


**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

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

**CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**Tema:**

# SISTEMA IOT DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE TOMATE RIÑÓN EN LA ZONA DEL CANAL DE SALCEDO

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

**ÁREA:** Comunicaciones

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Tecnología de la información y Sistemas de control

**AUTOR:** Cristian Orlando Chimba Amaya

**TUTOR:** Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg.

**Ambato - Ecuador**

**febrero - 2025**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: SISTEMA IOT DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE TOMATE RIÑÓN EN LA ZONA DEL CANAL DE SALCEDO, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Cristian Orlando Chimba Amaya, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, 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 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, febrero 2025.

Firmado electrónicamente por:
JUAN PABLO PALLO NORONA

---

Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg.
TUTOR

## AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema: SISTEMA IOT DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE TOMATE RIÑÓN EN LA ZONA DEL CANAL DE SALCEDO es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2025.



---

Cristian Orlando Chimba Amaya

C.C. 0503627382

AUTOR

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, febrero 2025.



---

Cristian Orlando Chimba Amaya

C.C. 0503627382

AUTOR

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor Cristian Orlando Chimba Amaya, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA IOT DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE TOMATE RIÑÓN EN LA ZONA DEL CANAL DE SALCEDO, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con el señor Presidente del Tribunal.

Ambato, febrero 2025.

Firmado electrónicamente por:
FRANKLIN OSWALDO MAYORGA MAYORGA

---

Ing. Franklin Oswaldo Mayorga Mayorga, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ELIZABETH PAULINA AYALA BANO

Firmado digitalmente por ELIZABETH PAULINA AYALA BANO
DN: cn=ELIZABETH PAULINA AYALA BANO c=EC o=SECURITY DATA S.A. 2 ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION
Motivo:Soy el autor de este documento
Ubicaci- n:
Fecha:2025-02-07 11:27-05:00

---

Ing. Paulina Ayala Baño Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

Firmado electrónicamente por:
MARTHA ESPERANZA SEVILLA ABARCA

---

Ing. Martha Sevilla Abarca PhD.
PROFESOR CALIFICADOR

## DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado a mi familia, especialmente a mi mami Rosario, que a pesar de las adversidades que paso a lo largo de su vida supo cómo encaminarnos por el camino del bien, de la mejor forma que se puede enseñar; que es con el ejemplo, ella supo enfocarse tanto en sus hijos dejando su bienestar por el nuestro y es por eso que el fruto de este trabajo se lo dedico a ella.*

*C. Chimba*

## AGRADECIMIENTO

*Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que formaron parte de mi aprendizaje a lo largo de estos años en mi vida universitaria como son mis padres, que me apoyaron de todas las maneras posibles y estuvieron ahí cuando los necesitaba, en especial a mi madre por esas malas noches que madrugaba para que yo fuera desayunando a la U. A mis compañeros y amigos que nos preparábamos y apoyábamos para los exámenes, especialmente en los temas que desconocía, porque de esa manera se adquiría más conocimientos que en ocasiones en clases y pueda culminar mi carrera. A aquellos maestros que desinteresadamente se tomaron un tiempo fuera de horario para enseñarme o darme un concejo cuando lo requería y finalmente a Pao y Janna que me enseñaron la paciencia y la perseverancia, y que en cada circunstancia adversa a nuestros planes siempre existe algo que aprender y es primordial para nuestro crecimiento.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

