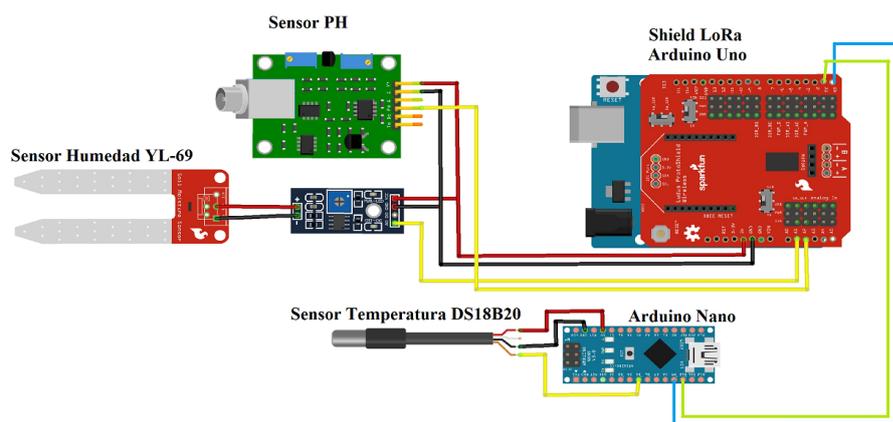


Fig. 18. Nodo sensor y componentes.

Elaborado por: El investigador

3.2.10.1.1 Descripción del código para adquisición de datos

Dispositivo sensor de humedad YL-69

Para la adquisición de datos se ocupó el sensor YL-69 en el que se realiza una lectura por el pin de datos analógico y al ser procesados por el ADC interno del microcontrolador se mapea conforme al intervalo de la resolución del microcontrolador que va de 0- 1023 para que nos convierta en porcentaje el valor de la humedad, siendo así el porcentaje de humedad que el suelo va a tener al momento

de ser sensado, este dato se lo almacenó en la variable hum1, se puede ver su código en la Figura 19 y en el Anexo D.

```
void humedad () {  
  Serial.println("Sending packet: ");  
  Serial.println("Humedad %");  
  hum = analogRead(humpin);  
  hum1 = map(hum, 0, 1023, 100, 0); // convertir a porcentaje  
  Serial.print("/Humedad: ");  
  Serial.print(hum1);  
  Serial.print(",");  
}
```

Fig. 19. Código sensor de humedad YL-69.

Elaborado por: El investigador

Dispositivo sensor de temperatura DS18B20

Para la configuración de este sensor se ocupó las librerías propias del dispositivo para tomar los datos del sensor en la que se ocupa el protocolo OneWire las cuales se muestran en la Figura 20, éstos permiten enviar la información de más de un sensor por un mismo canal de comunicación que en el caso del proyecto se ocupa un sensor de temperatura.

```
#include <OneWire.h>  
#include <DallasTemperature.h>  
#include <SoftwareSerial.h>
```

Fig. 20. Librerías sensor DS18B20.

Elaborado por: El investigador

Por medio de una petición request hace un llamado al bus de datos para verificar si existe información que se pueda extraer y en caso de existir se hace la utilización del método get que para Arduino el código completo se lo hace con el comando *getTempCByIndex*, para ser luego almacenado en una variable para su procesamiento interno. Cabe detallar que la librería para el protocolo de comunicación posee interferencias con la comunicación inalámbrica por lo que se optó por utilizar un dispositivo adicional para la adquisición de dicho dato. Su código para adquisición de datos se lo muestra en la Figura 21.

```

void temperaturaDS18B20 () {
  sensorDS18B20.requestTemperatures ();
  // Leemos y mostramos el dato del sensor DS18B20
  sensorDS18B20.getTempCByIndex (0);
  Temperatura = sensorDS18B20.getTempCByIndex (0);
  imprimir.print ("T ");
  imprimir.println (Temperatura);
  Serial.println (Temperatura);
  delay (10);
}

```

Fig. 21. Adquisición del dato de temperatura.

Elaborado por: El investigador

Dispositivo sensor de pH

El dato proporcionado desde la tarjeta acondicionadora del sensor de pH nos envía un dato analógico el cual mostrado en la Figura 22 es tomado por el ADC del Arduino y lo convertimos en una resolución de 10 bits que nos da valores enteros entre 0 – 1023 que permite mapear haciendo una linealización para el rango requerido que es de 0 a 14, lo cual es la medida mínima y máxima del pH. El dato linealizado es almacenado en una variable para su correspondiente procesamiento y envío. Como se muestra en el Anexo D.

```

void PH () {
  measure = analogRead (ph_pin);
  Serial.print ("Measure: ");
  Serial.print (measure);
  voltaje = 5 / 1024.0 * measure;
  //Serial.print ("/tvoltaje; ");
  //Serial.print (voltaje, 3);
  float Po = 7 + ((2.5 - voltaje) / 0.18);
  Serial.print ("/PH: ");
  Serial.print (Po, 3);
}

```

Fig. 22. Adquisición del dato de pH.

Elaborado por: El investigador

Transmisión inalámbrica

Al tener los datos de los sensores se procedió a la configuración de las librerías necesarias para realizar la transmisión efectivamente. La comunicación con la shield LoRa se lo realizó por medio del protocolo SPI con la tarjeta Arduino Uno, en el que se encuentra en la shield LoRa el chip de SemtechSX 1276/ SX1278. Para realizar la comunicación entre las dos placas se toma desde las librerías de Arduino IDE como se muestra en la Figura 23 el proceso para la selección de las mismas.

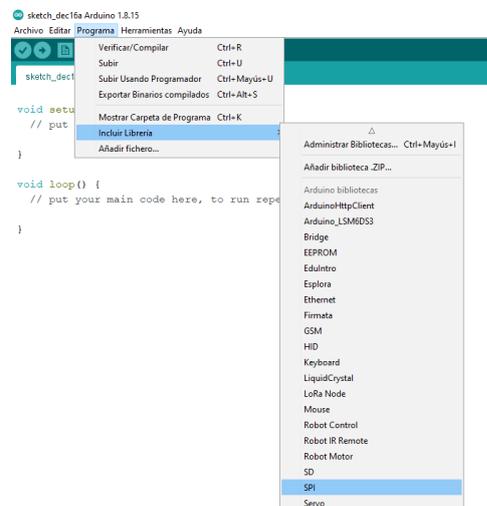


Fig. 23. Selección de librería SPI.

Elaborado por: El investigador

Para la configuración de la frecuencia en que se transmite los datos se descargó dos librerías, Arduino LMIC la cual sirve para que un nodo final sea configurado y pueda conectarse al Gateway, y, LoRa raw la cual nos permite transmitir y recibir datos por medio de la comunicación inalámbrica LoRa. En la Figura 24 se muestra la dirección en la que se debe almacenar las carpetas descargadas con las librerías.

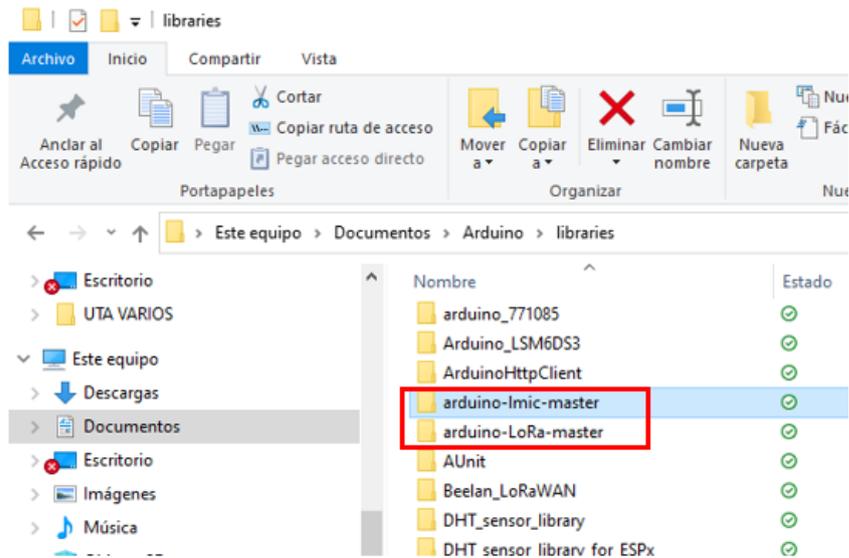


Fig. 24. Librerías LoRa.

Elaborado por: El investigador

Una vez descargado las carpetas contenedoras con las librerías necesarias para la comunicación LoRA procedió la copia de los archivos a la ruta de librerías de Arduino e ingresamos en la carpeta *arduino lmic master*, una vez allí ingresamos en la siguiente ruta: *arduino-lmic/src/lmic/lorabase.h* y en el archivo editable *lorabase.h* cambiamos el plan de frecuencias por la que se muestra en la Figura 25:

```

C: \lorabase.h
C: > Users > Angel > OneDrive > Angel > Documents > Arduino > libraries > arduino-lmic-master
67 // Default frequency plan for EU 863MHz ISM band
68 // Bands:
69 // g1 : 1% 14dBm
70 // g2 : 0.1% 14dBm
71 // g3 : 10% 27dBm
72 //
73 //          freq          band    datarates
74 enum { EU915_F1 = 915000000, // g1    SF7-12
75        EU915_F2 = 915000000, // g1    SF7-12 FSK SF7/250
76        EU915_F3 = 915000000, // g1    SF7-12
77        EU915_F4 = 915000000, // g2    SF7-12
78        EU915_F5 = 915000000, // g2    SF7-12
79        EU915_F6 = 915000000, // g3    SF7-12
80        EU915_J4 = 864100000, // g2    SF7-12 used during join
81        EU915_J5 = 864300000, // g2    SF7-12 ditto
82        EU915_J6 = 864500000, // g2    SF7-12 ditto
83 };
84 enum { EU915_FREQ_MIN = 915000000,
85        EU915_FREQ_MAX = 928000000 };

```

Fig. 25. Cambio de plan de frecuencias.

Elaborado por: El investigador

Al realizar la configuración del plan de frecuencias en el programa principal se inicializa la comunicación LoRa. Una vez inicializado la comunicación LoRa y teniendo los datos de los sensores estables y listos se inicializa el empaquetado para la transmisión como se muestra en la Figura 26 con el comando *LoRa.beginPacket()*; seguido del conjunto de datos de los sensores, cabe resaltar que para el envío se debe mandar con un separador que en este caso se ocupó la coma (","). Para finalizar el envío se debe colocar el comando *LoRa.endPacket()*; como se puede evidenciar en el Anexo D. El diagrama de flujo del nodo sensor se muestra en la Figura 27.

```
LoRa.beginPacket();
LoRa.print("S ");
LoRa.print(", ");
LoRa.print(hum1);
LoRa.print(", ");
LoRa.print(temperatural);
LoRa.print(", ");
LoRa.print(Pol);
//    LoRa.print(pot1);
LoRa.endPacket();
delay(100);
```

Fig. 26. Empaquetado y envío de datos.

Elaborado por: El investigador

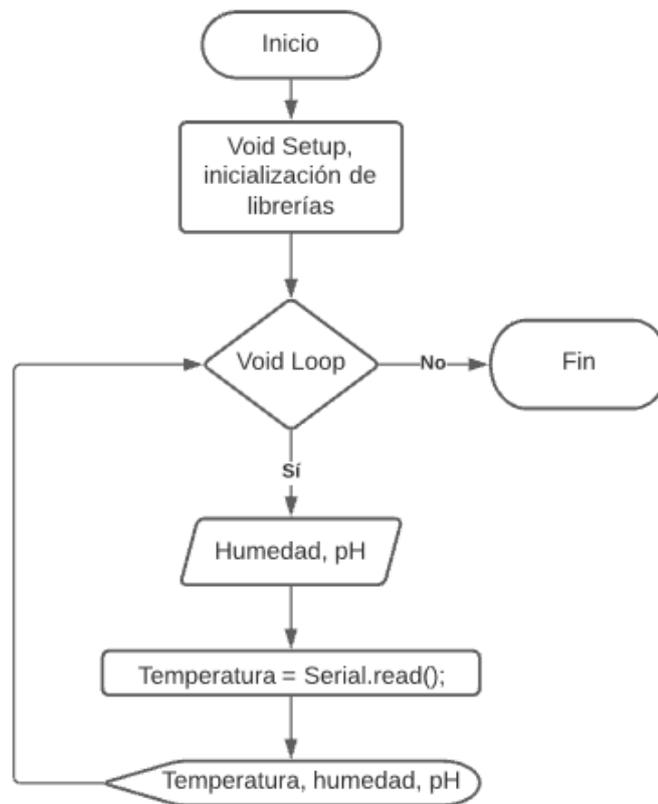


Fig. 27. Diagrama de flujo programa nodo sensor.
Elaborado por: El investigador

3.2.10.2 Nodo Gateway

El nodo consta de una placa Shield LoRa la cual recibe los datos desde el nodo sensor, para luego enviar por transmisión serial a la nodeMCU8266, como se puede observar en la Figura 28. Al tener ya las librerías configuradas se establece ya el código. Se dispone de dos etapas las cuales son:

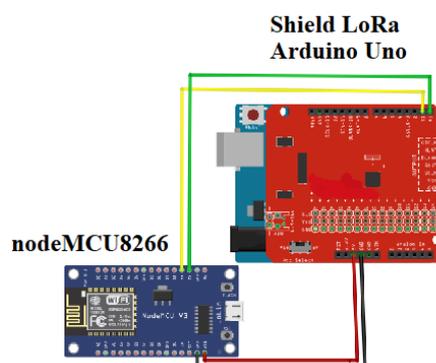


Fig. 28. Nodo Gateway LoRa
Elaborado por: El investigador

Recepción de los datos

Desde el nodo sensor y posterior envío de los mismos datos hacia la placa de programación NomdeMCU8266 para enviar los datos hacia el servidor. Su configuración viene dada en la Figura 29 en la que se configuró primero las librerías necesarias y para uso de un mejor funcionamiento se creó un puerto serial virtual para que así los datos puedan ser enviados por éste nuevo puerto serial, como se puede ver en el Anexo E:

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial nodemCU(3, 4); // RX, TX para la transmisión
```

Fig. 29. Librerías Gateway LoRa

Elaborado por: El investigador

Para lograr el envío correcto de los datos se desconcatenó la trama de recepción lo que viene siendo en el proceso es separar los datos que llegan para ser enviados de forma serial, estos datos son almacenados en un array.

Configuración nodeMCU8266

Este dispositivo es el encargado de tomar la trama de información desde el Gateway LoRa y enviarlos hacia el servidor para ser publicado en la base de datos. Para lo cual se comienza con la declaración de las librerías necesarias para comunicar por WiFi con el servidor.

Para mantener una comunicación con el servidor por medio de WiFi se proporcionó un usuario y contraseña de la red doméstica en la que se encuentra el dispositivo, además de la dirección IP que proporciona el servidor y que se encuentra alojada la información.

Una vez realizada la conexión el dispositivo desconcatena la trama de llegada en valores separados, pertenecientes a la temperatura, humedad y pH, respectivamente, éstos datos son publicados en la base de datos MySQL, si la conexión WiFi se realizó exitosamente, los datos enviados desde el nodo sensor son colocados en la tabla de la base de datos, este proceso se lo realizo con la ayuda de un archivo con extensión .php el cual contiene sentencias sql que toma dichas variables del nodo y

las publica en la tabla. El archivo contiene el nombre de la base de datos y el usuario y contraseña de la misma, ya que por medio del método POST se ingresa los valores a cada columna de la base de datos. (Ver Anexo B)

Para la recepción de los datos en el dispositivo nodeMCU8266 desde la base de datos se lo realiza por medio de un archivo .php en cual se encuentra configurado por sentencias sql para el extraer los datos por medio de su usuario y contraseña el cual nos permite realizar el control a distancia de los actuadores. Ver (Anexo C)

Al tener los datos de downlink en la nodeMCU8266 se procede al envío por conexión serial hacia el Gateway LoRa para ser enviado por transmisión inalámbrica LoRa hacia el nodo actuador el cual se encarga de la activación de los dispositivos finales (actuadores) del sistema de riego a goteo. Ver (Anexo E), código nodeMCU 8266. En la Figura 30 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al nodo Gateway.

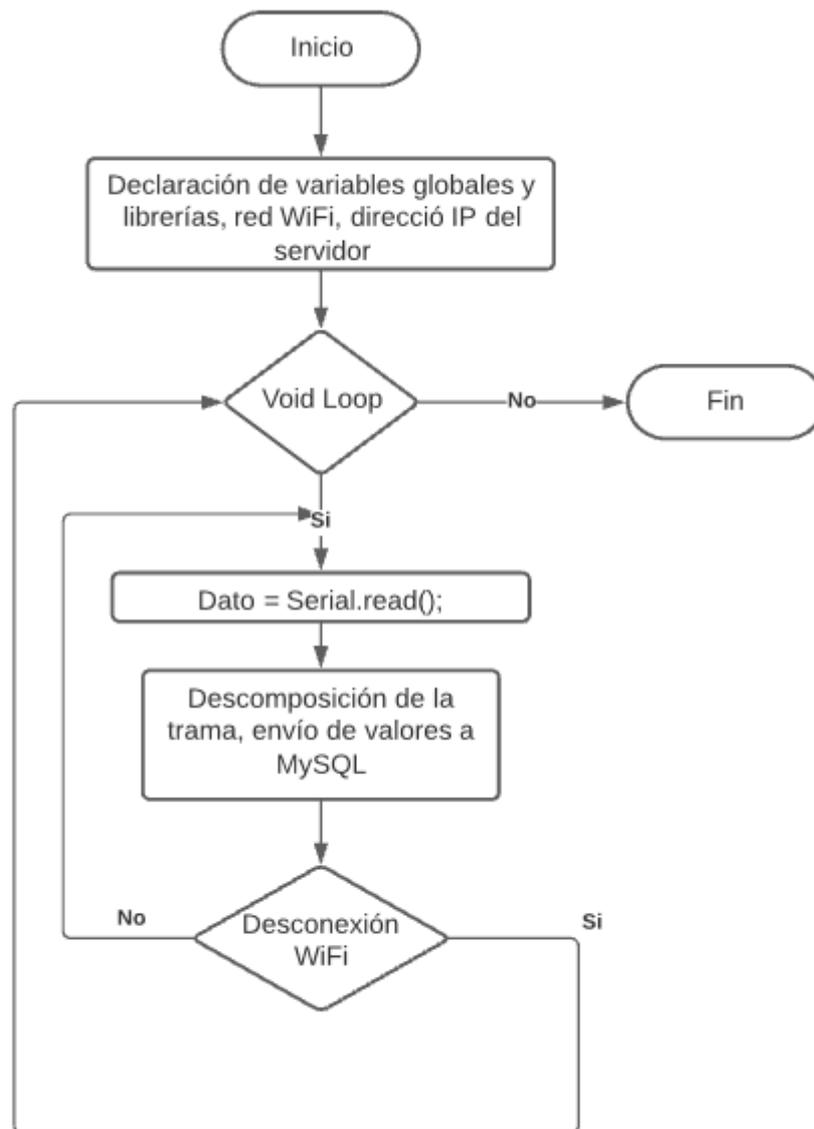


Fig. 30. Diagrama de flujo programa Gateway.

Elaborado por: El investigador

3.2.10.3 Nodo Servidor

Es en el cual se encuentra alojada la información enviada desde el nodo sensor por medio del nodo Gateway. El servidor seleccionado es una instancia o máquina virtual en Amazon Web Service, en el servidor se encuentra instalado un servidor LAMP para el uso de la base de datos MySQL en la cual se guarda la información receptada, luego se utilizó un motor de flujo enfocado a IoT mismo que es Node Red el cual recepta la información y así como también envía datos de downlink.

La instancia para el servidor trabaja bajo el sistema operativo Ubuntu Server 18-04 el cual es idóneo para el proceso del desarrollo del proyecto. El sistema operativo se lo instaló siguiendo los pasos de acuerdo a los requerimientos por parte de Amazon, por lo cual se rigió al documento de Amazon el cual se encuentra en la siguiente página web:

“https://docs.aws.amazon.com/es_es/AmazonRDS/latest/UserGuide/CHAP_Tutorials.WebServerDB.CreateWebServer.html”



Fig. 31. Instancias EC2 de Amazon Web Service.

Luego de culminar el proceso de instalación nos dirigimos a la descarga de las llaves correspondiente para el ingreso por medio del puerto para la conexión SSH, la misma que a la par para su ingreso se ocupó el software PuTTY, el mismo que se necesitó la dirección IP del servidor y la llave descargada desde AWS que se la debe generar ingresando en la pestaña Red y seguridad, elegir el tipo de clave y la extensión que para propósito del proyecto se seleccionó la extensión .ppk para usarlo con PuTTY.

3.2.10.3.1 Instalación Servidor LAMP

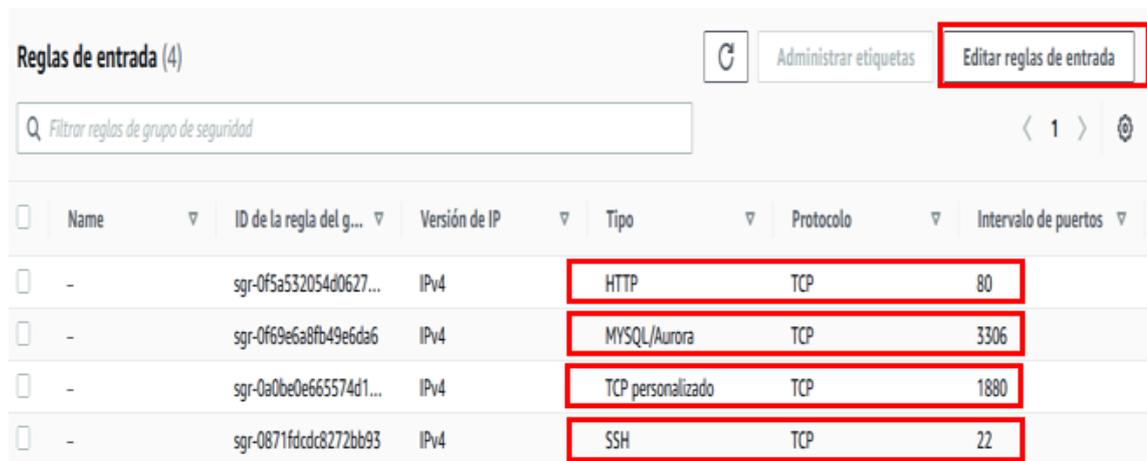
Un servidor LAMP es una plataforma que utiliza como sistema operativo a la distribución de Linux, dicho servidor es de código abierto. Se instaló el conjunto de componentes Apache, PHP, MySQL: como gestor de base de datos.

Instalación de Apache. – se requirió de la siguiente línea de código:

```
sudo apt install apache2
```

Una vez instalado correctamente se ingresó desde el navegador a la dirección IP de nuestro servidor <http://54.149.71.10>, en la que no se observó nada por lo que se procedió a la apertura del puerto por el cual Apache escucha que es el puerto 80. Nos dirigimos al panel y seleccionamos red y seguridad y luego grupos de seguridad, allí se eligió la opción de editar reglas de entrada en la que una vez establecido lo que se

va a ocupar se abrió los puertos necesarios para el desarrollo del proyecto como se muestra en la Figura 32:



<input type="checkbox"/>	Name	ID de la regla del g...	Versión de IP	Tipo	Protocolo	Intervalo de puertos
<input type="checkbox"/>	-	sgr-0f5a532054d0627...	IPv4	HTTP	TCP	80
<input type="checkbox"/>	-	sgr-0f69e6a8fb49e6da6	IPv4	MYSQL/Aurora	TCP	3306
<input type="checkbox"/>	-	sgr-0a0be0e665574d1...	IPv4	TCP personalizado	TCP	1880
<input type="checkbox"/>	-	sgr-0871fdcdc8272bb93	IPv4	SSH	TCP	22

Fig. 32. Configuración de reglas de entrada AWS.

Elaborado por: El investigador

Para tener una visualización de los datos se requiere que se encuentren almacenados, por lo que se instaló un gestor de base de datos, el seleccionado fue MySQL y se lo hizo por medio del siguiente comando:

```
sudo apt-get install mysql-server
```

posterior a la instalación para que se inicie el servicio cada vez se encienda el sistema se ejecutó el comando *systemctl enable mysql*.

Instalación de PHP, por medio de la siguiente línea se instaló php y las librerías necesarias para el trabajo con MySQL:

```
sudo apt-get install php libapache2-mod-php php-mysql php-curl php-gd php-json  
php-zip php-mbstring
```

Así terminado de instalar el servicio se creó un archivo con el nombre y extensión info.php en la dirección del directorio /var/www/html, luego de ello se procedió a verificar su correcto funcionamiento con la dirección ingresada en uno de los navegadores de nuestra preferencia <http://54.149.71.10/info.php>.

3.2.10.3.2 Instalación de phpMyAdmin

Se abrió la terminal ssh para instalar PHPMYAdmin en el servidor web ubuntu amazon ec2 por medio del siguiente comando:

sudo apt install phpmyadmin

Phpmyadmin sirve para el manejo visual del gestor de base de datos de MySQL, el cual viene escrito en código PHP para crear base de datos, crear y eliminar tablas o base de datos en el servidor. Al culminar la instalación por defecto el usuario root se lo encuentra bloqueado por lo que fue necesario la creación de un nuevo usuario con todos los privilegios. En la Figura 33 se muestra la página principal de phpmyadmin:

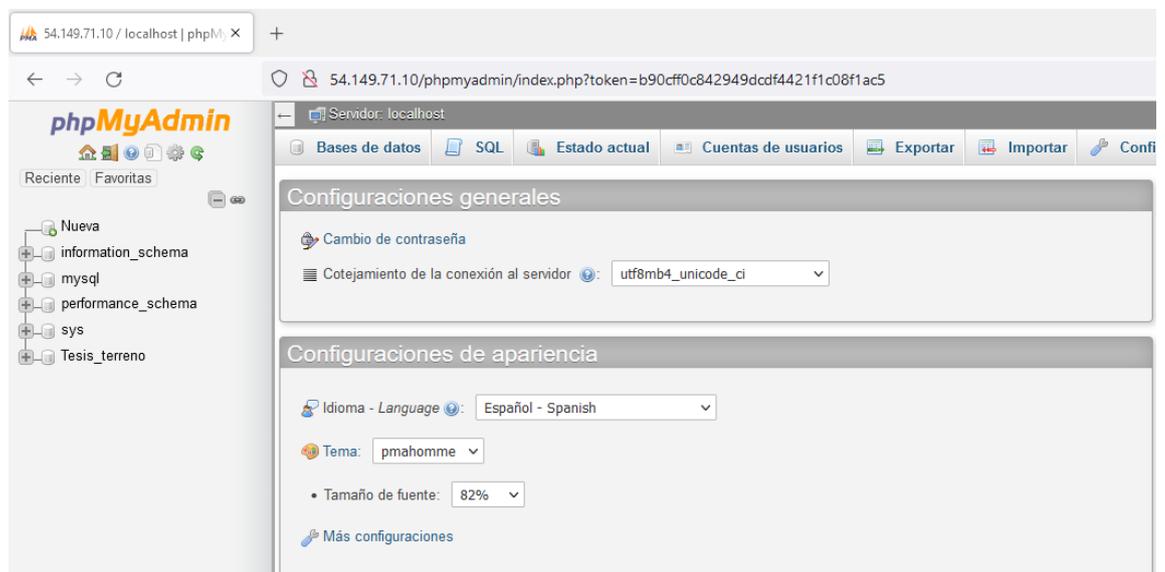


Fig. 33. Ingreso a phpmyadmin

Elaborado por: El investigador

3.2.10.3.3 Conexión con MySQL

Para almacenar la información enviada desde el nodo sensor se requiere de una base de datos, así se tiene un registro por fecha de los valores de los sensores. Previamente fue instalado en el servidor el gestor de base de datos MySQL con el administrador de bases de datos phpmyadmin. Lo primero que se realizó es crear una base de datos bajo el nombre de “Tesis_terreno” dentro de la cual se crea dos tablas con los nombres de “Sensorización” y “selección” como se puede ver en la Figura 34.

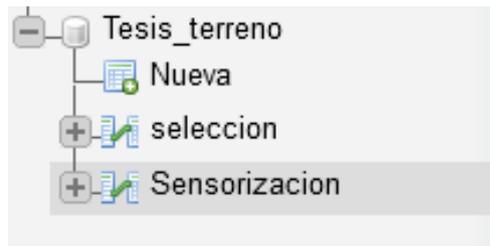


Fig. 34. Base de datos y tablas.

Elaborado por: El investigador

Posterior a la creación de las tablas en cada una se crearon los campos que fueron necesarios para ser almacenados desde el nodo sensor, en la primera tabla correspondiente “selección” nos sirve para almacenar el dato que viene desde la interfaz de control para realizar la activación de dispositivos en el nodo actuador.

En la segunda tabla correspondiente a “Sensorizacion” se crean los campos de localización en donde se encuentra el terreno, el valor uno correspondiente a la temperatura, valor2 correspondiente a la humedad, valor3 correspondiente al pH y fecha, se muestra en la Figura 35 los campos que se crearon para la tabla.

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento
<input type="checkbox"/> 1	id	int(10)	
<input type="checkbox"/> 2	sensor	varchar(30)	latin1_swedish_ci
<input type="checkbox"/> 3	locacion	varchar(30)	latin1_swedish_ci
<input type="checkbox"/> 4	valor1	varchar(10)	latin1_swedish_ci
<input type="checkbox"/> 5	valor2	varchar(10)	latin1_swedish_ci
<input type="checkbox"/> 6	valor3	varchar(10)	latin1_swedish_ci
<input type="checkbox"/> 7	tiempo_lectura	timestamp	

Fig. 35. Campos de la tabla de Sensorizacion.

Elaborado por: El investigador

3.2.10.3.4 Instalación de Node Red

Node Red al ser una interfaz orientada al IoT cuya visualización de la realiza por medio de su dashboard, una herramienta que se basa en node.js, para ello se instaló por medio del siguiente comando:

```
curl -o- https://raw.githubusercontent.com/nvm-sh/nvm/v0.34.0/install.sh | bash
```

que se descarga desde su repositorio alojado en hithub, y una vez terminado el proceso de instalación se ejecuta el comando *node-red-start* y para que se encienda cada vez que la instancia re inicio se reinicie, se ejecutó el siguiente comando:

```
systemctl enable nodered.service
```

Además, para que se pueda acceder al servicio se debe crear una regla de entrada para que la instancia pueda escuchar por el puerto 1880, como se puede ver en la Figura 36, una vez solventado esto ingresamos con la dirección IP a Node Red, <http://54.149.71.10:1880>.



Tipo	Protocolo	Intervalo de puertos
HTTP	TCP	80
MYSQL/Aurora	TCP	3306
TCP personalizado	TCP	1880

Fig. 36. Habilitación del puerto 1880, para Node-Red.

Elaborado por: El investigador.

3.2.10.3.5 Configuración del programa Node Red

Por su característica de programación visual y su software el cual es Open Source, trabaja en sistemas Windows, Linux o servidores en la nube, hace que sea interactivo su manejo. Su enfoque de diseño que fue hecha para comunicar hardware hace que se lo aplique a IoT, para tener una visualización y un control en tiempo real haciendo que su manejo sea más simplificado. Su plataforma se basa en JavaScript por lo que hace que se pueda manejar diversas aplicaciones y crear diferentes funciones, acorde a las necesidades del cliente. Se ingresa a la dirección ip del servidor seguido del puerto de escucha del servicio que viene dado por la dirección 54.149.71.10:1880.

Los valores mostrados están dados por los datos enviados desde el nodo sensor que son la temperatura, humedad y pH, estos valores son mostrados o en la interfaz web. Con ello el usuario sabe el comportamiento de las magnitudes físicas del suelo.

3.2.10.3.6 Conexión a la base de datos

La conexión con la base de datos se lo realizo por medio de un nodo fuction (Figura 37) en el cual se lo configuró con una sentencia sql, esta sentencia toma los valores desde la tabla de la base de datos, la misma que se llama Tesis_terreno.



Fig. 37. Nodo fuction.

Elaborado por: El investigador.

Sentencia sql necesaria para tomar los valores de la tabla de la base de datos: ``SELECT valor1, valor2, valor3 FROM Sensorizacion ORDER BY id DESC LIMIT 1``, posterior a ello se conectó un medidor (gauge) al nodo para poder visualizar los valores por separado. Se configuró cada gauge en específico para que reciba los valores correspondientes a su tópico.



Fig. 38. Conexión de la base de datos.

Elaborado por: El investigador.

En la Figura 38 se muestra la verificación (OK) de que se encuentra conectado con la base de datos Mysql y su conexión con cada nodo para la visualizar los valores del nodo sensor.

Para organizar las gráficas se crearon instancias contenedoras de acuerdo a cada magnitud física a representar, se muestra en la Figura 39, en donde se creó la tabla que contiene a cuatro grupos, tablero de control, temperatura, humedad y pH.



Fig. 39. Creación de tablas y grupos.

Elaborado por: El investigador

En la Figura 40 se muestra la configuración de uno de los medidores para la recepción del dato, ya que los valores desde la base de datos salen en formato array por lo que se separó del mensaje payload, se tomó el valor 1 correspondiente a la temperatura.



Fig. 40. Configuración del nodo de visualización.

Elaborado por: El investigador

Se configuró de la misma forma a los visualizadores ingresando a cada grupo perteneciente y al valor del formato que en este caso fue el valor2 correspondiente a la humedad y el valor3 correspondiente al pH.

El primer grupo “Tablero de control” es el que nos permitió realizar el telecontrol en base a las variables medidas. Se controla cómo funciona los actuadores en el caso de que la temperatura o la humedad se encuentre en valores bajos, entonces se accionaría la bomba con la electroválvula correspondiente para el cultivo.

Los tres grupos restantes pertenece a la visualización de los valores de los sensores que se encuentra en el estudio, y al ser implementado todos los nodos con sus

configuraciones necesarias se observa en la interfaz de la siguiente manera como se muestra en la Figura 41.

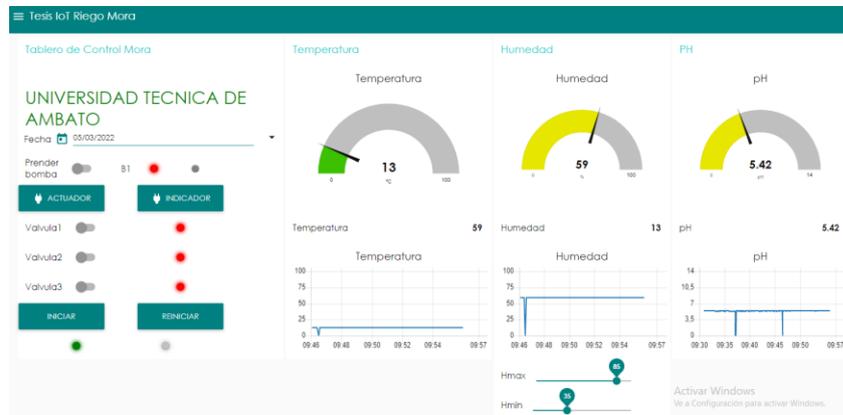


Fig. 41. Interfaz del dashboard sistema de riego.

Elaborado por: El investigador

La temperatura, la humedad y el pH se encuentran representados por un chart para mostrar cómo ha ido variando la gráfica en el tiempo durante el día, cada valor mostrado pertenece al dato sensado en tiempo real en el cultivo seleccionado. La Figura 42 muestra los valores de humedad que en el transcurso de una hora se han tomado.

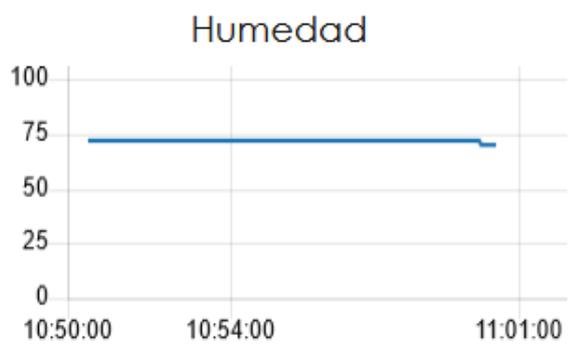


Fig. 42. Gráfica de humedad del suelo.

Elaborado por: El investigador

La temperatura está dada en el rango de 0 – 100 °C que se muestra en el gauge de la Figura 43, en la parte inferior se puede divisar el valor perteneciente a la medición del sensor con su correspondiente unidad.

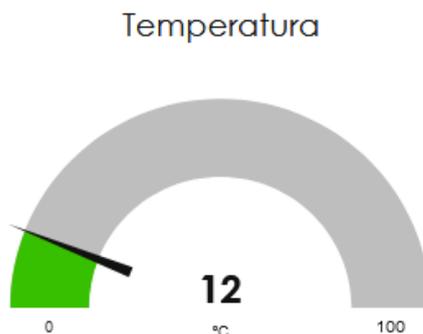


Fig. 43. Gráfica de la temperatura perteneciente al sistema de riego.

Elaborado por: El investigador

De la misma manera se encuentra representado los valores de la humedad y pH en los gauges correspondientes, el rango para la humedad se encuentra entre 0 – 100 con su unidad porcentual, el pH se encuentra en el rango de entre 0 – 14 correspondiente a la tabla de medición del valor.

3.2.10.3.7 Interfaz Web

Para el monitoreo de las variables medidas para el telecontrol del sistema de riego por goteo se utilizó una interfaz web que permite al usuario el ingreso por correo y contraseña para el acceso al dashboard generados en Node-Red, la página utiliza código HTML la cual cuenta con dos páginas la primera que es la portada para el ingreso del cliente, con el nombre del archivo indexprueba.html, y la segunda se muestra las gráficas del monitoreo en tiempo real del nodo sensor.

La interfaz web de la portada fue programada en código HTML, en el que se incrusta el dashboard con las gráficas pertenecientes a cada valor en cuestión del estudio, además de la funcionalidad de que en la interfaz se controla los dispositivos actuadores de forma remota. En la Figura 44 se muestra la portada de la interfaz del sitio web.



Fig. 44. Portada interfaz web.

Elaborado por: El Investigador

En la Figura 45 se muestra los valores del monitoreo en tiempo real con los datos tomados desde el nodo sensor almacenados en la tabla “Sensorizacion” de la base de datos “Tesis_terreno”, el nodo sensor se encuentra instalado en la parcela seleccionada para pruebas del dispositivo.

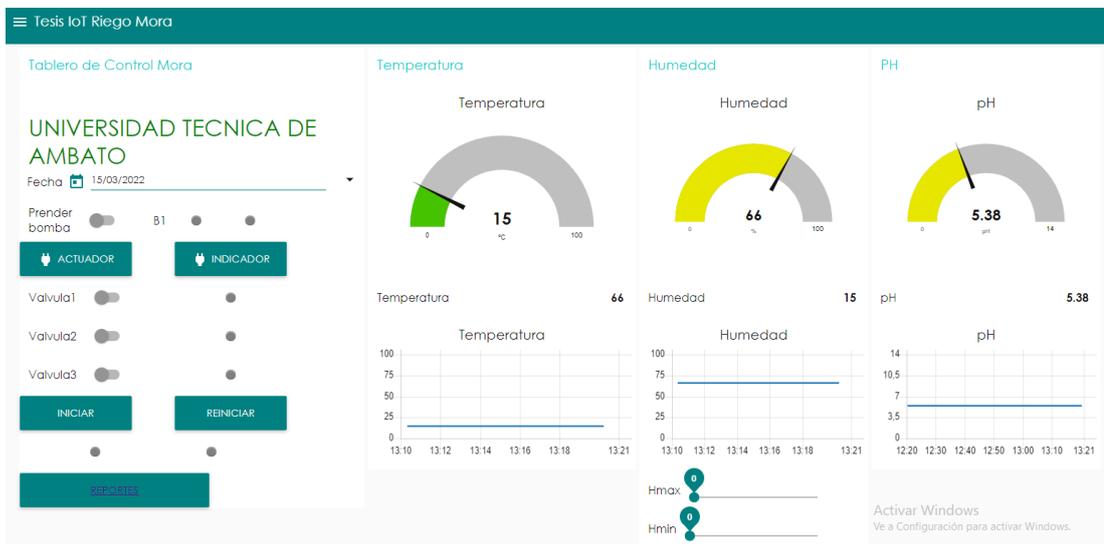


Fig. 45. Visualización de los valores en la interfaz web.

Elaborado por: El Investigador

Se muestra un menú en el cual se pueda seleccionar el cultivo, que en este caso se tiene mora, fresa y maíz. En la Figura 46 se muestra el despliegue del menú. En cada

uno de ellos se tiene los niveles de temperatura, humedad y pH con la opción de elegir los niveles de humedad necesarios de acuerdo a los requerimientos de la planta, se lo realizó por la necesidad de los agricultores al no tener un solo cultivo en sus terrenos, con esto se busca diversificar las aplicaciones del dispositivo, pudiendo tener el control de cada parte de los cultivos.



Fig. 46. Menú de cultivos.

Elaborado por: El investigador

Además del desarrollo de la opción para sacar reportes del cultivo el cual se lo realizó por medio de un archivo .php, el cual realiza la petición a la base de datos en donde se toma los valores almacenados y los muestra en la tabla. Para proceder luego a la descarga de los mismo por medio de un botón, el cual toma los datos y los exporta en un archivo de Excel, en el que se puede visualizar los datos solicitados. En la Figura 47 se muestra la interfaz para solicitud del reporte.



Fig. 47. Reportes de valores sensados.

Elaborado por: El investigador

Cuando el botón es oprimido para exportar el archivo con los valores de los datos sensados por el nodo se descarga un archivo con extensión xls. Para el análisis de los datos a posterior por parte del usuario se puede realizar tablas gráficas para visualizar la variación que exista en las mediciones de los sensores. En la Figura 48 se muestra el archivo de Excel con los datos de los sensores.

Formato-nombre de documento

ID	Tipo de sensor	Localización	Temperatura	Humedad	Ph	Fecha/th
24789	24812	Sensores de Suelo	Tisaleo	52	12 5.59	07/03/2022 14:05
24790	24813	Sensores de Suelo	Tisaleo	56	12 5.55	07/03/2022 14:07
24791	24814	Sensores de Suelo	Tisaleo	51	12 5.56	07/03/2022 14:07
24792	24815	Sensores de Suelo	Tisaleo	50	12 5.56	07/03/2022 14:07
24793	24816	Sensores de Suelo	Tisaleo	57	12 5.55	07/03/2022 14:07
24794	24817	Sensores de Suelo	Tisaleo	57	12 5.59	07/03/2022 14:07
24795	24818	Sensores de Suelo	Tisaleo	57	12 5.56	07/03/2022 14:07
24796	24819	Sensores de Suelo	Tisaleo	57	12 5.56	07/03/2022 14:07
24797	24820	Sensores de Suelo	Tisaleo	57	12 5.60	07/03/2022 14:07
24798	24821	Sensores de Suelo	Tisaleo	57	12 5.56	07/03/2022 14:07
24799	24822	Sensores de Suelo	Tisaleo	57	12 5.57	07/03/2022 14:07
24800	24823	Sensores de Suelo	Tisaleo	57	12 5.57	07/03/2022 14:07
24801	24824	Sensores de Suelo	Tisaleo	57	12 5.58	07/03/2022 14:07
24802	24825	Sensores de Suelo	Tisaleo	57	12 5.53	07/03/2022 14:07
24803	24826	Sensores de Suelo	Tisaleo	57	12 5.61	07/03/2022 14:07

Nombre de las columnas de la base de datos

Valores sensados

Fig. 48. Archivo Excel exportado.
Elaborado por: El investigador

3.2.10.3.8 Envío de notificaciones

Por medio de la aplicación Telegram, la cual permite crear bots que son cuentas para el uso de diferentes aplicaciones como puede ser el IoT y la IA (inteligencia artificial), se creó una cuenta bot con la ayuda de una característica propia de la aplicación llamado Botather. Se comenzó enviando un comando `/start` a la cuenta del bot.

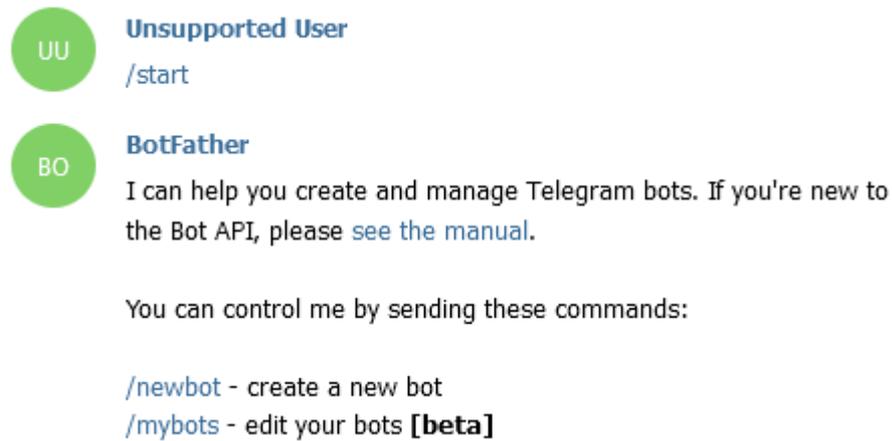


Fig. 49. Inicio de la conversación con BotFather

Elaborado por: El investigador

Posterior se procedió a crear un nuevo bot con el comando `/newbot` en el que pidió un nombre en este caso se otorgó el nombre de “Tesis-Riego-IoT” como se muestra en la Figura 50.

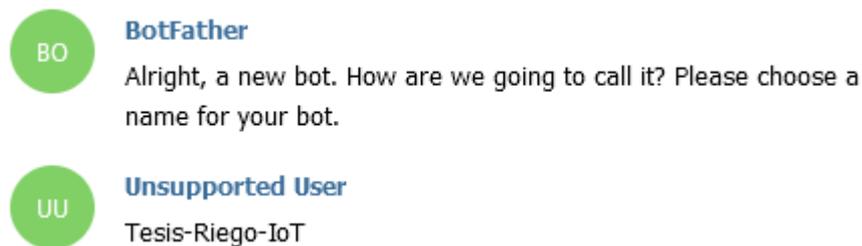


Fig. 50. Asignación de nombre al bot.

Elaborado por: El investigador

Una vez creado el bot, Botfather pidió elegir un nombre de usuario que al final del nombre se le añade `_bot`, luego se devuelve un mensaje que contiene un código token, ver Figura 51, éste código sirvió en la integración del bot creado con Node-Red.

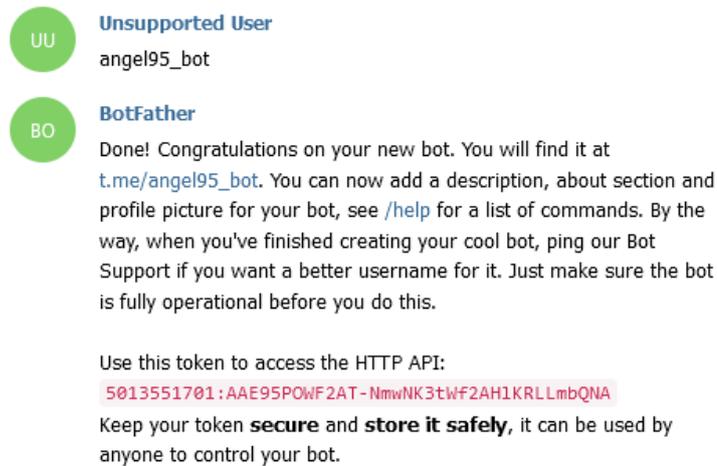


Fig. 51. Nombre del bot y token para integración con Node-Red
Elaborado por: el investigador

En el presente proyecto se integró Telegram con Node-Red, porque posee módulos que permiten el uso para enviar y recibir chats, identificar comandos. Para el envío de mensajes desde Node-Red al chat-bot creado en Telegram se necesitó del token proporcionado por Botfather.

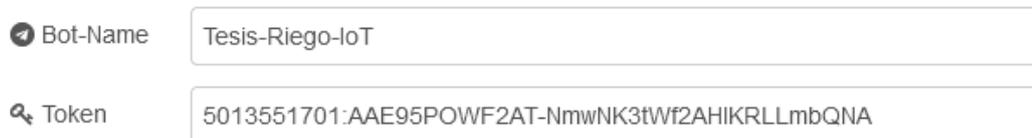


Fig. 52. Nodo Telegram Sender-nodered
Elaborado por: El investigador

Se extrae la variable que va a condicionar el envío del mensaje por medio de la base de datos, en ella se va utilizar un nodo fuction que permite por medio de código SQL dar la orden al nodo mysql para extraer el valor desde la tabla de la base de datos. Se muestra en la Figura 53.

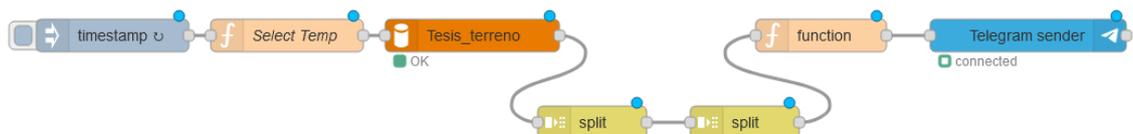


Fig. 53. Bloque para envío de alertas.
Elaborado por: El investigador

Para el envío de una alerta se necesitó del nodo fuction en el que se programó una condición de que si el valor de la humedad descendía por debajo del 35% se envía un mensaje por medio del bot, este valor fue almacenado en una variable *hum*, dentro del condicional if si se cumple se envía el *msg.payload* el cual contiene el identificador que es propio de cada chat de telegram y finalmente el mensaje que será enviado. Adicionalmente se tomó de acuerdo a la humedad necesaria de la planta de mora que va entre 80% - 90%, se tomó un valor intermedio quedando en 85% de la humedad máxima requerida para la planta. La configuración se muestra en la Figura 54.

```
var hum = msg.payload;
if (hum > 85){
  msg.payload = {chatId : -513437856 , type : "message" , content : "Las condiciones de humedad son óptimas APAGAR SISTEMA DE RIEGO"};
}
return msg;
```

```
1 var hum = msg.payload;
2 if (hum < 35){
3   msg.payload = {chatId : -501233326 , type : "message" , content : "El terreno necesita riego"};
4 }
5 return msg;
```

Fig. 54. Configuración nodo fuction para envío del mensaje
Elaborado por: El investigador

Al momento en que se realizó las pruebas y al tener las condiciones climáticas con excesivo calor por la temporada, se evidenció el funcionamiento de la alerta con el mensaje de que el terreno necesita ser regado. En donde la frecuencia en la que se envían las alertas se la especificó en 30 minutos, ya que para el usuario el envío constante de notificaciones puede causarle una molestia, además de que no es un proceso en el que se requiera el envío instantáneo de la información.



Fig. 55. Notificación de la necesidad de riego del terreno
Elaborado por: El investigador

3.2.10.4 Nodo Actuador

En esta etapa va estar dado por dos partes que son: el dispositivo de recepción inalámbrico de los datos conformado por la Shield LoRa y el Arduino Uno y la etapa de potencia, misma que va a estar conformado por la bomba monofásica y las electroválvulas.

Etapa de recepción inalámbrica. -Se lo realiza por comunicación LoRa, la misma que toma los datos desde el Gateway para ser procesados en el microcontrolador, estos datos son los que dan la orden para activar los actuadores como se puede observar en la Figura 54. En la Figura 53 se muestra el diagrama de flujo para encender o apagar los actuadores, en caso de que requiera el apagado de todo el sistema se envía la orden y el microcontrolador lo procesa y da la orden de apagar todo, esto se lo hace con el condicional si recibe un dato igual 9, apaga todos los actuadores.

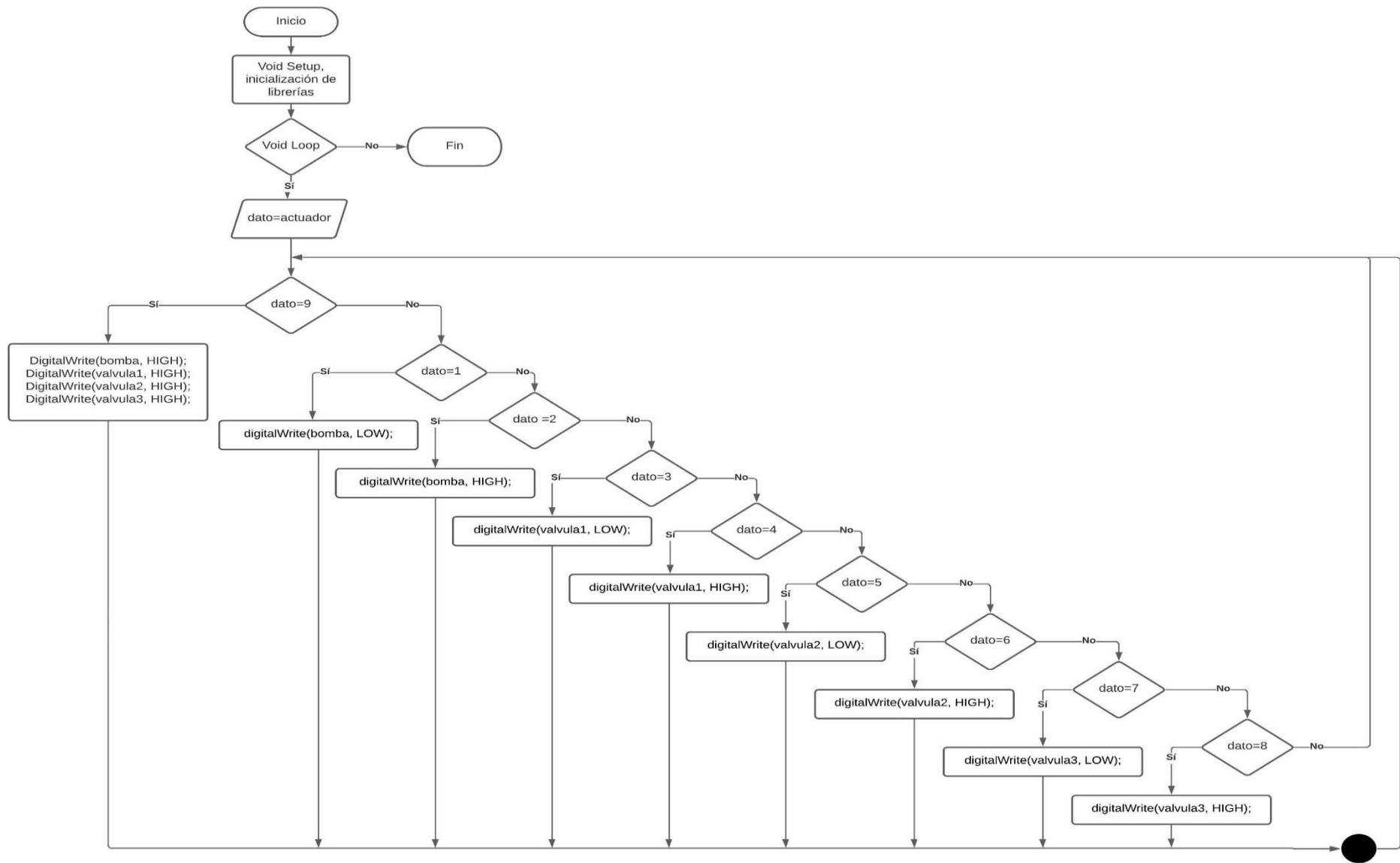


Fig. 56. Diagrama de flujo del nodo actuador
 Elaborado por: El investigador

Etapa de potencia. - en esta parte viene dado por los elementos que conforman la parte física del riego por goteo, los mismos que son en primera instancia la bomba monofásica la cual da paso del agua hacia las electroválvulas que van a estar conectadas a las mangueras de distribución hacia el cultivo.

Bomba monofásica. - Es aquella máquina que transforma la energía para trasladar líquidos de un punto a otro, la cual cuentan con dos agujeros de diferentes medidas de acuerdo a la capacidad del caudal que se requiera, uno sirve para la succión o entrada y otro para la impulsión o la salida del líquido. La bomba seleccionada para el desarrollo del prototipo es una bomba monofásica del 1 HP la cual nos brindó la capacidad de succionar el agua desde el tanque hacia las electroválvulas correspondientes a cada sector.

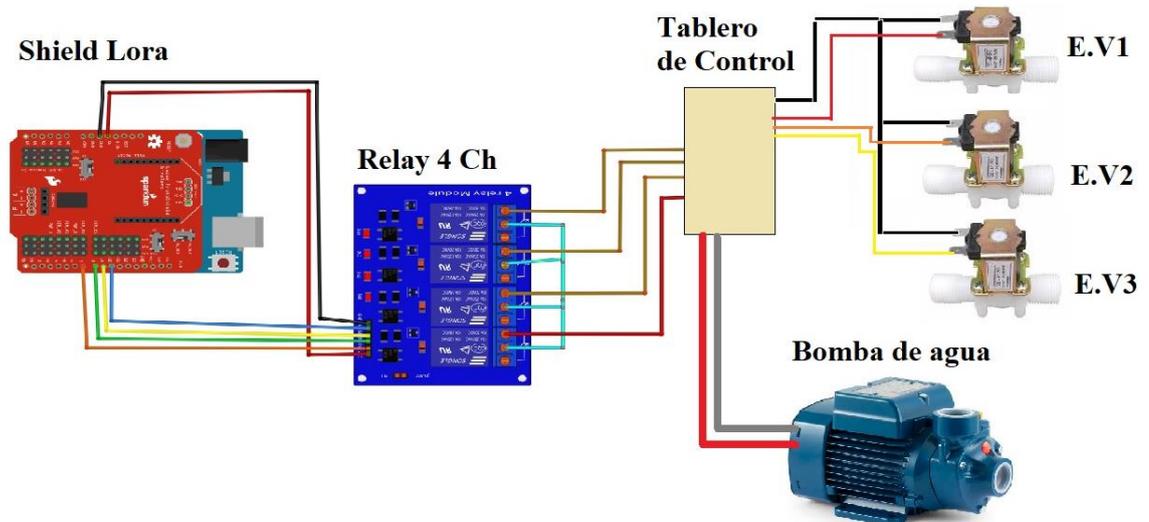


Fig. 57. Esquema para el control de actuadores

Elaborado por: El investigador

3.2.11 Implementación del sistema de telecontrol

3.2.11.1 Nodo sensor

Los dispositivos que conforman el nodo sensor se encuentran en una caja con protección para el polvo, cuyas medidas son las necesarias para colocar los módulos

correspondientes a cada sensor y equipo de transmisión. En la figura 58 se muestra la distribución de los elementos dentro de la caja.

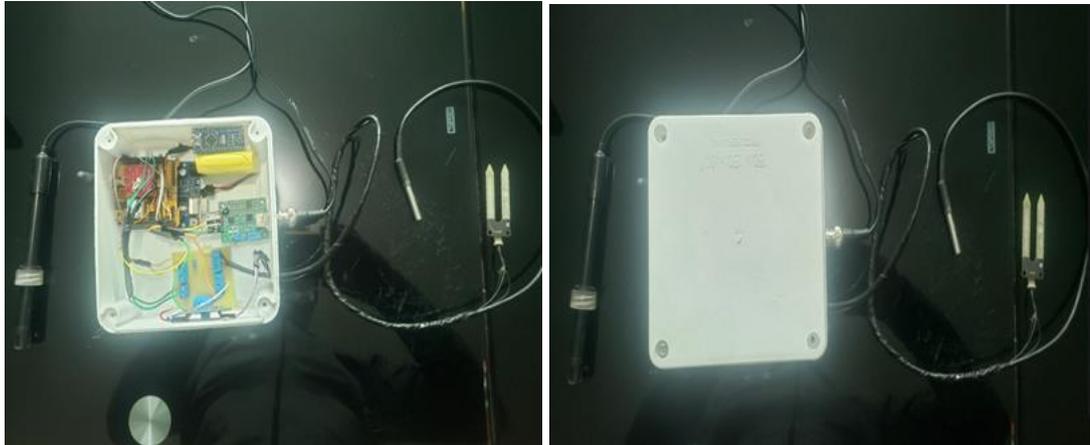


Fig. 58. Prototipo nodo sensor.

Elaborado por: El investigador

Colocación de los sensores. – El sensor de temperatura se lo colocó a una profundidad de entre 4 y 5 cm bajo el suelo, cabe resaltar que en el cultivo aporta en el crecimiento de la planta, pero no tiene relevancia en la fertilización del suelo. Al ser un sensor tipo industrial no hubo problemas al momento de la toma de datos en campo.

El sensor de humedad se lo colocó de acuerdo a las dimensiones del dispositivo, fue enterrado 4 cm en el suelo, y debido a las condiciones del terreno, y para tomar los datos censados se colocó de forma vertical, al tener lecturas estables del sensor.

EL sensor de pH de igual manera que los demás sensores no se tuvo dificultad al momento de colocarlo, se lo puso de forma vertical a una distancia de aproximadamente 3 a 4 cm de profundidad. Por medio del pH se puede saber si un terreno se encuentra en óptimas condiciones para el cultivo o se debe ayudar con fertilizantes para mejorar las condiciones de cultivo.

3.2.11.2 Nodo Gateway

Los valores obtenidos por medio de los sensores son enviados por transmisión LoRa hacia el Gateway encargado de la recolección de datos desde los sensores y envío de datos proporcionados por la interfaz de telecontrol hacia el nodo actuador. En la

Figura 59 se verifica que los valores enviados desde el nodo sensor correspondientes al pH, humedad y temperatura en ese orden son receptados por el Gateway y enviados hacia la nodeMCU8266 para subir a la base de datos. Los valores del serial COM12 corresponde a la Shield LoRa del nodo sensor y los valores mostrados en el COM6 corresponden a la placa nodeMCU8266.

COM12	COM6
pH:5.88/Humedad: 57,31.37	48,31,5.88
pH:5.88/Humedad: 60,31.50	44,31,5.88
pH:5.88/Humedad: 63,31.56	44,31,5.88
pH:5.88/Humedad: 60,31.44	61,31,5.88
pH:5.88/Humedad: 59,31.37	61,31,5.88
pH:5.88/Humedad: 58,31.50	51,31,5.88
pH:5.88/Humedad: 59,31.44	51,31,5.88
pH:5.88/Humedad: 59,31.37	51,31,5.88
pH:5.88/Humedad: 60,31.50	51,31,5.88
pH:5.88/Humedad: 60,31.56	58,31,5.88
pH:5.88/Humedad: 60,31.50	58,31,5.88
pH:5.88/Humedad: 59,31.50	60,31,5.88

Fig. 59. Verificación de datos Nodo sensor y datos a subir al servidor

Elaborado por: El investigador

El nodo Gateway está conformado por la Shield Lora la cual recibió los datos por medio de la comunicación inalámbrica LoRa desde el nodo sensor y dichos datos se transmitieron por comunicación serial a la placa nodeMCU ESP8266, así la trama de datos de los sensores se colocó en la tabla de la base de datos MySQL por medio de un archivo php, Ver (Anexo B). En la Figura 60 se muestra el dispositivo con sus partes.

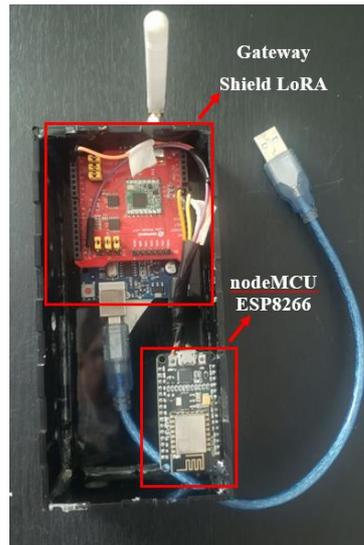


Fig. 60. Nodo Gateway LoRa

Elaborado por: El investigador

Luego de tener los valores almacenados en la base de datos se programó la placa nodeMCU para así tomar el dato de downlink, mismo que se lo realiza por medio de un archivo .php, su código se especifica en el (Anexo C), este archivo se lo encuentra guardado en el servidor para acceso a la base de datos MySQL y por medio del código especificado en el (Anexo E) extrae el dato y los almacena en una variable para ser enviado posteriormente por comunicación serial al Gateway LoRa, que se encarga de enviar hacia el nodo actuador para la activación de la bomba de agua y las electroválvulas correspondientes a cada sector en la parcela seleccionada. En el Anexo O se encuentra la imagen del dispositivo instalado.

3.2.11.3 Nodo Actuador

Una vez establecida la comunicación entre el Gateway y el nodo actuador se procedió a armar el respectivo tablero eléctrico, mismo que se encarga de funcionar de dos formas, una forma manual y otra proveniente desde el sistema de telecontrol. En el Anexo A se encuentra el diagrama de funcionamiento realizado en el software CadeSimu V4.0. En el diseño se estableció un diferencial para protección de la persona en caso de que ocurriera algún daño o mala manipulación de los equipos, un guarda motor de la marca Chint que permite tener protegido a la bomba de agua en caso de ocurrir un cortocircuito y el contactor encargado del accionamiento de la bomba de agua, todos estos elementos se colocaron en base a la corriente de

consumo de la bomba, como se puede ver en la Ecuación 9 y 10, adicional a ellos se encuentra los pulsadores para encender la bomba de agua y luz piloto para indicar si se encuentra activado los actuadores. Se puede evidenciar en la Figura 61.



Fig. 61. Tablero de control del nodo actuador

Elaborado por: El investigador

Se integró la parte inalámbrica con la de potencia, en la Figura 62 se muestra cómo queda conjuntamente las dos partes, en donde se tiene la Shield LoRa conectado hacia la placa de relays misma que para dar el paso de corriente se conectó los cables desde el tablero de control y viceversa, con ello al recibir la orden de activación o desactivación los relays cierran su contacto normalmente abierto (NO) dando paso a la corriente y así encender los actuadores, cada relé pertenece a un actuador.



Fig. 62. Dispositivo nodo actuador ensamblado

Elaborado por: El investigador

Una vez integrada la etapa de potencia con la inalámbrica se procedió a colocarla en el lugar correspondiente, para esto se necesitó de materiales eléctricos y materiales para la conexión de las tuberías y mangueras. Para las pruebas de funcionamiento, en este caso de acuerdo a la selección del cultivo y al lugar de la parcela se lo hizo en campo abierto para corroborar su funcionamiento para una futura implantación en cultivos del sector. Ver Figura 63.



Fig. 63. Tablero de control y Bomba de agua
Elaborado por: El investigador

De acuerdo a los datos calculados para la frecuencia de riego se tiene el funcionamiento de cada actuador perteneciente a cada sector en el que funciona el riego del recurso hídrico. En la Figura 64 se puede observar cómo se encuentra distribuido cada sector en la parcela, que corresponde al Sector1 con el accionamiento de la electroválvula 1, el sector 2 correspondiente a la electroválvula2 y el sector 3 correspondiente a la electroválvula3, mismo que se encuentran en funcionamiento en base a las condiciones de la sensorización de la humedad, Al ser que la temporada se encuentra en días soleados el suelo se ha mantenido seco por lo que al momento de realizar el riego las planta van cambiando su aspecto.



Fig. 64. Sectores de riego
Elaborado por: El investigador

Cada sector de la parcela se encuentra controlado por el grupo “*Tablero de Control*” creado en la interfaz en Node-Red como se puede ver en la Figura 65. Al accionar los actuadores mediante la interfaz de telecontrol, la bomba y las electroválvulas son controladas a distancia, en donde tenemos que al pulsar el botón prender bomba, valvula1, valvula2, valvula3, se envía un dato hacia la tabla “*selección*” ver (Figura 65) el cual es almacenado en la base de datos, y permite dar la orden a los actuadores para su activación o desactivación

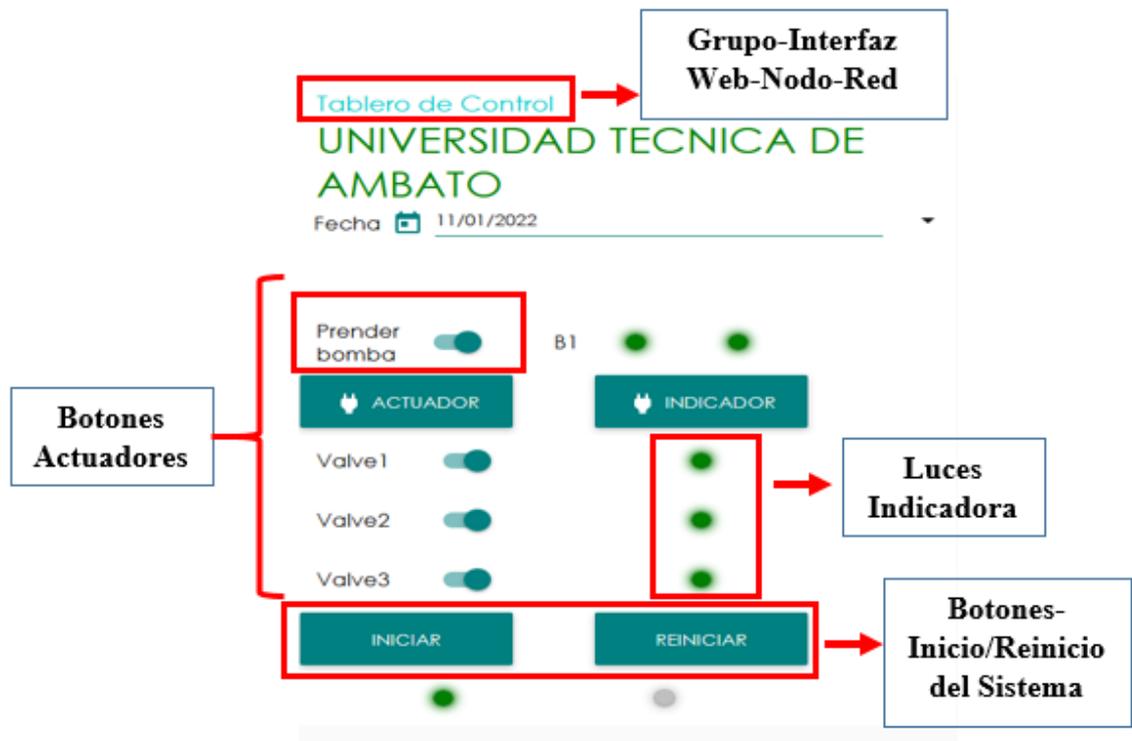


Fig. 65. Grupo Tablero de Control-NodeRed

Elaborado por: El investigador

La Figura 65 muestra cuando se presiona el botón Reiniciar-Iniciar en ese orden, se envía un valor numérico a la tabla “*selección*” el cual es enviado hacia la nodeMCU ESP8266 para el proceso en la Shield LoRa del Gateway para después ser enviado por comunicación LoRa al nodo actuador, para la correspondiente activación/desactivación de todos los dispositivos actuadores en el sistema. Para tal proceso de activación/desactivación, se ocupó una Shield de Relays, las cuales trabajan con lógica inversa para apagar el sistema se debe colocar un valor en alto a las salidas del microcontrolador y en bajo para prender los dispositivos actuadores. La Figura 66 muestra el valor numérico almacenado en la base de datos y el código correspondiente para apagar los dispositivos actuadores. Ver (Anexo F), código del nodo actuador.

Tabla para actuadores

Dato de downlink

Código Arduino

id	dato
2168	9
2167	9
2166	8
2165	6
2164	4
2163	2

```

if (dato == 9){
  digitalWrite(bomba, HIGH);
  digitalWrite(valvula1, HIGH);
  digitalWrite(valvula2, HIGH);
  digitalWrite(valvula3, HIGH);
}
else{
  if (dato == 1){
    digitalWrite(bomba, LOW);
  }
}

```

Fig. 66. Base de datos y código nodo actuador

Elaborado por: El investigador

Ya ubicado el sistema de riego, se observa en la Figura 67 las electroválvulas que controlan cada sector que se determinó en la parcela para el presente proyecto, mismas que son activadas de acuerdo a la orden que viene desde la interfaz del tablero de control programadas en Node-Red. Cada electroválvula se encuentra con nomenclatura (E.V) para abreviar el nombre del dispositivo, estas son las encargadas de dar el paso del recurso hídrico hacia el sector de riego al cual pertenecen.



Fig. 67. Electroválvulas1, 2 y 3.

Elaborado por: El investigador

3.2.12 Pruebas de Funcionamiento

Prueba de envío de datos desde el nodo sensor al Gateway

Para verificar el funcionamiento del dispositivo se realizaron pruebas en donde desde el nodo que recolecta la información de los sensores de temperatura, humedad y pH lleguen adecuadamente hacia el nodo gateway, para ello se procedió a conectar al microcontrolador en la PC y por medio del monitor serie en el IDE de Arduino se pueda visualizar los datos sensados. En la Figura 68 se muestra los datos enviados por la comunicación LoRa hacia el Gateway, en donde el puerto COM 5 pertenece al nodo sensor y el puerto COM 7 pertenece al nodo Gateway, que de igual manera se utiliza el monitor serie para visualizar los datos que llegan por la transmisión inalámbrica.

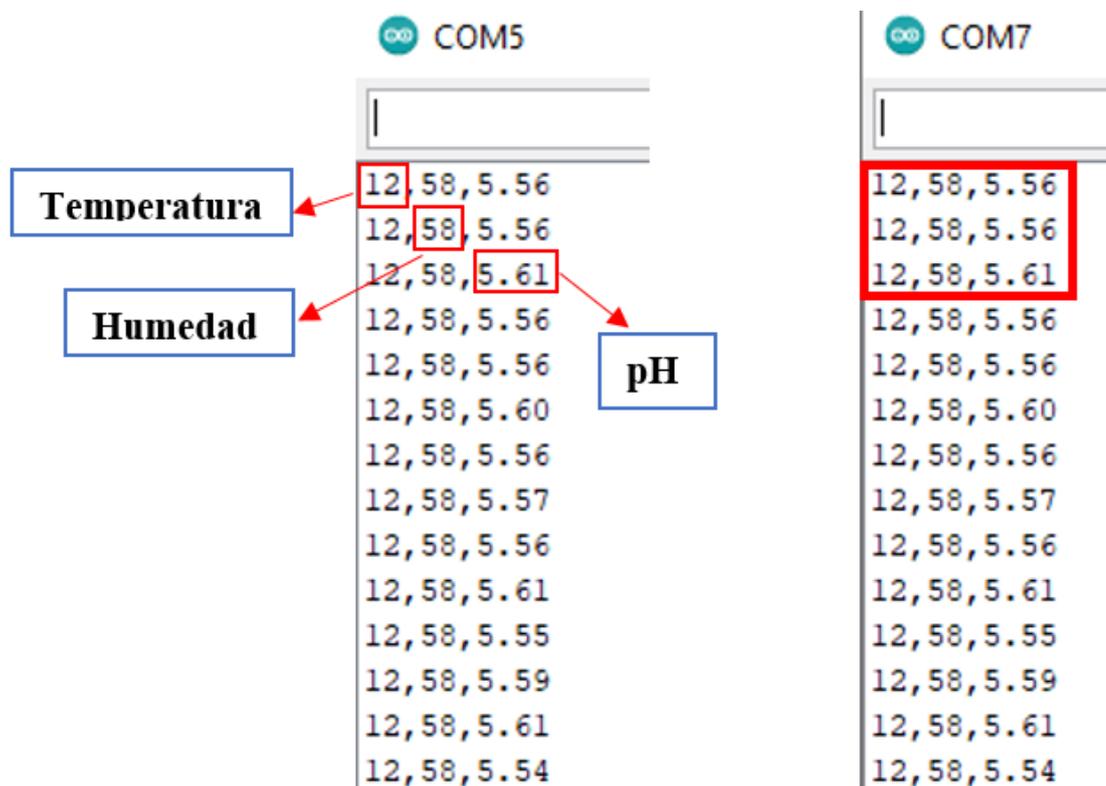


Fig. 68. Datos enviados desde nodo sensor al Gateway

Elaborado por: El investigador

Pruebas de almacenamiento en base de datos

Una vez realizado el envío de los datos hacia el Gateway y corroborado su llegada de los valores sensados, se procedió a verificar su correcto almacenamiento de la base de datos en phpMyAdmin, en donde para lograr el almacenamiento se utilizó un archivo pho el cual se encuentra alojado en el servidor, mismo que contiene las credenciales para la conexión con la base de datos. Pot tal motivo en el código de arduino se encuentra las mismas credenciales para la subida de datos. En este caso tenemos el puerto COM 10 para visualizar los datos que llegan y van a ser enviados a la base de datos, ya en la página de phpMyAdmin visualizamos los datos de la tabla que se siguen almacenando. En la Figura 69 se muestra los datos almacenados.

	id	sensor	locacion	valor1	valor2	valor3	tiempo_lectura
<input type="checkbox"/>	24272	Sensores de Suelo	Tisaleo	58	12	5.59	2022-03-07 13:36:00
<input type="checkbox"/>	24271	Sensores de Suelo	Tisaleo	58	12	5.61	2022-03-07 13:35:57
<input type="checkbox"/>	24270	Sensores de Suelo	Tisaleo	58	12	5.57	2022-03-07 13:35:55
<input type="checkbox"/>	24269	Sensores de Suelo	Tisaleo	58	12	5.60	2022-03-07 13:35:52
<input type="checkbox"/>	24268	Sensores de Suelo	Tisaleo	58	12	5.56	2022-03-07 13:35:50
<input type="checkbox"/>	24267	Sensores de Suelo	Tisaleo	58	12	5.56	2022-03-07 13:35:47
<input type="checkbox"/>	24266	Sensores de Suelo	Tisaleo	58	12	5.59	2022-03-07 13:35:45
<input type="checkbox"/>	24265	Sensores de Suelo	Tisaleo	58	12	5.57	2022-03-07 13:35:38
<input type="checkbox"/>	24264	Sensores de Suelo	Tisaleo	58	12	5.57	2022-03-07 13:35:35
<input type="checkbox"/>	24263	Sensores de Suelo	Tisaleo	58	12	5.62	2022-03-07 13:35:32
<input type="checkbox"/>	24262	Sensores de Suelo	Tisaleo	58	12	5.57	2022-03-07 13:35:30
<input type="checkbox"/>	24261	Sensores de Suelo	Tisaleo	58	12	5.56	2022-03-07 13:35:27
<input type="checkbox"/>	24260	Sensores de Suelo	Tisaleo	58	12	5.55	2022-03-07 13:35:25

COM10

12,58,5.550
12,58,5.56,0
12,58,5.57,0
12,58,5.62,0
12,58,5.57,0
12,58,5.57,0
12,58,5.57,0
12,58,5.59,0
12,58,5.56,0
12,58,5.56,0
12,58,5.60,0
12,58,5.57,0
12,58,5.61,0
12,58,5.59,0
12,58,5.54,0

Autoscroll

Temperatura Humedad pH

Fig. 69. Verificación de almacenamiento.

Elaborado por: El investigador

Sensorización del niveles sin sistema de riego

Para comprobar el funcionamiento del prototipo se recopiló los valores sensados sin el sistema de riego en el lapso de tres días a diferente hora, en la Figura 70 se puede consevar el dispositivo del nodo sensor ubicado en el terreno, el primer día de recolección de informació se la realizó desde las 14h37, los datos fueron recopilados

en lapsos de cinco minutos hasta las 18h57, en este tiempo se pudo evidenciar un promedio de la humedad de 52%, en donde el sol va mermando su intensidad hasta llegar la noche, y un valor de pH 5,57. Para el segundo día se tomó el horario de la mañana de 06:37 – 08:57 y de las 11:02 – 15:57, esto con el objetivo de saber los niveles en que se encuentra el suelo al iniciar el día y cuando el sol llega a su punto máximo al medio día, en el que se tuvo un promedio de humedad para el día 2 de un 47%, esto sucede por efectos del clima el sol seca los terrenos y disminuye la humedad, y un valor promedio de pH de 5,69, que de igual manera se encuentra en el rango para cultivar el terreno. En la Tabla 25 y Tabla 26, podemos ver los valores sensados en los tres días de pruebas.



Fig. 70. Nodo Sensor
Elaborado por: El investigador

Tabla 25. Valores sensados día 1 sin sistema de riego.

Temperatura °C	Humedad %	pH	Fecha
21	54	5,69	29/12/2021 14:37
21	54	5,69	29/12/2021 14:52
21	54	5,67	29/12/2021 14:57
21	54	5,67	29/12/2021 15:02
21	54	5,69	29/12/2021 15:07
21	54	5,69	29/12/2021 15:12
21	54	5,7	29/12/2021 15:17
21	54	5,7	29/12/2021 15:22
19	54	5,69	29/12/2021 15:27
19	54	5,67	29/12/2021 15:32
19	54	5,67	29/12/2021 15:37
19	54	5,69	29/12/2021 15:42
19	54	5,69	29/12/2021 15:47
19	55	5,7	29/12/2021 15:52
18	55	5,69	29/12/2021 15:57
18	54	5,67	29/12/2021 16:02
18	54	5,67	29/12/2021 16:07
18	54	5,69	29/12/2021 16:12
18	54	5,69	29/12/2021 16:17
18	54	5,7	29/12/2021 16:22
18	54	5,7	29/12/2021 16:27
18	54	5,67	29/12/2021 16:32
17	54	5,7	29/12/2021 16:37
17	53	5,69	29/12/2021 16:42
17	53	5,71	29/12/2021 16:47
17	53	5,69	29/12/2021 16:52
17	53	5,67	29/12/2021 16:57
17	53	5,67	29/12/2021 17:02
17	53	5,69	29/12/2021 17:07
17	53	5,69	29/12/2021 17:12
17	53	5,7	29/12/2021 17:17
17	52	5,69	29/12/2021 17:22
17	52	5,67	29/12/2021 17:27
17	52	5,67	29/12/2021 17:32
17	52	5,69	29/12/2021 17:37
17	52	5,69	29/12/2021 17:42
17	52	5,69	29/12/2021 17:47

17	51	5,72	29/12/2021 17:52
17	50	5,7	29/12/2021 17:57
16	50	5,69	29/12/2021 18:02
16	50	5,67	29/12/2021 18:07
16	50	5,68	29/12/2021 18:12
16	49	5,68	29/12/2021 18:17
16	49	5,66	29/12/2021 18:22
16	49	5,64	29/12/2021 18:27
16	49	5,61	29/12/2021 18:32
16	49	5,67	29/12/2021 18:37
16	49	5,67	29/12/2021 18:42
16	49	5,65	29/12/2021 18:47
16	48	5,66	29/12/2021 18:52
16	48	5,66	29/12/2021 18:57

Elaborado por: El investigador

Valores sensados en el día 2

Temperatura °C	Humedad %	pH	Fecha
20	47	5,67	30/12/2021 6:37
20	47	5,7	30/12/2021 6:52
20	47	5,68	30/12/2021 6:57
20	47	5,71	30/12/2021 7:02
20	47	5,69	30/12/2021 7:07
21	47	5,66	30/12/2021 7:12
21	47	5,68	30/12/2021 7:17
21	49	5,69	30/12/2021 7:22
21	48	5,7	30/12/2021 7:27
21	47	5,67	30/12/2021 7:32
21	47	5,71	30/12/2021 7:37
21	47	5,68	30/12/2021 7:42
21	48	5,71	30/12/2021 7:47
22	48	5,69	30/12/2021 7:52
21	48	5,66	30/12/2021 7:57
21	48	5,68	30/12/2021 8:02
21	48	5,68	30/12/2021 8:07
22	48	5,7	30/12/2021 8:12
26	48	5,7	30/12/2021 8:17
26	48	5,7	30/12/2021 8:22

26	48	5,68	30/12/2021 8:27
26	48	5,69	30/12/2021 8:32
26	47	5,7	30/12/2021 8:37
26	47	5,67	30/12/2021 8:42
26	47	5,71	30/12/2021 8:47
26	47	5,68	30/12/2021 8:52
24	47	5,71	30/12/2021 8:57
24	47	5,71	30/12/2021 11:02
24	47	5,73	30/12/2021 11:07
24	47	5,71	30/12/2021 11:12
24	47	5,74	30/12/2021 11:17
24	47	5,68	30/12/2021 11:22
24	47	5,71	30/12/2021 11:27
24	47	5,69	30/12/2021 11:32
24	47	5,66	30/12/2021 11:37
23	47	5,68	30/12/2021 11:42
23	47	5,68	30/12/2021 11:47
23	47	5,7	30/12/2021 11:52
22	46	5,7	30/12/2021 11:57
22	46	5,7	30/12/2021 12:02
22	46	5,68	30/12/2021 12:07
21	46	5,69	30/12/2021 12:12
21	46	5,7	30/12/2021 12:17
21	48	5,67	30/12/2021 12:22
21	47	5,71	30/12/2021 12:27
21	47	5,68	30/12/2021 12:32
21	47	5,71	30/12/2021 12:37
21	47	5,71	30/12/2021 12:42
21	47	5,73	30/12/2021 12:47
20	47	5,71	30/12/2021 12:52
21	45	5,74	30/12/2021 12:57

Elaborado por: El investigador

Tabla 26. Valores sensados día 3, sin sistema de riego.

Temperatura °C	Humedad %	pH	Fecha
20	48	5,67	31/12/2021 11:37
20	48	5,7	31/12/2021 11:52
20	48	5,68	31/12/2021 11:57
20	47	5,71	31/12/2021 12:02
20	47	5,69	31/12/2021 12:07
21	46	5,66	31/12/2021 12:12
21	47	5,68	31/12/2021 12:17
21	49	5,69	31/12/2021 12:22
21	48	5,7	31/12/2021 12:27
21	48	5,67	31/12/2021 12:32
21	47	5,71	31/12/2021 12:37
21	47	5,68	31/12/2021 12:42
21	48	5,71	31/12/2021 12:47
22	48	5,69	31/12/2021 12:52
21	48	5,66	31/12/2021 12:57
21	48	5,68	31/12/2021 13:02
21	48	5,68	31/12/2021 13:07
22	48	5,7	31/12/2021 13:12
21	48	5,7	31/12/2021 13:17
22	47	5,7	31/12/2021 13:22
22	48	5,68	31/12/2021 13:27
22	48	5,69	31/12/2021 13:32
22	47	5,7	31/12/2021 13:37
22	47	5,67	31/12/2021 13:42
22	47	5,71	31/12/2021 13:47
23	47	5,68	31/12/2021 13:52
23	47	5,71	31/12/2021 13:57
23	48	5,71	31/12/2021 14:02
23	47	5,73	31/12/2021 14:07
23	47	5,71	31/12/2021 14:12
23	47	5,74	31/12/2021 14:17
22	47	5,68	31/12/2021 14:22
22	47	5,71	31/12/2021 14:27
22	47	5,69	31/12/2021 14:32
22	47	5,66	31/12/2021 14:37
22	47	5,68	31/12/2021 14:42
22	47	5,68	31/12/2021 14:47

22	47	5,7	31/12/2021 14:52
22	46	5,7	31/12/2021 14:57
22	46	5,7	31/12/2021 15:02
22	46	5,68	31/12/2021 15:07
21	46	5,69	31/12/2021 15:12
21	46	5,7	31/12/2021 15:17
21	48	5,67	31/12/2021 15:22
21	47	5,71	31/12/2021 15:27
21	47	5,68	31/12/2021 15:32
21	47	5,71	31/12/2021 15:37
21	47	5,71	31/12/2021 15:42
21	47	5,73	31/12/2021 15:47
20	47	5,71	31/12/2021 15:52
21	45	5,74	31/12/2021 15:57

De acuerdo a los niveles de los sensores se obtuvo en el día 2 un decremento del nivel de humedad del suelo debido a la intensidad del sol en los días de pruebas realizados. En base a estos valores se puede ver la necesidad que tiene el terreno para humedecerlo y así tener un cultivo hidratado.

Una vez realizado las mediciones pertinentes sin el sistema de riego se procedió a realizar las pruebas con el sistema de riego instalado en la parcela, de acuerdo a cada sector de riego. En la Figura 70 se puede ver la distribución de los elementos del tablero de control perteneciente al nodo actuador, de esta forma se realizó la conexión de la bomba de agua al tablero de control y de la bomba de agua al tanque resevorio, hay que sebar la bomba de agua antes de su funcionamiento, esto por precaución y manteniminto de la misma ya que si se enciende sin haberla sebadó puede causar daños en su sistema, llegando incluso a quemarse el capacitor de arranque.

Verificación de mediciones

Las pruebas para la verificación de las mediciones realizadas por el prototipo de telecontrol para el riego a goteo se las realizaron en dos etapas, la primera etapa se la realizó por medio del uso de un dispositivo disponible en el mercado para medir humedad, temperatuta y pH del suelo, se optó por esta opción al tener las variables necesarias para la comparación en un solo dispositivo, y al tener dispositivos

individuales que al momento de las pruebas no fueron acordes ya que no fueron elaborados para la medición de parámetros del suelo.

La segunda etapa se la desarrolló tomando los valores previamente sensados por el prototipo de telecontrol del riego a goteo después de su instalación en el terreno, en donde se tuvo un registro de las condiciones del suelo. Estos datos fueron almacenados y mostrados a travez de una interfaz de visualización en Node-Red.

Ser tomaron una muestra de 20 valores que se detallan en la Tabla 27 las cuales pertenecen a la temperatura humedad y pH, en la que se muestra los valores adquiridos por el instrumento de medición y del prototipo de telecontrol.

Tabla 27. Tabla comparativa mediciones prototipo – medidor digital

N ^a	Prototipo			Medidor Digital		
	Temperatura	Humedad	pH	Temperatura	Humedad	pH
1	18	77	5,7	19	78	5,8
2	18	77	5,7	19	77	5,8
3	17	79	5,7	18	78	5,8
4	17	79	5,71	18	78	5,8
5	17	80	5,74	18	80	5,8
6	17	80	5,68	18	81	5,8
7	17	82	5,7	18	81	5,8
8	16	84	5,7	17	85	5,8
9	15	85	5,67	16	87	5,8
10	15	85	5,71	16	87	5,7
11	15	87	5,68	16	88	5,7
12	14	89	5,71	15	91	5,8
13	14	90	5,71	15	91	5,8
14	13	91	5,73	14	91	5,8
15	13	91	5,71	14	92	5,8
16	14	90	5,74	14	91	5,8
17	13	91	5,71	14	92	5,8
18	13	90	5,74	14	91	5,8
19	13	89	5,68	14	89	5,8
20	12	89	5,7	13	89	5,8

Elaborado por: El investigador

Análisis de resultados

Una vez que se realizó el proceso de medición de las dos etapas para los parámetros del suelo se procedió al cálculo del error absoluto y error relativo con los valores correspondientes a cada etapa. En el que se utilizó las ecuaciones 13 y 14.

$$\text{Error absoluto} = \text{medición del medidor digital} - \text{medición del prototipo}$$

Ecuación 9. Error absoluto

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{Error absoluto}}{\text{medidor digital}} * 100$$

Ecuación 10. Error relativo

En la Tabla 28 se muestra el correspondiente cálculo del error absoluto y el cálculo del error relativo de los valores medidos con el medidor digital y del prototipo de telecontrol, para lo cual se tomó los valores de la Tabla 27.

Tabla 28. Cálculo del error para temperatura

N ^a	Temperatura		Cálculo de errores	
	Prototipo	Medidor Digital	Error Absoluto	Error Relativo(%)
1	18,7	19	0,3	1,5789474
2	18,5	19	0,5	2,6315789
3	17,8	18	0,2	1,1111111
4	17,6	18	0,4	2,2222222
5	17,6	18	0,4	2,2222222
6	17,8	18	0,2	1,1111111
7	17,5	18	0,5	2,7777778
8	16,4	17	0,6	3,5294118
9	15,3	16	0,7	4,375
10	15,6	16	0,4	2,5
11	15,6	16	0,4	2,5
12	14,6	15	0,4	2,6666667
13	14,4	15	0,6	4
14	13,7	14	0,3	2,1428571
15	13,8	14	0,2	1,4285714
16	14,6	14	-0,6	-4,285714
17	13,8	14	0,2	1,4285714
18	13,6	14	0,4	2,8571429
19	13,6	14	0,4	2,8571429

20	12,9	13	0,1	0,7692308
----	------	----	-----	-----------

Elaborado por: El investigador

En la tabla 29 se realizó el cálculo del error para la humedad en donde depende mucho del dispositivo en que se ocupe, para lo cual se obtuvo como resultado en error que se encuentra en un nivel adecuado, su variación no es grande.

Tabla 29. Cálculo del erro de la humedad.

N ^a	Humedad		Cálculo de errores	
	Prototipo	Medidor Digital	Error Absoluto	Error Relativo(%)
1	77	78	1	1,2820513
2	77	77	0	0
3	79	78	-1	-1,282051
4	79	78	-1	-1,282051
5	80	80	0	0
6	80	81	1	1,2345679
7	82	81	-1	-1,234568
8	84	85	1	1,1764706
9	85	87	2	2,2988506
10	85	87	2	2,2988506
11	87	88	1	1,1363636
12	89	91	2	2,1978022
13	90	91	1	1,0989011
14	91	91	0	0
15	91	92	1	1,0869565
16	90	91	1	1,0989011
17	91	92	1	1,0869565
18	90	91	1	1,0989011
19	89	89	0	0
20	89	89	0	0

Elaborado por: El investigador

En la Tabla 30 se muestra el valor de medición y cálculo del error en las mismas correspondiente al pH del suelo en el que nos encontramos con una variación en los decimales que no afecta en gran escala a su propósito debido a que los niveles de pH llegan a afectar al terreno cuando sobrepasa el nivel de acides o alcalinidad, en este caso se encuentra en rango óptimo para el cultivo.

Tabla 30. Cálculo de error de pH

N ^a	pH		Cálculo de errores	
	Prototipo	Medidor Digital	Error Absoluto	Error Relativo(%)
1	5,7	5,8	0,1	1,7241379
2	5,7	5,8	0,1	1,7241379
3	5,7	5,8	0,1	1,7241379
4	5,71	5,8	0,09	1,5517241
5	5,74	5,8	0,06	1,0344828
6	5,68	5,8	0,12	2,0689655
7	5,7	5,8	0,1	1,7241379
8	5,7	5,8	0,1	1,7241379
9	5,67	5,8	0,13	2,2413793
10	5,71	5,7	-0,01	-0,175439
11	5,68	5,7	0,02	0,3508772
12	5,71	5,8	0,09	1,5517241
13	5,71	5,8	0,09	1,5517241
14	5,73	5,8	0,07	1,2068966
15	5,71	5,8	0,09	1,5517241
16	5,74	5,8	0,06	1,0344828
17	5,71	5,8	0,09	1,5517241
18	5,74	5,8	0,06	1,0344828
19	5,68	5,8	0,12	2,0689655
20	5,7	5,8	0,1	1,7241379

Elaborado por: El investigador

Pruebas del sistema de control

Para las pruebas del sistema de control se utilizó un tablero eléctrico en el que consta la etapa de control y la etapa de potencia, la misma que se acciona de acuerdo a las acciones que el usuario establezca desde la interfaz. En la Figura 71 se muestra los elementos que intervienen en el funcionamiento del sistema.

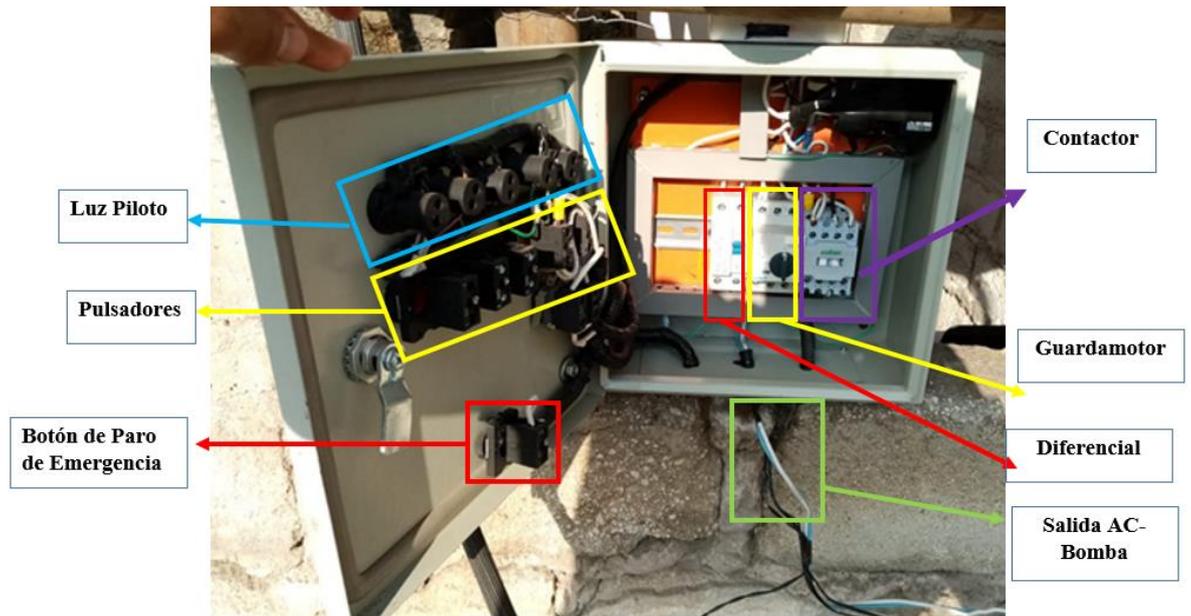


Fig. 71. Elementos del tablero de control.

Elaborado por: El investigador

Las pruebas se realizaron en un lapso de una semana de acuerdo a los valores calculados en la frecuencia de riego FR, la misma que es de cuatro riegos a la semana, en la que se suministró al suelo la cantidad de agua necesaria para que la planta desarrolle, sin causar ningún inconveniente. En la Figura 72 se puede ver los componentes para el sistema de riego, mismo que inicia con los valores sensados por el nodo y subido al gateway LoRa para su posterior almacenamiento en el servidor y mostrados en la interfaz gráfica de Node – Red. Cada electroválvula se encarga de un sector en el terreno en donde se colocó un nodo sensor, que trabaja como condicionante para todo el terreno al tener las condiciones del terreno que no varían significativamente por su tamaño, si el terreno fuese de mayor dimensión se podría requerir de nodos sensores adicionales, o a su vez si el terreno fuese irregular, lo que quiere decir sea montañoso, en el caso del presente proyecto el terreno el plano.

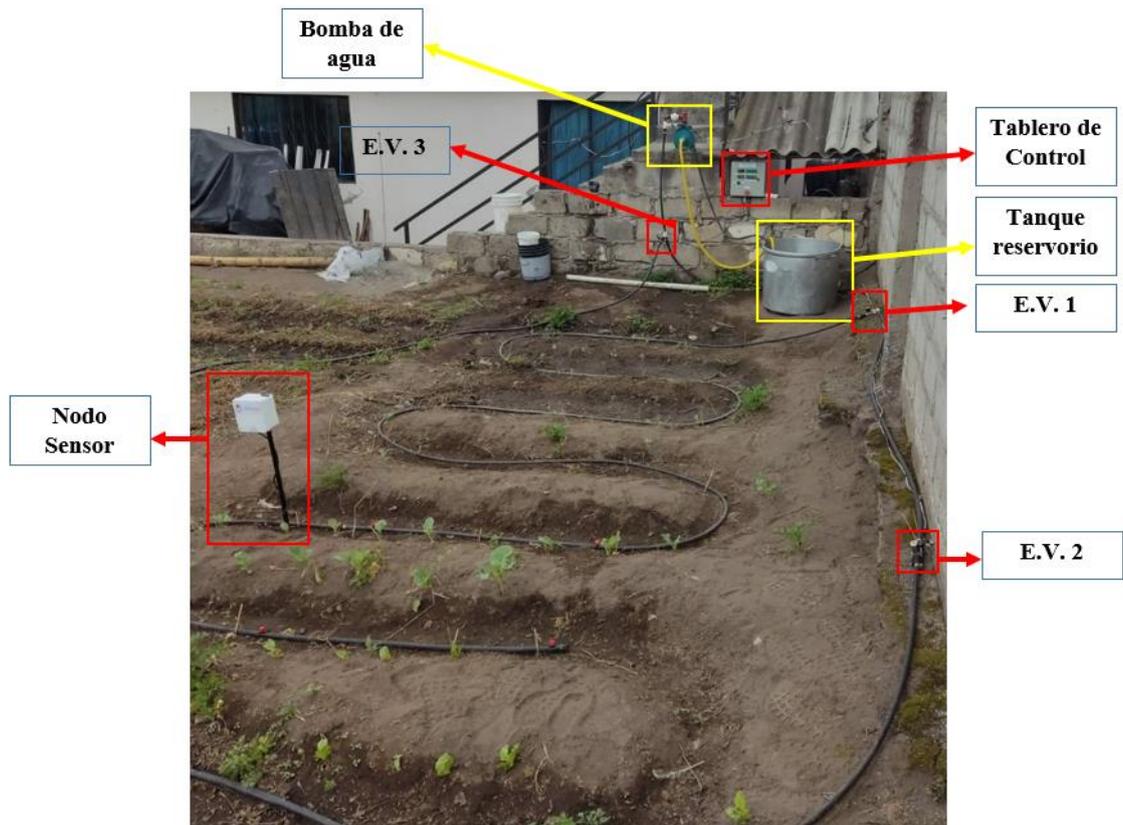


Fig. 72. Sistema de riego a goteo.

Elaborado por: El investigador.

Prueba electroválvula 1

Tanto en el tablero de control eléctrico y el tablero de control de la interfaz poseen luces indicadoras para verificar que se encuentre activa. Una vez iniciado el funcionamiento de la bomba se activa el sector 1 correspondiente a la electroválvula 1, como se puede ver en la Figura 73, se presiona el botón “Valvula 1” y se prende la luz indicadores en la parte virtual y física, además de que el módulo de relay posee también luces indicadoras se evidenció la orden de activación.

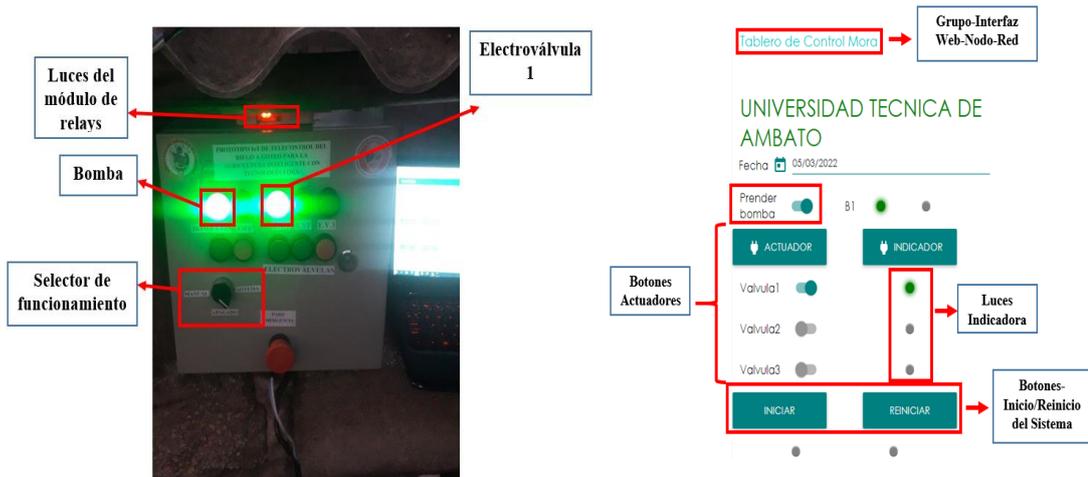


Fig. 73. Encendido – Electroválvula 1

Elaborado por: El investigador.

Prueba Electroválvula 2

Para la activación de la segunda electroválvula se procedió a realizar la misma operación, en la que se presionó el botón correspondiente “Valvula 2” y se prendió la electroválvula conjuntamente con sus indicadores. En la Figura 74 se muestra los botones del tablero de control para activar la electroválvula 2 correspondiente al sector 2. En la Tabla 22 se muestra los promedios de los valores que han variado conforme se riega el suelo en la semana de acuerdo a la frecuencia de riego en comparación con los valores tomados sin el sistema de telecontrol del riego a goteo.



Fig. 74. Encendido – Electroválvula 2

Elaborado por: El investigador.

Prueba electroválvula 3

De igual manera se realiza el encendido de la electroválvula 3 correspondiente al sector tres, en que desde la interfaz de telecontrol se presionó el botón “Valvula3” para así por medio de sus luces piloto visualizar que se encuentren funcionando. En la Figura 70 se puede evidenciar el trabajo que realiza conjuntamente la interfaz con el nodo actuador para activar el dispositivo.

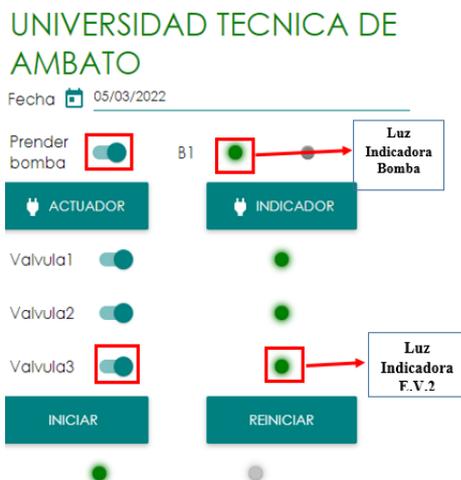
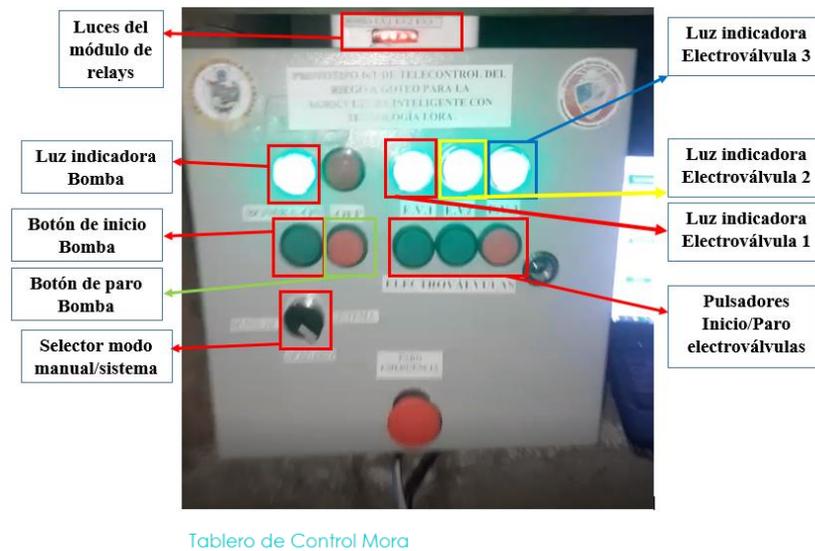


Fig. 75. Encendido - Electroválvula 3.

Elaborado por: El investigador.

El riego se lo realizó en horas del atardecer ya que en ese horario el sol merma su intensidad y no representa ningún peligro para la planta. Al día siguiente luego de realizar el riego se evidencia (ver Figura 71) cómo el suelo se encuentra húmedo y la misma es uniforme para todo el sustrato, en donde se pudo ver que el riego a goteo

suministra cantidades iguales al cultivo, ya que en la temporada de seca el cultivo requiere ser regado por lo que en base a ello no hay que encharcar el agua en la planta debiéndose aumentar la frecuencia de riego, mas no la cantidad suministrada, de acuerdo a las ecuaciones 5 y 8, tenemos un cálculo adecuado conforme a los materiales utilizados para sistema de riego, ubicación de las plantas y distancia entre cada una.



Fig. 76. Verificación del riego.

Elaborado por: El investigador

En base a los valores calculados de la frecuencia de riego FR para el escenario instalado que tiene un total de 4,27 veces a la semana, en donde durante y después del riego se tomó un total de 52 muestras las mismas que fueron tomadas cada cinco minutos y fueron comparadas con el promedio de los valores censados antes de la instalación del sistema de telecontrol del riego a goteo. En la Tabla 31 se muestran los promedios de los niveles de temperatura, humedad y pH censados con el sistema de riego. En el Anexo N se muestra la tabla con los valores censados en los 4 días que se realizó las pruebas.

Tabla 31. Promedio de los valores con sistema de telecontrol para el riego a goteo.

Promedio Temperatura			
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
22,41176471	13,37254902	13,2352941	13,70588235
Promedio Humedad			
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
78,47058824	82,05882353	81,84313725	83,29411765
Promedio pH			
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
5,698431373	5,702352941	5,702352941	5,704509804

Elaborado por: El investigador

Al terminar de realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo en el período de una semana de riego y haciendo una comparación entre la Tabla 25 y la Tabla 26 de los valores sin sistema de riego se pudo evidenciar el cambio que existe en el suelo al realizar la dosificación del agua, este permanece húmedo generando así buenas condiciones para el desarrollo de la planta, así como también para el operador ya que puede realizar el riego enviando las ordenes hacia el nodo actuador a distancia.

Tabla 32. Promedio de los valores sin sistema de telecontrol para el riego a goteo.

Promedio Temperatura		
Día 1	Día 2	Día 3
17,78431373	22,41176471	21,4705882
Promedio Humedad		
Día 1	Día 2	Día 3
52,35294118	47,1372549	47,1960784
Promedio pH		
Día 1	Día 2	Día 3
5,570588235	5,694509804	5,6945098

Elaborado por: El investigador

Se realizó las pruebas de almacenamiento ya ubicado en el terreno a controlar el sistema de riego, el nodo sensor envía los datos, y se puede observar que los valores

enviados llegan hasta su destino y se encuentran almacenado en la base de datos como se puede observar en la Figura 77.

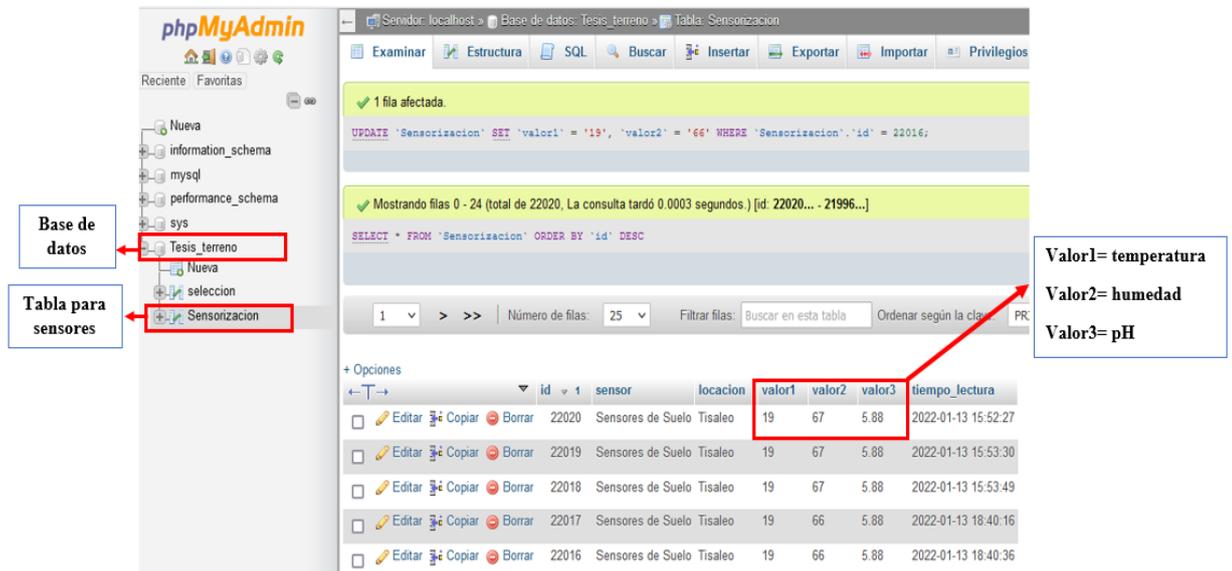


Fig. 77. Almacenamiento de los datos de los sensores en el servidor

Elaborado por: El investigador

Una vez revisado en phpMyadmin que los datos del nodo sensor se encuentran almacenados en la base de datos, se procedió a verificar que en la interfaz de visualización se muestren dichos valores en las gráficas. Se puede observar en la Figura 78 los datos que se encuentran en la base de datos son mostrados para una interacción con el usuario.

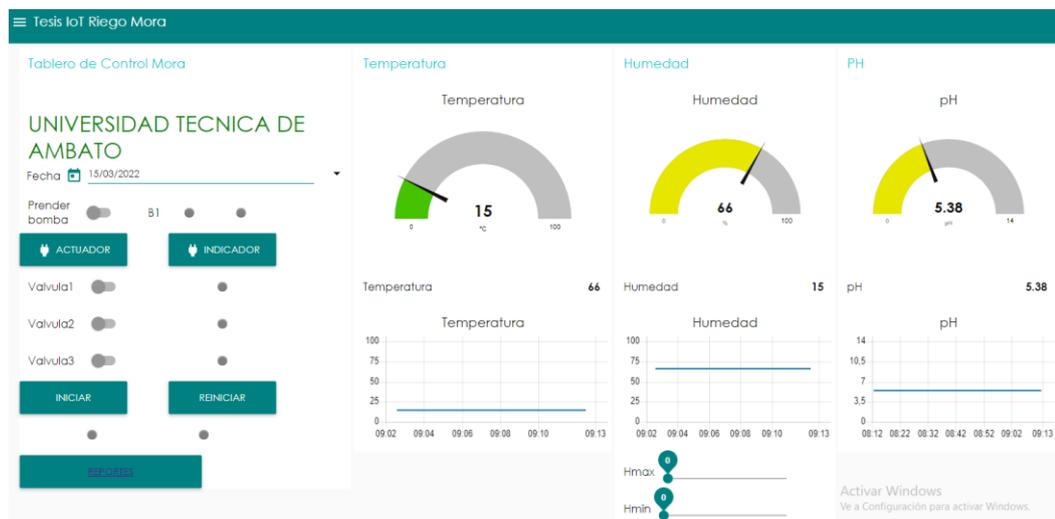


Fig. 78. Visualización de valores de la base de datos.

Elaborado por: El investigador

Por medio de las notificaciones a través de la plataforma de mensajería de Telegram se comprobó en caso de que los niveles de humedad lleguen al nivel óptimo y el operador por descuido u otro percance no proceda a apagar el sistema de riego, una notificación se envía con el mensaje “Las condiciones de humedad son óptimas APAGAR SISTEMA DE RIEGO”. En la Figura 79 se muestra el mensaje de alerta en el buzón del grupo creado con el bot para el sistema de riego.

Fig. 79. Llegada de notificaciones del bot de Telegram



Elaborado por: El investigador

3.2.13 Presupuesto

Para la implementación del prototipo IoT de Telecontrol del riego a goteo para la agricultura inteligente con tecnología LoRa se dividió el presupuesto en presupuesto para el diseño y la construcción del prototipo. En el cual para el presupuesto de diseño se tomó en cuenta el salario mínimo de acuerdo a la tabla sectorial 2021 del Ecuador. El salario básico para un profesional de tercer nivel se encuentra en \$431,80 mensuales [70], tomando como días laborables la cantidad de 21 días al mes se procedió al cálculo del sueldo por día como se puede evidenciar en la Ecuación 13.

$$\text{Sueldo/día} = \frac{\text{Salario mensual}}{\text{Días laborales}}$$

$$\text{Sueldo/día} = \frac{457,52}{21}$$

$$\text{Sueldo/día} = 21,78 \text{ dólares}$$

Ecuación 11. Cálculo sueldo por día

Al obtener el sueldo por día se calculó el sueldo por hora, de acuerdo a las leyes en el Ecuador las horas laborales al día son de 8 horas, por tal se calculó dividiendo el sueldo por día para 8 horas, como se puede ver en la Ecuación 14.

$$\text{Sueldo/hora} = \frac{\text{Salario diario}}{\text{Horas laborales}}$$

Ecuación 12. Cálculo del salario por hora.

$$\text{Sueldo/hora} = \frac{21,78}{8}$$

$$\frac{\text{Sueldo}}{\text{día}} = 2,72 \text{ dólares}$$

En base a los datos calculados y con el resultado de la Ecuación 14 se procedió al cálculo del diseño del prototipo, en el que se empleó un total de 250 horas en los que se refiere a la investigación, diseño e implementación del prototipo. Se puede evidenciar en la Tabla 21 el presupuesto para el diseño del prototipo del proyecto de investigación.

Presupuesto para el diseño del prototipo.

Detalle	Unidad	Cantidad	Valor/hora	Valor/Total
Diseño	Hora	250	\$2,72	\$680,83

Para la construcción e implementación del prototipo se detalla a continuación en la Tabla 33:

Tabla 33. Presupuesto de construcción.

N°	Detalle	Cantidad	Valor/Unidad	Total
1	Modulo Shield Lora	3	\$ 35,00	\$ 105,00
2	Arduino Uno	3	\$ 11,25	\$ 33,75
3	Esp8266 nodeMCU	1	\$ 13,00	\$ 13,00
4	Arduino nano	1	\$ 7,50	\$ 7,50
5	Sensor Humedad YI-69	1	\$ 4,50	\$ 4,50
6	Sensor pH SEN061	1	\$ 45,00	\$ 45,00
7	Sensor DS18B20	1	\$ 4,50	\$ 4,50
8	Contactador 12 A	1	\$ 9,54	\$ 9,54
9	Diferencial 25 A	1	\$ 15,13	\$ 15,13
10	Guardamotor	1	\$ 23,55	\$ 23,55
11	Tablero Metálico 30*30*15	1	\$ 36,61	\$ 36,61
12	Pulsador emer/hongo	1	\$ 2,54	\$ 2,54
13	Selector 3 pos	1	\$ 4,11	\$ 4,11
14	Luz piloto verde	4	\$ 1,43	\$ 5,72
15	Luz piloto roja	1	\$ 1,43	\$ 1,43
16	Pulsadores	5	\$ 1,51	\$ 7,55
17	canaleta ranurada	1	\$ 2,32	\$ 2,32
18	Riel din acero	1	\$ 2,32	\$ 2,32
19	Caja plástica 10*10*5	1	\$ 2,00	\$ 2,00
20	Caja plástica 15*15*8	1	\$ 4,50	\$ 4,50
21	Electrovalvulas	3	\$ 12,00	\$ 36,00
22	Kit acoples bomba de agua	1	\$ 29,00	\$ 29,00
23	Kit mangueras Sistem. Riego	1	\$ 20,00	\$ 20,00
24	Kit conectores tablero eléctrico	1	\$ 5,57	\$ 5,57
25	Componentes electrónicos	1	\$ 13,80	\$ 13,80
			SUBTOTAL	\$ 434,94
			IVA 12%	\$ 52,19
			TOTAL	\$ 487,13

Elaborado por: El investigador

Con los valores antes calculados para el presupuesto, para obtener el presupuesto total se suma los valores del presupuesto de diseño y construcción del prototipo.

$$\textit{Presupuesto total} = \textit{Presupuesto de diseño} + \textit{presupuesto de construcción}$$

Ecuación 13. Presupuesto total del prototipo

$$\textit{Presupuesto total} = \$680,83 + \$487,13$$

$$\textit{Presupuesto total} = \$1167,96$$

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se analizó como el uso de la tecnología en la agricultura puede mejorar las condiciones del cultivo y del agricultor al tener un control basado en IoT con comunicación LoRa monitorizando los parámetros del suelo tanto físicos como químicos por medio de sensores diseñados para cada propósito del proyecto, contribuyendo a disminuir la brecha existente entre el pequeño y grande agricultor con la tecnología.
- Se realizó el telecontrol del riego a goteo en el cultivo de mora en una parcela ubicada en el cantón Cevallos, en el lugar se evidenció varios terrenos aledaños dedicados al cultivo que no cuentan con una tecnificación o un sistema dedicado para el riego a la planta, siendo el riego tradicional por surcos el utilizado por los propietarios de los cultivos. De acuerdo con datos investigados el 40% de la PEA (población económicamente activa) en la provincia se dedica a la agricultura y la producción de mora en la provincia abastece el 60% del mercado nacional, por tal motivo el prototipo ayudaría a mejorar el control del suministro del agua.
- Se diseñó un nodo sensor encargado de la toma de valores de los dispositivos sensores, temperatura, humedad y pH. En el circuito se encuentra con la Shield Lora y el Arduino Uno, el conjunto se comunicó por medio de transmisión lora con el Gateway que sube los datos a la interfaz IoT y la misma devuelve datos de downlink de acuerdo a los requerimientos de la planta para la activación de la bomba y las electroválvulas en el nodo actuador.
- Se comprobó conforme a la investigación que las horas de riego idóneas para la planta se encuentra en la tarde al ser que el sol merma su intensidad y da paso a la sombra, entonces la planta absorbe nutrientes y se hidrata para su proceso metabólico lo que es necesario después de los días soleados el riego a la planta para que así la planta no decaiga en su producción y no genere pérdidas para el

agricultor, además de tener en cuenta el valor calculado para la frecuencia de riego, que en el caso del presente proyecto se encuentra un total de 6,42 horas a la semana.

4.2 Recomendaciones

- El sistema IoT de telecontrol para el riego a goteo es recomendado para ser utilizado en la agricultura y fruticultura con el objetivo de optimizar recursos al momento del regadío. Para ser implementado se debe realizar una previa inspección al lugar de instalación del sistema para dimensionar los equipos necesarios, como la bomba de agua, el tablero eléctrico y mangueras necesarias para su funcionamiento.
- Se recomienda implementar en otros cultivos diferentes al de la mora el sistema IoT de telecontrol para el riego a goteo y verificar su escalabilidad y versatilidad para el agricultor de acuerdo con el tipo de cultivo, terreno y fuente de agua, informarle qué bomba es adecuada según el gasto de hidratación que requiere y cuántas zonas de riego necesita
- Se recomienda que el sistema implementado se le añada un modelo estadístico para la verificación de los datos en un lapso de tiempo, ya que al tener la capacidad de uso de un nodo sensor para saber el estado de un cultivo en la agricultura, se puede tomar decisiones sobre el uso del agua, y la ayuda de un modelo estadístico mejoraría la toma de decisiones.
- El sistema puede tener compatibilidad con otras plataformas para el servicio de base de datos como Microsoft Azure, Google Cloud Platform, Digital Ocean, entre otros, o realizarlo con una raspberry para su uso local.
- Se recomienda realizar futuras investigaciones para la implementación de la comunicación LoRa en otras áreas del sistema de producción como por ejemplo en la ganadería al monitorizar parámetros propios del área, o el diseño de robots móviles para el uso de toma de datos del cultivo en áreas extensas.

Referencias Bibliográficas

- [1] S. Sushanth, «IOT Based Smart Agriculture System,» *IEEE*, p. 4, 2020.
- [2] R. D. Subhranil, «Smart Farming – IoT in Agriculture,» *IEEE*, pp. 3-4, 2019.
- [3] T. Lakshmi Narayana, A. Jitendra Prasad, P. T B Anjaneya y V. SaiDivya, «A Novel and Smart IoT System for Real Time Agriculture Applications with IaaS Cloud Computing,» *IEEE*, pp. 5-6, 2020.
- [4] Vijay, S. Anil Kumar, B. Susmita y N. Himanshu, «An IoT Instrumented Smart Agricultural Monitoring and Irrigation System,» *IEEE*, p. 4, 2020.
- [5] L. Hyuk, J. Woojin, J. Woojin, J. K. Dong, C. Gowoon y L. Miran, «Feasibility of Networking Technology for SmartFarm: LoRa vs APRS,» *IEEE*, pp. 3-4, 2020.
- [6] C. N. d. Peritos, «CONAPA,» Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://conapa.es/el-control-y-la-automatizacion-en-la-agricultura/>. [Último acceso: 20 Marzo 2021].
- [7] D. Guillermo, «iagua.es,» Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/guillermo-donosos/aumento-eficiencia-riego-mejora-productividad-agua-agricultura>. [Último acceso: 20 Marzo 2021].
- [8] D. L. Hora, «lahora.com.ec,» Febrero 2002. [En línea]. Available: <https://lahora.com.ec/noticia/1000053538/tungurahua-mejorc3b3-producticc3b3n-frutc3adcola>. [Último acceso: 21 Marzo 2021].
- [9] R. Karen, E. Scott y C. Lyman, «Seguridad en Internet de las cosas,» de *LA INTERNET DE LAS COSAS— UNA BREVE RESEÑA*, Virginia, Internet Society, 2015, pp. 21-26-48.
- [10] D. Mikelsten, *Automatización y tecnologías emergentes*, Inglaterra: Cambridge Stanford Books, 2016.
- [11] U. I. d. Telecomunicaciones, «INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN, ASPECTOS DEL PROTOCOLO INTERNET Y REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN,» de *Recomendación UIT-T Y.2060*, Ginebra, 2014, p. 12.
- [12] U. I. d. Telecomunicaciones, *Recomendación UIT-T Y.2060*, Ginebra, 2014.
- [13] U. I. d. Telecomunicaciones, «Recomendación UIT-T Y.2060,» de *SERIE Y: INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN, ASPECTOS DEL PROTOCOLO INTERNET Y REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN*, Ginebra, 2014, pp. 13-15.
- [14] A. C. Domínguez, «Diseño e implementación de una arquitectura IoT,» Sevilla, 2016, pp. 23-24.

- [15] M. Azure, «Protocolos y tecnologías de IoT | Microsoft Azure.» [En línea]. Available: <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/internet-of-things-iot/iot-technology-protocols/>. [Último acceso: 21 10 2021].
- [16] C. A. D. T. Ochoa Duarte, «Alternativa Open Source en la implementación de un sistema IoT para la medición de la calidad del aire.,» *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 12, n° 1, pp. 189-204, 2018.
- [17] T. G. C. L. Arturo Tavizon, «IOT, el internet de las cosas y la innovación de sus aplicaciones,» vol. 2, n° 1, pp. 2313-2340, 2016.
- [18] H. Enviroment, «hydroenv.com.mx,» 2020. [En línea]. Available: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=112. [Último acceso: 22 Marzo 2021].
- [19] D. definición, «definicio.mx,» 2021. [En línea]. Available: <https://definicion.mx/riego/>. [Último acceso: 22 Septiembre 2021].
- [20] C. Andrade, Artist, *EVALUACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE RIEGO EN CULTIVOS AGRÍCOLAS.* [Art]. 2018.
- [21] D. Ware, Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://sistemaagricola.com.mx/blog/tipos-de-riego-en-la-agricultura-y-ventajas/>. [Último acceso: 23 Septiembre 2020].
- [22] O. Iriarte, «ALGUNOS APUNTES CONCEPTUALES SOBRE LOS MÉTODOS Y TIPOS DE RIEGO CAMPESINO Y SU RELACIÓN CON EL DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO,» vol. 2, n° 1, pp. 2000-2020, 2005.
- [23] E. Mendias, «intagri.com,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo>. [Último acceso: 23 Septiembre 2021].
- [24] M. Vieira, «FACTORES QUE SE DEBEN CONSIDERAR PARA SELECCIONAR EL SISTEMA DE RIEGO MÁS ADECUADO,» de *EL DESARROLLO DEL MICRORRIEGO EN AMÉRICA CENTRAL*, Santiago de Chile, 2008, pp. 25-35.
- [25] F. a. Agriculture, «fao.org,» 2021. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>. [Último acceso: 23 Septiembre 2021].
- [26] A. M. Gámez, «Conceptos de fertilidad 2015 parte 1,» 2015.
- [27] A. L. Rucks, 2004. [En línea]. Available: <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>. [Último acceso: Octubre 2021].
- [28] S. A. Juan Castellanos, «www.intagri.com,» 2004. [En línea]. Available: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>. [Último acceso: Septiembre 2021].

- [29] M. L. Marc Nogueras Cervera, «PH sensor,» *Instrumentation viewpoint*, vol. Winter, nº 13, pp. 23-25, 2012.
- [30] AEFA, «Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes,» 2017. [En línea]. Available: <https://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/clasificacion-del-ph>. [Último acceso: Septiembre 2021].
- [31] Á. G, «Fertibox,» 05 2019. [En línea]. Available: <https://www.fertibox.net/single-post/macronutrientes-del-suelo>. [Último acceso: Octubre 2021].
- [32] C. M. Carlos Maycotte, «Principales productos para la fertilización inorgánica.,» de *Sistemas de Producción Vegetal II*, Caldas-Colombia, Espacio Gráfico Comunicaciones S.A., 2011.
- [33] C. Roberto y M. A. Juliete, Artists, *Cantidad del Agua. Guía Metodológica de Inventarios de Recursos Hídricos*. [Art]. 2005.
- [34] C. d. T. Agroalimentaria, «aragon.es,» 2018. [En línea]. Available: https://www.aragon.es/documents/20127/674325/IT_269-18.pdf/9712441a-f8c1-e991-2831-5bc8dbded142. [Último acceso: Diciembre 2021].
- [35] M. d. D. S. CONADI, «<http://www.gea.uchile.cl/>,» 2017. [En línea]. Available: http://www.gea.uchile.cl/archivos/Como_determinar_cuando_y_cuanto_regar_Conadi.pdf. [Último acceso: Diciembre 2021].
- [36] E. E. CARRASCO, Artist, *METODOLOGÍA PARA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS LPWAN PARA DIVERSAS APLICACIONES DE INTERNET DE LAS COSAS*. [Art]. UNIVERSIDAD DE CHILE, 2020.
- [37] Alfaiot, «Alfaiot,» 2019. [En línea]. Available: <https://alfaiot.com/tecnologias-iot/lora/>. [Último acceso: Octubre 2021].
- [38] A. A. William Townsley, «A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things,» vol. 16, nº 9, p. 1466, 2016.
- [39] A. d. R. y. C. d. I. Telecomunicaciones, «PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS,» Quito, 2021.
- [40] B. M. Leydy y M. L. Migue Angel, «Redes LoRaWAN.revisión de componentes funcionales en aplicaciones IoT,» pp. 23-26, 2019.
- [41] C. INTA y G. Diego, «Agricultura 4.0: desafíos y oportunidades para los Institutos Nacionales de Investigación Agropecuaria de América Latina y el Caribe | Publications,» Argentina, 2021.
- [42] H. Martínez García, «Sistema inteligente para la medida y monitorización en agricultura inteligente,» *SAAEI2018 - Libro de Actas*, pp. 250-256, 2018.
- [43] R. Aguayo, «Optimización del riego en cítricos mediante el monitoreo de suelo con sondas volumétricas basada en tecnología “Internet of Things” (IoT),»

Agriculture Production & AgTec, Valencia, 2018.

- [44] A. Jahnke, Las etapas de la arquitectura del IoT, julio 2020. [En línea]. Available: <https://es.digi.com/blog/post/the-4-stages-of-iot-architecture>. [Último acceso: Noviembre 2021].
- [45] E. O. D. CANTILLO, Artist, *ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS EN LA AGROINDUSTRIA COLOMBIANA PARA OPTIMIZAR Y AUMENTAR LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN*. [Art]. UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA, 2019.
- [46] M. Guimaraens, «nettra.tech,» 2020. [En línea]. Available: <https://nettra.tech/agricultura-4-0-y-sus-6-caracteristicas-principales/>. [Último acceso: Noviembre 2021].
- [47] A. Spray, Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://agrospray.com.ar/blog/agricultura-4-0/>. [Último acceso: Noviembre 2021].
- [48] F. a. A. Organization, «La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050,» vol. 2, nº 1, p. 4, 2009.
- [49] P. Lascano, «proain.com,» 2020. [En línea]. Available: <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/temperatura-factor-que-influye-en-la-asimilacion-de-calcio>. [Último acceso: Noviembre 2021].
- [50] I. C, «Intagri,» Efectos del Exceso de Humedad del Suelo en el Sistema Radical, 2019. [En línea]. Available: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/exceso-humedad-del-suelo-en-sistema-radical>. [Último acceso: Noviembre 2021].
- [51] A. P. Jorge Meza, «Manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas Prácticas Agrícolas,» de *Manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas Prácticas Agrícolas*, Paraguay, 2013, pp. 17-24.
- [52] L. Hora, «Tungurahua, una zona agrícola rica,» Junio 2008. [En línea]. Available: <https://lahora.com.ec/noticia/728608/tungurahua-una-zona-agrícola-rica>. [Último acceso: Diciembre 2021].
- [53] M. d. A. y. Ganadería, «Productores de mora participaron en la primera mesa técnica del cultivo,» Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/productores-de-mora-participaron-en-la-primera-mesa-tecnica-del-cultivo/>. [Último acceso: Noviembre 2021].
- [54] D. E. Universo, «El cultivo de mora mejora situación de fruticultores,» Octubre 2008. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/2008/10/22/0001/12/FCC62D0459E143E78252F3A25B476B72.html/>. [Último acceso: Noviembre 2021].
- [55] U. Electrónica, 2016. [En línea]. Available: <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-temperatura-lm35/>. [Último

acceso: 30 Noviembre 2021].

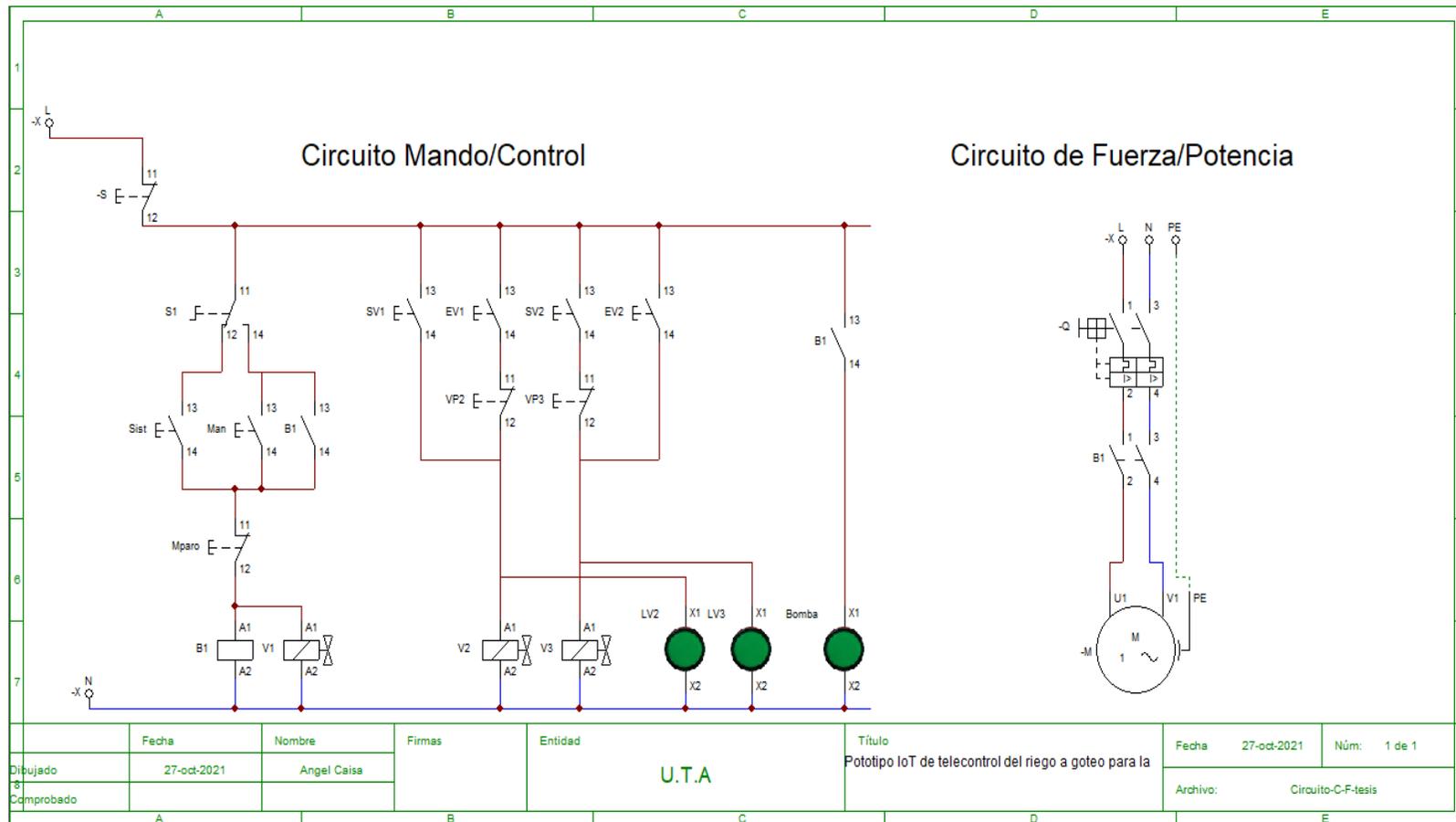
- [56] B. Geek, «BricoGeek,» 2020. [En línea]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/sensores-temperatura/510-sensor-ds18b20-estanco.html>. [Último acceso: Noviembre 2021].
- [57] M. Electrónica, «moviltronics.com,» 2020. [En línea]. Available: <https://moviltronics.com/tienda/sensor-yl69/>. [Último acceso: Noviembre 2021].
- [58] B. Geek, «tienda.bricogeek.com,» 2020. [En línea]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/home/526-sensor-de-humedad-am2302-dht22.html>. [Último acceso: Noviembre 2021].
- [59] A. Store, «store.arduino,» 2021. [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-micro>. [Último acceso: Diciembre 2021].
- [60] Arduino, «arduino.cc,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardProMini>. [Último acceso: Diciembre 2021].
- [61] D. Arduino, «descubrearduino,» Julio 2021. [En línea]. Available: <https://descubrearduino.com/arduino-nano-pinout/>. [Último acceso: 02 Diciembre 2021].
- [62] L. Products, «lilygo,» 2020. [En línea]. Available: http://www.lilygo.cn/prod_view.aspx?TypeId=50060&Id=1319&Fid=t3:50060:3. [Último acceso: 3 Diciembre 2021].
- [63] M. Electronics, «mcielectronics.cl,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.mcielectronics.cl/shop/product/modulo-wifi-lora-32-heltec-27575>. [Último acceso: 3 Diciembre 2021].
- [64] D. T. Co, «dragino.com,» Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.dragino.com/products/lora/item/102-lora-shield.html>. [Último acceso: 4 Diciembre 2021].
- [65] C. Peña, «Usos de Arduino,» de *Descubriendo Arduino*, Buenos Aires, RedUsers, 2020, pp. 34-36.
- [66] E. López, «Modelos y escudos Arduino,» de *Arduino. Guía práctica de fundamentos y simulación*, Madrid, Grupo Editorial RA-MA, 2016, pp. 92-99.
- [67] B. Iyer, «IoT based WiFi surveillance robot with real time audio and video Streaming,» de *Computing, Communication and Signal Processing: Proceedings of ICCASP 2018*, Singapur, Springer, 2018, p. 643.
- [68] M. d. Trabajo, «Sueldos y Salarios mínimos sectoriales,» Enero 2022. [En línea]. Available: <https://ecuadorec.com/tabla-de-salarios-minimos-sectoriales-nuevos-valores/>. [Último acceso: 2021].

[69] S. S.A, «Maestro.com,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.maestro.com.pe/hazlo-con-maestro/gasfiteria/cuantos-tipos-de-bombas-de-agua-hay>. [Último acceso: Diciembre 2021].

Anexos

Anexo A

Circuito de mando y fuerza del sistema de riego.



Anexo B

Programación del archivo .php para el ingreso de los valores sensados en la base de datos alojada en el servidor Ubuntu 18.04 en Amazon Web Service.

```
<?php
$servername = "localhost";
$dbname = "Tesis_terreno";
$username = "uno";
$password = "123";
$api_key_value = "tPmAT5Ab3j7F9";
$api_key= $sensor = $location = $value1 = $value2 = $value3 = "";
if ($_SERVER["REQUEST_METHOD"] == "POST") {
    $api_key = test_input($_POST["api_key"]);
    if($api_key == $api_key_value) {
        $sensor = test_input($_POST["sensor"]);
        $location = test_input($_POST["location"]);
        $value1 = test_input($_POST["value1"]);
        $value2 = test_input($_POST["value2"]);
        $value3 = test_input($_POST["value3"]);
        $conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
        if ($conn->connect_error) {
            die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
        }

        $sql = "INSERT INTO Sensorizacion (sensor, locacion, valor1,
valor2, valor3)
VALUES ('" . $sensor . "', '" . $location . "', '" . $value1 . "',
'" . $value2 . "', '" . $value3 . "')";

        if ($conn->query($sql) === TRUE) {
            echo "New record created successfully";
        }
    else {
        echo "Error: " . $sql . "<br>" . $conn->error;
    }

    $conn->close();
}
else {
    echo "Wrong API Key provided.";
}
}
```

```
else {  
    echo "No data posted with HTTP POST."  
}  
function test_input($data) {  
    $data = trim($data);  
    $data = stripslashes($data);  
    $data = htmlspecialchars($data);  
    return $data;  
}
```

Anexo C

Programación del archivo .php para realizar la bajada de datos en cargada de realizar la activación de los actuadores en el nodo lora actuador.

```
<?php
//Este Archivo sirve para subir los datos enviados desde seleccion.html a
base de datos
$servidor = "localhost";//base de datos
$nombreusuario = "root";//usuario
$password = "123";//clave
$db = "mediciones";//nombre de la base de datos
$conexión = new mysqli($servidor, $nombreusuario, $password, $db);
    if($conexión->connect_error){
        die("Conexión fallida: " . $conexión->connect_error);
    }
if(isset($_POST['id'])){ //función isset para poder recibir el metodo
POST
$llave = $_POST ['id'];
$sql ="INSERT INTO `seleccion` (`id`, `dato`) VALUES (NULL,'$llave)";
if($conexión->query($sql) === true){
    echo "LEER LA NOTIFICACIÓN DE ABAJO id =";
    echo $llave;
}else{
die("Error al actualizar datos: " . $conexión->error);
}
}

$conexión->close();
?>
```

Anexo D

Programación del nodo sensor, Shield Lora

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SoftwareSerial.h>

//-----
float Temperatura = 0;
const int pinDatosDQ = 5;
OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);
SoftwareSerial temperatura(8, 9); // RX, TX para la temperatura

//-----variables--humedad-----
int humpin = A1;
int hum = 0;
int hum1;
int pot = A0;

//-----variables--ph-----
float Pol;
float Po;
//int measure = analogRead(ph_pin);
double voltaje;
int measure;
int ph_pin = A2;
char LPP_data[8];

unsigned long int avgValue; //Store the average value of the sensor feedback
```

```

float b;
int buf[10],temp;
float pHValue;
//-----variables---temperatura--puerto--serie----
int temperatura1 = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  temperatura.begin(115200); //inicializo puerto serial temperatura
  sensorDS18B20.begin();
  while (!Serial);
  Serial.println("LoRa Sender");
  if (!LoRa.begin(915E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
}
void loop() {
  humedad();
  temperaturaDS18B20();
  PH();
  //send packet envío de la trama hacia el Gateway Lora.
  LoRa.beginPacket();
  LoRa.print("S ");
  LoRa.print(", ");
  LoRa.print(hum1);
  LoRa.print(", ");
  LoRa.print(Temperatura);
  LoRa.print(", ");
  LoRa.print(Pol);
  LoRa.endPacket();
  delay(5000);
}

```

```
}
```

```
void humedad () {  
  //Serial.println("Sending packet: ");  
  //Serial.println("Humedad %");  
  hum = analogRead(humpin);  
  hum1 = map(hum, 0, 1023, 100, 0); // convertir a porcentaje  
  Serial.print("/Humedad: ");  
  Serial.print(hum1);  
  Serial.print(",");  
  //delay(10);  
}
```

```
void PH () {  
  measure = analogRead(ph_pin);  
  voltaje = 5 / 1024.0 * measure;  
  Serial.print("/tvoltaje; ");  
  Serial.print(voltaje, 3);  
  float Po = (7 + ((2.5 - voltaje) / 0.18));  
  float Po = (7 + ((2.5 - voltaje) / 0.18));  
  float Valor_PH = -5.70 * voltaje + 21.34;  
  Serial.print("/PH: ");  
  Pol = Po * 1;  
  Serial.print(Valor_PH, 2);  
  Serial.print(Pol, 2);  
  Serial.print("");  
  delay(20);
```

```
}  
void temperaturaDS18B20 () {  
  temperatura.listen(); //borra lo que hay en el puerto serie temperatura para permitir  
  if (temperatura.read() == 'T') {  
    temperatura1 = temperatura.parseInt();  
  
  }  
  Serial.print("/temperatura");  
  Serial.println(temperatura1);  
  
}
```

Programación del nodo Gateway, Shield LoRa y nodeMCU ESP8266

Shield LoRa

```
/*-----GATEWAY LORA-----//
//-----UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO-----//
//-----FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELÉCTRONICA E
INDUSTRIAL-----//
//-----ANGEL DANIEL CAISA SÁNCHEZ-----
-----ING GEOVANNI BRITO MG.-----*/
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
//-----variable-----downlink---nodemCU--puerto--serie----
int actuador = 0;
//variables para recibir desde arduino
int item; //almacena el valor para el indice
int sensor1;
int sensor2;
float sensor3;//pH
String tiempo = "", dato1, codigo;
int cont = 0, cont1 = 1, cont2 = 1;
int dato1i;
boolean sw = false, inicio = false, fin = false;
//constantes para subir los datos
String str = "";
const char separator = ',';
const int dataLength = 4;
float data[dataLength];
//int data[dataLength];
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);
```

```

if (!LoRa.begin(915E6)) {
  Serial.println("Starting LoRa failed!");
  while (1);
}
}
void loop() {
  //nodoactuador ();
  txactuador();

  //-----Recepción de la trama de datos por LoRa y desconcatenación
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {
    // received a packet
    //Serial.print("Received packet ");

    // read packet
    if (LoRa.available()) {
      // Serial.print((char)LoRa.read());
      str = LoRa.readStringUntil('\n');
      for (int i = 0; i < dataLength ; i++)
      {
        int index = str.indexOf(separator);
        data[i] = str.substring(0, index).toFloat();
        //data[i] = str.substring(0, index).toInt();
        str = str.substring(index + 1);
      }
    }
  }
}

```

```

item = data[0]; //almacena el valor para el indice
sensor1 = data[1]; //almacena el primer valor de cualquier sensor que venga de
arduino
sensor2 = data[2]; //almacena el segundo valor que venga de arduino
sensor3 = data[3]; //almacena el segundo valor que venga de arduino
Serial.print(sensor1);
Serial.print(",");
Serial.print(sensor2);
Serial.print(",");
Serial.println(sensor3);
delay(1500);
}

//void nodoactuador () {
// nodemCU.listen(); //borra lo que hay en el puerto serie temperatura para permitir
// if (nodemCU.read() == 'A') {
// actuador = nodemCU.parseInt();
// Serial.println(actuador);
//
//}
//}

void txactuador(){
LoRa.beginPacket(); //Inicia la trama para envío dato de bajada nodo actuador
LoRa.print("R ");
LoRa.print(", ");
LoRa.print(actuador);
LoRa.print(", ");
LoRa.endPacket();
}

```

Código nodeMCU 8266

```
#ifndef ESP32
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#else
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <WiFiClient.h>
#endif
#include <Wire.h>

//-----
String strhost = "54.149.71.10"; //dirección del servidor googlecloud
char host[48];
const char* ssid = "NETLIFE-MOBILE TEAM";
const char* password = "@#$ .1717788986";
const char* serverName = "http://54.149.71.10/tesis/enviodb.php";

String apiKeyValue = "tPmAT5Ab3j7F9";

String sensorName = "Sensores de Suelo";
String sensorLocation = "Tisaleo";
//.....variables para recibir desde arduino gateway LoRa.....
int item; //almacena el valor para el indice
int valor1;
float valor2;
int valor3;
int humedad;
int temperatura;
float ph;
String tiempo = "", dato1, codigo;
int cont = 0, cont1 = 1, cont2 = 1;
```

```

int dato1i;
boolean sw = false, inicio = false, fin = false;
//.....

//-----variable-----downlink---nodemCU--puerto--serie----
float actuador = 0;
//constantes pra subir los datos
String str = "";
const char separator = ',';
const int dataLength = 4;
float data[dataLength];
//int data[dataLength];
//.....

void recibirdatos() {
    String linea = "error";
    WiFiClient clientdos;
    strhost.toCharArray(host, 49);
    if (clientdos.connect(host, 80)) {
        clientdos.print(String("GET ") + "/tesis/envio_nodemcu.php/" + "HTTP/1.1\r\n" +
"Host: " + strhost + "\r\n" + "Connection:close\r\n\r\n"); //GET request for server
response.
        unsigned long timeout = millis();
        while (clientdos.available() == 0)
        {
            if (millis() - timeout > 25000)
            {
                return;
            }
        }
    }
}

```

```

while (clientdos.available())
{
    char c = clientdos.read();
    if (inicio == true) codigo += c;
    if (c == '*') inicio = true;
    if (c == ';') inicio = false;
    fin = true;
}
if (fin) {
    int longitud = codigo.length();
    int posicion = codigo.indexOf("datos=");
    dato1 = "";
    for (int i = posicion + 6; i < longitud; i++) {
        if (codigo[i] == ';') i = longitud;
        dato1 += codigo[i];
    }
    fin = false;
    dato1i = dato1.toInt();
    Serial.println(dato1i);
    clientdos.stop();
}
codigo = "";
}
}

```

```

void rxgateway () {

    Serial.flush();
    if (Serial.available()) {
        // Serial.print((char)LoRa.read());
    }
}

```

```

str = Serial.readStringUntil('\n');
  for (int i = 0; i < dataLength ; i++)
  {
    int index = str.indexOf(separator);
    data[i] = str.substring(0, index).toFloat();
    //data[i] = str.substring(0, index).toInt();
    str = str.substring(index + 1);
  }

}
delay(100);
item = data[0]; //almacena el valor para el indice
valor1 = data[1]; //alamacena el primer valor de cualquier sensor que venga de
arduino
valor2 = data[2]; //alamcena el segundo valor que venga de arduino
//valor3 = data[3]; //alamcena el segundo valor que venga de arduino

Serial.print(valor1);
Serial.print(",");
Serial.print(valor2);
Serial.print(",");
Serial.println(valor3);
}

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.println("Connecting");
}

```

```

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("");
Serial.print("Connected to WiFi network with IP Address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

}

void loop() {
    recibirdatos();
    rxgateway ();
    transmicion

    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        WiFiClient client;
        HTTPClient http;
        http.begin(client, serverName);
        http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
        String httpRequestData = "api_key=" + apiKeyValue + "&sensor=" + sensorName
            + "&location=" + sensorLocation + "&value1=" + String(valor1)
            + "&value2=" + String(item) + "&value3=" + String(valor2) + "";
        // Serial.print("httpRequestData: ");
        //Serial.println(httpRequestData);
        delay(10000);
        int httpResponseCode = http.POST(httpRequestData);

        if (httpResponseCode > 0) {
            //Serial.print("HTTP Response code: ");

```

```

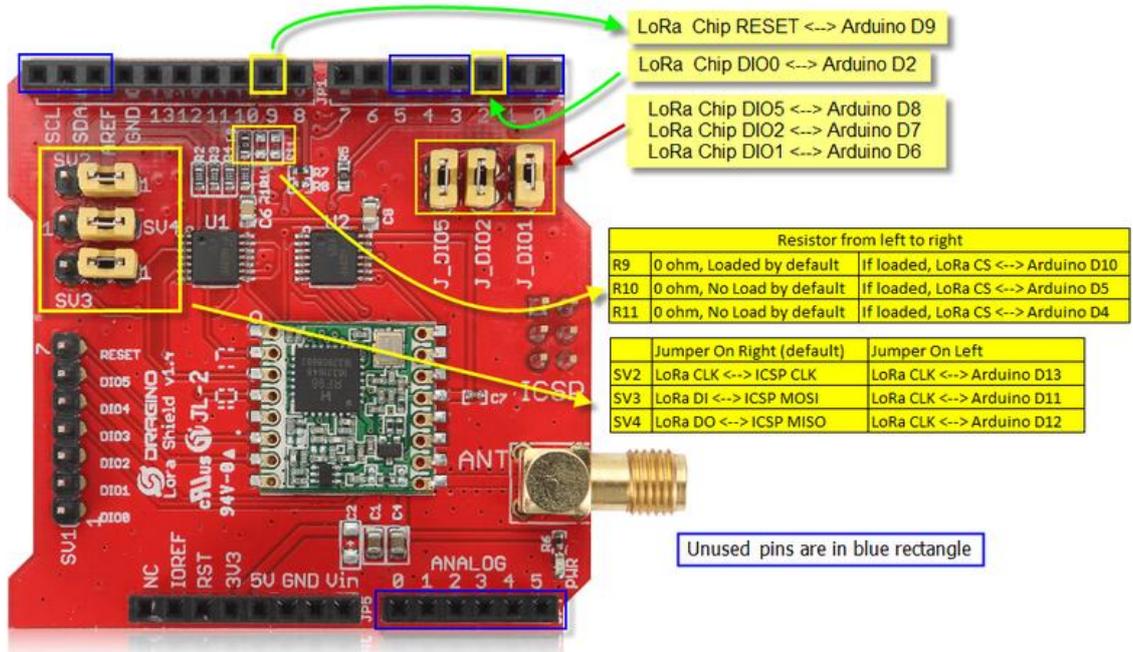
while (!Serial);
//Serial.println("LoRa Receiver");
if (!LoRa.begin(915E6)) {
  Serial.println("Starting LoRa failed!");
  while (1);
}
}
void loop() {
  // Recepción de los datos desde el gateway
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (Lora. Read() == "R"){
  if (packetSize) {
    //Serial.print("Received packet ");
    if (LoRa.available()) {
      str = LoRa.readStringUntil('\n');
      for (int i = 0; i < dataLength ; i++)
      {
        int index = str.indexOf(separator);
        //data[i] = str.substring(0, index).toFloat();
        data[i] = str.substring(0, index).toInt();
        str = str.substring(index + 1);
      }
    }
    item = data[0];
    actuador = data[1];
    Serial.println(actuador);
  }
  }
  if (actuador == 1){
    digitalWrite(bomba, LOW); // poner el Pin en HIGH
  }
}

```

```
delay(60000);
}
if(actuador == 2){
    digitalWrite(bomba, HIGH);
}
if (actuador == 3){
    digitalWrite(valvula1, LOW); // poner el Pin en HIGH
    delay(1000);
}
if(actuador == 4){
    digitalWrite(valvula1, HIGH);
}
if (actuador == 5){
    digitalWrite(valvula2, LOW); // poner el Pin en HIGH
    delay(1000);
}
if(actuador == 6){
    digitalWrite(valvula2, HIGH);
}
if (actuador == 7){
    digitalWrite(valvula3, LOW); // poner el Pin en HIGH
    delay(1000);
}
if(actuador == 8){
    digitalWrite(valvula3, HIGH);
}
}
```

Anexo G Shield LoRa

Pin Mapping For LoRa



Wireless Specifications of RFM95W

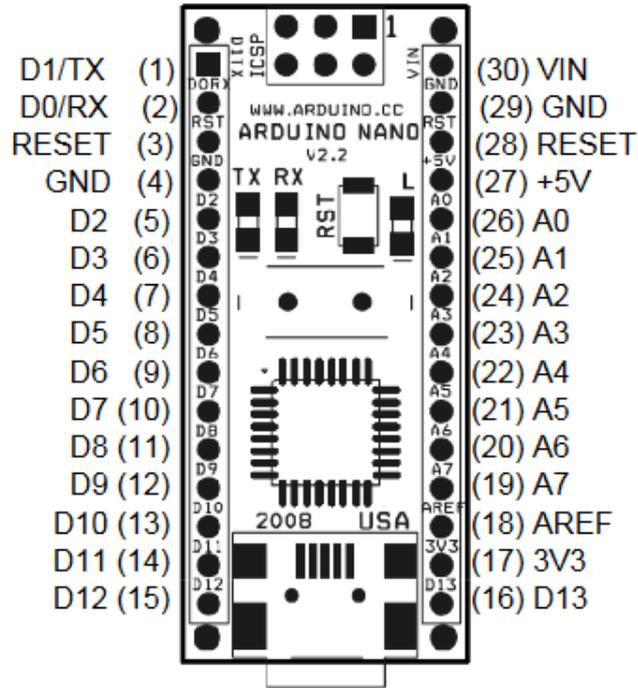
- 168 dB maximum link budget.
- +20 dBm - 100 mW constant RF output vs.
- +14 dBm high efficiency PA.
- Programmable bit rate up to 300 kbps.
- High sensitivity: down to -148 dBm.
- Bullet-proof front end: IIP3 = -12.5 dBm.
- Excellent blocking immunity.
- Low RX current of 10.3 mA, 200 nA register retention.
- Fully integrated synthesizer with a resolution of 61 Hz.
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM and OOK modulation.
- Built-in bit synchronizer for clock recovery.
- Preamble detection.
- 127 dB Dynamic Range RSSI.
- Automatic RF Sense and CAD with ultra-fast AFC.
- Packet engine up to 256 bytes with CRC.
- Built-in temperature sensor and low battery indicator.

Features

- Compatible with 3.3v or 5v I/O Arduino Board.
- Frequency Band: 915 MHZ/868 MHZ/433 MHZ (Pre-configure in factory)
- Low power consumption
- Compatible with **Arduino Leonardo, Uno, Mega, DUE**
- External Antenna via I-Pex connector

Anexo H

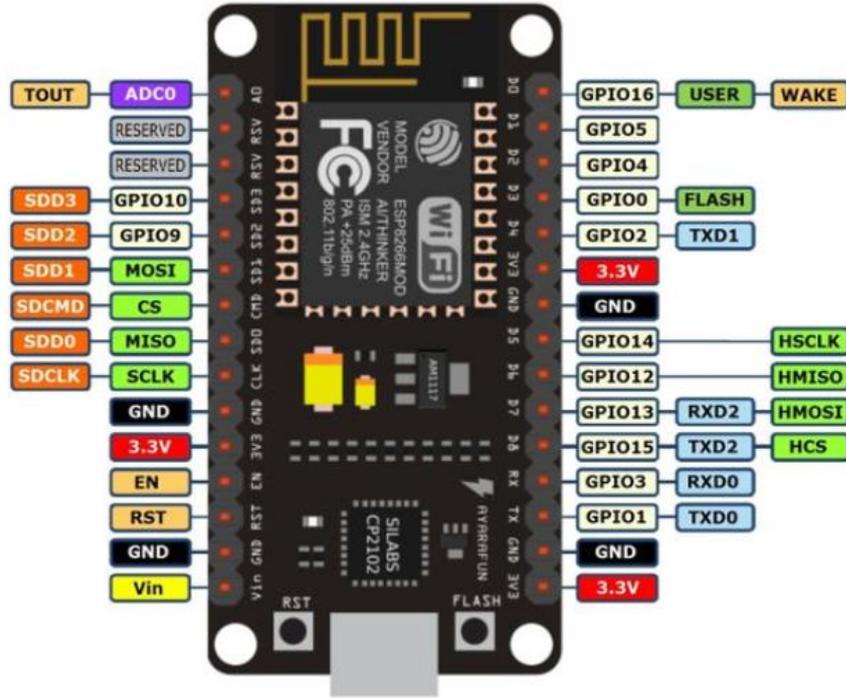
Arduino Nano



Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A7-A0	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

Anexo I

nodeMCU 8266



In the ESP8266 firmware for the Arduino IDE pin numbers are defined as follows:

Pin Name on the Board	Function	Pin Number in Arduino IDE	Alias Name in Arduino IDE
D3	GPIO 0	0	D3
TX	GPIO 1	1	D10
D4	GPIO 2	2	D4
RX	GPIO 3	3	D9
D2	GPIO 4	4	D2
D1	GPIO 5	5	D1
D6	GPIO 12	12	D6
D7	GPIO 13	13	D7
D5	GPIO 14	14	D5
D8	GPIO 15	15	D8
D0	GPIO 16	16	D0, LED_BUILTIN
A0	ADC0	A0	analog_ip

Anexo J

Sensor DS18B20

PRELIMINARY



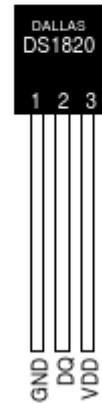
DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire[®] Digital Thermometer

www.dalsemi.com

FEATURES

- Unique 1-Wire interface requires only one port pin for communication
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Zero standby power required
- Measures temperatures from -55°C to +125°C. Fahrenheit equivalent is -67°F to +257°F
- $\pm 0.5^\circ\text{C}$ accuracy from -10°C to +85°C
- Thermometer resolution is programmable from 9 to 12 bits
- Converts 12-bit temperature to digital word in 750 ms (max.)
- User-definable, nonvolatile temperature alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

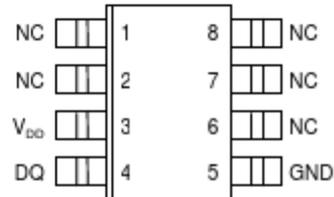
PIN ASSIGNMENT



BOTTOM VIEW



DS18B20 To-92
Package



DS18B20Z
8-Pin SOIC (150 mil)

PIN DESCRIPTION

- GND - Ground
- DQ - Data In/Out
- V_{DD} - Power Supply Voltage
- NC - No Connect

DESCRIPTION

The DS18B20 Digital Thermometer provides 9 to 12-bit (configurable) temperature readings which indicate the temperature of the device.

Information is sent to/from the DS18B20 over a 1-Wire interface, so that only one wire (and ground) needs to be connected from a central microprocessor to a DS18B20. Power for reading, writing, and performing temperature conversions can be derived from the data line itself with no need for an external power source.

Because each DS18B20 contains a unique silicon serial number, multiple DS18B20s can exist on the same 1-Wire bus. This allows for placing temperature sensors in many different places. Applications where this feature is useful include HVAC environmental controls, sensing temperatures inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control.

Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground-0.5V to +6.0V
 Operating Temperature Range.....-55°C to +125°C

Storage Temperature Range.....-55°C to +125°C
 Solder Temperature.....Refer to the IPC/JEDEC
 J-STD-020 Specification.

These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

DC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C; $V_{DD} = 3.0V$ to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{DD}	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		V_{DD}	
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-30°C to +100°C			±1	
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	V_{IL}	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	V_{IH}	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	I_L	$V_{IO} = 0.4V$	4.0			mA
Standby Current	I_{DDS}	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	I_{DD}	$V_{DD} = 5V$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	I_{DQ}	(Note 10)		5		µA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

Note 1: All voltages are referenced to ground.

Note 2: The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU} . In order to meet the V_{IH} spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: $V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$.

Note 3: See typical performance curve in [Figure 1](#). Thermometer Error limits are 3-sigma values.

Note 4: Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

Note 5: To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{ILMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.

Note 6: Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

Note 7: Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3µA at +125°C.

Note 8: To minimize I_{DDS} , DQ should be within the following ranges: $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$ or $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$.

Note 9: Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

Note 10: DQ line is high ("high-Z" state).

Note 11: Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with $V_{DD} = 5.5V$.

Anexo K

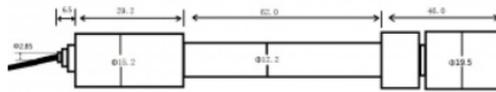
Sensor pH

PH meter(SKU: SEN0161)

Introduction

Need to measure water quality and other parameters but haven't got any low cost pH meter? Find it difficult to use with Arduino? Here comes an analog pH meter, specially designed for Arduino controllers and has built-in simple, convenient and practical connection and features. It has an LED which works as the Power Indicator, a BNC connector and PH2.0 sensor interface. You can just connect the pH sensor with BNC connector, and plug the PH2.0 interface into any analog input on Arduino controller to read pH value easily.

Specification



SEN0161 dimension

- Module Power: 5.00V
- Circuit Board Size: 43mm×32mm
- pH Measuring Range: 0-14
- Measuring Temperature: 0-60 °C
- Accuracy: ± 0.1 pH (25 °C)
- Response Time: ≤ 1 min
- pH Sensor with BNC Connector
- PH2.0 Interface (3 foot patch)
- Gain Adjustment Potentiometer
- Power Indicator LED

pH Electrode Characteristics

The output of pH electrode is Millivolts, and the pH value of the relationship is shown as follows (25 °C):

VOLTAGE (mV)	pH value	VOLTAGE (mV)	pH value
414.12	0.00	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.80	12.00
236.64	3.00	-236.64	11.00
177.48	4.00	-177.48	10.00
118.32	5.00	-118.32	9.00
59.16	6.00	-59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

Anexo L

Cuadro de evapotranspiración ET_0 de la Sierra

Evapotranspiración de referencia de la sierra ecuatoriana

En el cuadro siguiente se presentan los valores de ET_0 de cada una de las provincias de la Sierra, calculados por el INAMHI¹⁵.

Provincia	Carchi	Imbabura	Pichincha	Cotopaxi	Tungurahua	Chimborazo	Cañar	Bolívar	Azuay	Loja
Estación	San Gabriel	Atuntaqui	Izobamba	Cotopaxi	Ambato	Riobamba	Cañar	Chillanes	Paute	Argelia
Latitud	00°36'N	00°20'N	00°22'N	00°38'N	01°15'S	00°39'S	02°33'S	01°59'S	02°47'S	04°02'S
Longitud	77°57'W	78°13'W	78°33'W	78°34'W	78°37'W	78°39'W	78°56'W	79°04'W	78°44'W	79°12'W
Altitud	3055	2200	3058	3560	2680	2760	3083	2330	2289	2160
Método	Harg-Penman	Harg-Penman	Tanque A	Harg-Penman	Harg-Penman	Harg-Penman	Penman	Harg-Penman	Harg-Penman	Penman
Ene	67	80	79	47	82	93	79	56	94	84
Feb	63	75	70	46	74	85	69	55	86	80
Mar	68	82	72	49	81	90	77	59	93	85
Abr	66	77	65	47	75	85	72	56	87	80
May	65	79	69	47	72	82	71	59	85	80
Jun	60	79	86	44	66	78	69	58	78	77
Jul	60	88	115	45	67	81	77	63	80	88
Ago	63	92	114	49	74	86	83	65	84	92
Sep	65	89	96	47	77	86	82	65	88	89
Oct	70	84	79	48	83	92	80	69	96	91
Nov	65	78	76	47	81	91	77	67	93	89
Dic	67	79	80	48	82	92	79	64	95	87

Anexo M

Tabla de constante Kc para cálculo de la ETc



ANNEX 1

Crop coefficients for different growing stages

	Growing stage			
	Initial	Development	Mid	Late
Bananas	1.00	1.00	1.00	1.00
Barley	0.30	0.73	1.15	0.25
Cassava	0.60	0.85	1.10	0.90
Citrus	0.75	0.75	0.75	0.75
Coconut	1.00	1.00	1.00	1.00
Cocoa	1.00	1.00	1.00	1.00
Coffee	1.00	1.00	1.00	1.00
Cotton	0.35	0.78	1.20	0.60
Fibres	0.35	0.68	1.00	0.60
Fodder	0.40	0.70	1.00	0.90
Fruit	0.75	0.75	0.75	0.75
Groundnut	0.40	0.78	1.15	0.60
Maize	0.30	0.75	1.20	0.60
Millet	0.30	0.65	1.00	0.30
Oil crops	0.35	0.75	1.15	0.35
Other cereals	1.00	1.00	1.00	1.00
Other root crops	1.00	1.00	1.00	1.00
Palm	1.00	1.00	1.00	1.00
Plantain	1.00	1.00	1.00	1.00
Potatoes	0.50	0.83	1.15	0.75
Pulses	0.40	0.78	1.15	0.55
Rapeseed	0.35	0.73	1.10	0.35
Rice	1.20	1.15	1.10	0.80
Rubber	1.00	1.00	1.00	1.00
Sesame	0.35	0.73	1.10	0.25
Sorghum	0.30	0.70	1.10	0.55
Soybean	0.40	0.78	1.15	0.50
Sugar beet	0.35	0.78	1.20	0.70
Sugarcane	1.00	1.00	1.00	1.00
Sweet potatoes	1.00	1.00	1.00	1.00
Sunflower	0.35	0.73	1.10	0.35
Tea	1.05	1.05	1.05	1.05
Tobacco	0.50	0.85	1.20	0.80
Vegetables	0.60	0.85	1.10	0.90
Wheat	0.40	0.78	1.15	0.30

Anexo N

Tabla con los valores censados de acuerdo a la frecuencia de riego.

Día N°1 de riego

Conforme al resultado del tiempo de riego tuvimos que regar un total de 94 minutos por día de riego y al ser que las muestras se las realizan cada 5 minutos tenemos un total de 18 muestras durante el tiempo en que se realiza el riego.

N°	Temperatura °C	Humedad %	pH	Fecha
1	16	53	5,67	2022-01-03 18:37:00
2	16	56	5,70	2022-01-03 18:52:00
3	16	57	5,68	2022-01-03 18:57:00
4	16	59	5,70	2022-01-03 19:02:00
6	16	64	5,70	2022-01-03 19:07:00
7	16	67	5,68	2022-01-03 19:12:00
8	16	71	5,69	2022-01-03 19:17:00
9	16	73	5,70	2022-01-03 19:22:00
10	14	74	5,67	2022-01-03 19:27:00
11	14	74	5,71	2022-01-03 19:32:00
12	13	77	5,68	2022-01-03 19:37:00
13	14	79	5,71	2022-01-03 19:42:00
14	14	81	5,71	2022-01-03 19:47:00
15	13	81	5,73	2022-01-03 19:52:00
16	13	83	5,71	2022-01-03 19:57:00
17	14	84	5,74	2022-01-03 20:02:00
18	13	86	5,68	2022-01-03 20:07:00
19	13	86	5,70	2022-01-03 20:12:00
20	13	86	5,70	2022-01-03 20:17:00
21	12	87	5,70	2022-01-03 20:22:00
22	12	87	5,68	2022-01-03 20:27:00
23	12	84	5,69	2022-01-03 20:32:00
24	12	84	5,70	2022-01-03 20:37:00
25	12	84	5,67	2022-01-03 20:42:00
26	12	84	5,71	2022-01-03 20:47:00
27	12	84	5,68	2022-01-03 20:52:00
28	12	84	5,71	2022-01-03 20:57:00
29	13	84	5,71	2022-01-04 06:02:00
30	13	84	5,73	2022-01-04 06:07:00
31	14	84	5,71	2022-01-04 06:12:00
32	13	81	5,74	2022-01-04 06:17:00
33	13	81	5,68	2022-01-04 06:22:00
34	13	81	5,71	2022-01-04 06:27:00
35	12	81	5,69	2022-01-04 06:32:00
36	12	81	5,66	2022-01-04 06:37:00
37	12	80	5,68	2022-01-04 06:42:00

38	12	80	5,68	2022-01-04 06:47:00
39	12	80	5,70	2022-01-04 06:52:00
40	12	80	5,70	2022-01-04 06:57:00
41	13	80	5,70	2022-01-04 07:02:00
42	13	80	5,68	2022-01-04 07:07:00
43	13	80	5,69	2022-01-04 07:12:00
44	13	80	5,70	2022-01-04 07:17:00
45	13	80	5,67	2022-01-04 07:22:00
46	13	80	5,71	2022-01-04 07:27:00
47	13	80	5,68	2022-01-04 07:32:00
48	13	80	5,71	2022-01-04 07:37:00
49	13	79	5,71	2022-01-04 07:42:00
50	13	79	5,73	2022-01-04 07:47:00
51	14	79	5,71	2022-01-04 07:52:00
52	14	79	5,74	2022-01-04 07:57:00

Día N°2 de riego

N°	Temperatura °C	Humedad %	pH	Fecha
1	15	74	5,69	2022-01-05 18:37:00
2	15	75	5,70	2022-01-05 18:52:00
3	16	74	5,67	2022-01-05 18:57:00
4	16	76	5,71	2022-01-05 19:02:00
6	16	76	5,68	2022-01-05 19:07:00
7	16	77	5,71	2022-01-05 19:12:00
8	16	79	5,71	2022-01-05 19:17:00
9	16	81	5,73	2022-01-05 19:22:00
10	15	81	5,71	2022-01-05 19:27:00
11	15	83	5,74	2022-01-05 19:32:00
12	13	84	5,68	2022-01-05 19:37:00
13	14	84	5,70	2022-01-05 19:42:00
14	14	85	5,70	2022-01-05 19:47:00
15	13	87	5,70	2022-01-05 19:52:00
16	13	87	5,71	2022-01-05 19:57:00
17	14	88	5,74	2022-01-05 20:02:00
18	13	89	5,68	2022-01-05 20:07:00
19	13	90	5,70	2022-01-05 20:12:00
20	13	89	5,70	2022-01-05 20:17:00
21	12	88	5,70	2022-01-05 20:22:00
22	12	87	5,68	2022-01-05 20:27:00
23	12	87	5,69	2022-01-05 20:32:00
24	12	87	5,70	2022-01-05 20:37:00
25	12	87	5,67	2022-01-05 20:42:00
26	12	87	5,71	2022-01-05 20:47:00
27	12	86	5,68	2022-01-05 20:52:00
28	12	87	5,71	2022-01-05 20:57:00
29	13	81	5,71	2022-01-06 06:02:00

30	13	81	5,73	2022-01-06 06:07:00
31	14	80	5,71	2022-01-06 06:12:00
32	13	80	5,74	2022-01-06 06:17:00
33	13	81	5,71	2022-01-06 06:22:00
34	13	81	5,74	2022-01-06 06:27:00
35	12	81	5,68	2022-01-06 06:32:00
36	12	81	5,70	2022-01-06 06:37:00
37	12	80	5,70	2022-01-06 06:42:00
38	12	80	5,70	2022-01-06 06:47:00
39	11	80	5,68	2022-01-06 06:52:00
40	11	80	5,69	2022-01-06 06:57:00
41	12	80	5,70	2022-01-06 07:02:00
42	13	79	5,67	2022-01-06 07:07:00
43	13	79	5,71	2022-01-06 07:12:00
44	13	79	5,68	2022-01-06 07:17:00
45	13	80	5,71	2022-01-06 07:22:00
46	12	80	5,71	2022-01-06 07:27:00
47	12	80	5,71	2022-01-06 07:32:00
48	13	80	5,74	2022-01-06 07:37:00
49	13	78	5,68	2022-01-06 07:42:00
50	13	79	5,70	2022-01-06 07:47:00
51	13	79	5,70	2022-01-06 07:52:00
52	14	80	5,72	2022-01-06 07:57:00

Día N°3 de riego

N°	Temperatura °C	Humedad %	pH	Fecha
1	16	72	5,69	2022-01-07 18:37:00
2	16	74	5,70	2022-01-07 18:52:00
3	16	74	5,67	2022-01-07 18:57:00
4	16	74	5,71	2022-01-07 19:02:00
6	16	76	5,68	2022-01-07 19:07:00
7	16	77	5,71	2022-01-07 19:12:00
8	16	79	5,71	2022-01-07 19:17:00
9	16	80	5,73	2022-01-07 19:22:00
10	15	81	5,71	2022-01-07 19:27:00
11	15	82	5,74	2022-01-07 19:32:00
12	13	84	5,68	2022-01-07 19:37:00
13	14	84	5,70	2022-01-07 19:42:00
14	14	85	5,70	2022-01-07 19:47:00
15	13	85	5,70	2022-01-07 19:52:00
16	13	87	5,71	2022-01-07 19:57:00
17	14	88	5,74	2022-01-07 20:02:00
18	13	90	5,68	2022-01-07 20:07:00
19	13	90	5,70	2022-01-07 20:12:00
20	13	88	5,70	2022-01-07 20:17:00
21	12	88	5,70	2022-01-07 20:22:00

22	12	87	5,68	2022-01-07 20:27:00
23	12	87	5,69	2022-01-07 20:32:00
24	12	87	5,70	2022-01-07 20:37:00
25	12	87	5,67	2022-01-07 20:42:00
26	12	87	5,71	2022-01-07 20:47:00
27	12	87	5,68	2022-01-07 20:52:00
28	12	87	5,71	2022-01-07 20:57:00
29	13	86	5,71	2022-01-08 06:02:00
30	13	86	5,73	2022-01-08 06:07:00
31	14	86	5,71	2022-01-08 06:12:00
32	13	81	5,74	2022-01-08 06:17:00
33	13	81	5,71	2022-01-08 06:22:00
34	13	81	5,74	2022-01-08 06:27:00
35	12	81	5,68	2022-01-08 06:32:00
36	12	81	5,70	2022-01-08 06:37:00
37	12	80	5,70	2022-01-08 06:42:00
38	12	80	5,70	2022-01-08 06:47:00
39	12	80	5,68	2022-01-08 06:52:00
40	12	80	5,69	2022-01-08 06:57:00
41	13	80	5,70	2022-01-08 07:02:00
42	13	79	5,67	2022-01-08 07:07:00
43	13	79	5,71	2022-01-08 07:12:00
44	13	80	5,68	2022-01-08 07:17:00
45	13	80	5,71	2022-01-08 07:22:00
46	13	80	5,71	2022-01-08 07:27:00
47	13	80	5,71	2022-01-08 07:32:00
48	13	80	5,74	2022-01-08 07:37:00
49	13	79	5,68	2022-01-08 07:42:00
50	13	79	5,70	2022-01-08 07:47:00
51	13	79	5,70	2022-01-08 07:52:00
52	14	80	5,72	2022-01-08 07:57:00

Día N°4 de riego

N°	Temperatura °C	Humedad %	pH	Fecha
1	18	77	5,70	2022-01-09 18:37:00
2	18	77	5,70	2022-01-09 18:52:00
3	17	79	5,70	2022-01-09 18:57:00
4	17	79	5,71	2022-01-09 19:02:00
6	17	80	5,74	2022-01-09 19:07:00
7	17	80	5,68	2022-01-09 19:12:00
8	17	82	5,70	2022-01-09 19:17:00
9	16	84	5,70	2022-01-09 19:22:00
10	15	85	5,67	2022-01-09 19:27:00
11	15	85	5,71	2022-01-09 19:32:00

12	15	87	5,68	2022-01-09 19:37:00
13	14	89	5,71	2022-01-09 19:42:00
14	14	90	5,71	2022-01-09 19:47:00
15	13	91	5,73	2022-01-09 19:52:00
16	13	91	5,71	2022-01-09 19:57:00
17	14	90	5,74	2022-01-09 20:02:00
18	13	91	5,71	2022-01-09 20:07:00
19	13	90	5,74	2022-01-09 20:12:00
20	13	89	5,68	2022-01-09 20:17:00
21	12	89	5,70	2022-01-09 20:22:00
22	12	87	5,70	2022-01-09 20:27:00
23	12	87	5,69	2022-01-09 20:32:00
24	12	87	5,70	2022-01-09 20:37:00
25	12	87	5,67	2022-01-09 20:42:00
26	12	87	5,71	2022-01-09 20:47:00
27	12	87	5,68	2022-01-09 20:52:00
28	12	87	5,70	2022-01-09 20:57:00
29	13	83	5,71	2022-01-10 06:02:00
30	13	83	5,70	2022-01-10 06:07:00
31	14	82	5,71	2022-01-10 06:12:00
32	13	82	5,70	2022-01-10 06:17:00
33	13	82	5,71	2022-01-10 06:22:00
34	13	82	5,74	2022-01-10 06:27:00
35	12	81	5,68	2022-01-10 06:32:00
36	12	81	5,71	2022-01-10 06:37:00
37	12	80	5,70	2022-01-10 06:42:00
38	12	80	5,70	2022-01-10 06:47:00
39	12	80	5,68	2022-01-10 06:52:00
40	12	80	5,69	2022-01-10 06:57:00
41	13	80	5,71	2022-01-10 07:02:00
42	13	79	5,67	2022-01-10 07:07:00
43	14	79	5,71	2022-01-10 07:12:00
44	14	81	5,68	2022-01-10 07:17:00
45	13	80	5,70	2022-01-10 07:22:00
46	13	80	5,71	2022-01-10 07:27:00
47	14	80	5,71	2022-01-10 07:32:00
48	14	80	5,74	2022-01-10 07:37:00
49	14	79	5,78	2022-01-10 07:42:00
50	14	79	5,72	2022-01-10 07:47:00
51	13	81	5,70	2022-01-10 07:52:00
52	14	80	5,70	2022-01-10 07:57:00

Anexo O

Dispositivo Gateway LoRa instalado