**PORTADA** ..... **i**

**APROBACIÓN DEL TUTOR** ..... **ii**

**AUTORÍA** ..... **iii**

**DERECHOS DE AUTOR** ..... **iv**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO** ..... **v**

**DEDICATORIA** ..... **vi**

**AGRADECIMIENTO** ..... **vii**

**ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS** ..... **viii**

**ÍNDICE DE TABLAS** ..... **xi**

**ÍNDICE DE FIGURAS** ..... **xii**

**ÍNDICE DE ANEXOS** ..... **xiv**

**RESUMEN EJECUTIVO** ..... **xvi**

**ABSTRACT** ..... **xvii**

**CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO** ..... **1**

1.1 Tema de investigación ..... 1

1.1.1 Planteamiento del problema ..... 1

1.2 Antecedentes investigativos ..... 2

1.3 Fundamentación teórica ..... 5

1.3.1 Agricultura de precisión ..... 5

1.3.2 Tomate…..... 7

1.3.3 Automatización de riego en la agricultura ..... 10

1.3.4 Herramientas de comunicación ..... 15

1.3.5 Sistemas de riego hidropónicos..... 17

1.3.6 Dosificación del agua en hidroponía. ..... 18

1.3.7 Sistema de cultivo hidropónico abierto sin recuperación de drenaje ..... 19

1.4 Objetivos ..... 22

1.4.1 Objetivo general ..... 22

**CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....23**

2.1 Materiales ..... 23

2.2 Métodos ..... 24

2.2.1 Modalidad de la investigación ..... 24

2.2.2 Recolección de información..... 24

2.2.3 Procesamiento y análisis de datos ..... 25

**CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 26**

3.1 Análisis del estado actual del sistema de riego. ..... 26

3.2 Requerimientos y desarrollo del sistema..... 26

3.2.1 Requerimientos del sistema de riego para el tomate de riñón..... 26

3.2.2 Requerimiento de los parámetros para el sistema de riego. ..... 29

3.3 Desarrollo de la propuesta..... 29

3.3.1 Arquitectura del Sistema ..... 29

3.3.2 Selección de dispositivos ..... 31

3.3.3 Diseño del invernadero ..... 33

3.3.4 Diseño del sistema de control y monitoreo de riego. ..... 34

3.3.5 Desarrollo, configuración e implementación del Sistema ..... 36

3.3.6 Sistema de alimentación ..... 41

3.3.7 Pruebas de funcionamiento ..... 42

3.4 Presupuesto ..... 54

**CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 58**

4.1 Conclusiones ..... 58

4.2 Recomendaciones ..... 59

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 60**

**ANEXOS ..... 67**

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de sensores de temperatura y humedad. ..... 11

Tabla 2. Comparación sensores de humedad. ..... 12

Tabla 3. Comparación sensores de pH. ..... 12

Tabla 4. Comparación sensores de microcontroladores ..... 13

Tabla 5. Comparación de electroválvulas. ..... 14

Tabla 6. Comparación sensores de conductividad eléctrica. ..... 15

Tabla 7. Cuadro comparativo herramientas de comunicación. ..... 16

Tabla 8. Características físicas de la fibra de coco utilizada en el experimento como medio de cultivo. ..... 20

Tabla 9. Características químicas de diferentes sustratos. ..... 21

Tabla 10. Características de hardware y software. ..... 23

Tabla 11. Criterios de recolección de información. ..... 24

Tabla 12. Variables físicas del sistema de riego eficiente. ..... 29

Tabla 13. Potencia consumida del sistema de riego. ..... 42

Tabla 14. Datos obtenidos de los diferentes sensores en la mañana. ..... 50

Tabla 15. Análisis estadísticos de datos de la mañana. ..... 51

Tabla 16. Datos obtenidos de los diferentes sensores en la tarde. ..... 52

Tabla 17 Análisis estadísticos de datos en la tarde. ..... 53

Tabla 18. Presupuesto de materiales. ..... 56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general del proceso de agricultura de precisión aplicado a un cultivo..... 6

Figura 2. Sistema de riego hidropónico. ..... 17

Figura 3. Sustrato de fibra de coco..... 20

Figura 4. Arquitectura del sistema de riego IoT. ..... 30

Figura 5. Servidor del sistema..... 32

Figura 6. IP del servidor..... 33

Figura 7. Diseño del invernadero. ..... 33

Figura 8. Sistema de riego..... 34

Figura 9. Esquema global del sistema de riego. ..... 36

Figura 10. Pasos de la instalación del servidor. ..... 37

Figura 11. IP y datos técnicos del servidor. ..... 37

Figura 12. Complemento de Virtual Visual Code..... 38

Figura 13. Conexión del servidor con Visual Code. ..... 38

Figura 14. Configuración en modo privilegiado. ..... 38

Figura 15. Versiones instaladas de nodejs y npm. ..... 39

Figura 16. Node-red ..... 39

Figura 17. Diagrama de conexión con la ESP32. ..... 40

Figura 18. Diagrama de conexión con la ESP32. ..... 40

Figura 19. Diagrama general del sistema de riego. ..... 41

Figura 20. Porcentaje de humedad. ..... 43

Figura 21. Tablero de conexión. ..... 43

Figura 22. Tablero de conexión, vista frontal. ..... 44

Figura 23. Sensor de temperatura..... 44

Figura 24. Sensor de Humedad. ..... 45

Figura 25. Tanque de almacenamiento. ..... 45

Figura 26. Datos de los sensores de temperatura, EC, pH y humedad. ..... 46

Figura 27. Codificación por bloque es Node-Red..... 46

Figura 28. Codificación para el envío del agua..... 47

Figura 29. Conexión de bloques Node-Red a Telegram. ..... 47

Figura 30. Notificaciones en Telegram. ..... 48

Figura 31. Comparación de los resultados del sistema ..... 54

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. sensor de pH. con su respectivo controlador. ..... 67

Anexo B. Sensor de conductividad eléctrica..... 68

Anexo C. Datos técnicos de las conexiones del sensor de humedad ..... 69

Anexo D. Conexiones del módulo ESP32 ..... 70

Anexo E. Medidas de la electroválvula..... 72

Anexo F. Sustrato de Coco..... 73

Anexo G. Tomate con el sistema de riego. ..... 74

Anexo H. Planta de tomate iniciando la cosecha. ..... 75

Anexo I. Instalación del sensor de humedad. ..... 76

Anexo J. Conexión del tanque a la electroválvula. ..... 77

Anexo K. Diagrama de conexión de la ESP32. ..... 78

Anexo L. Caja de conexión de los sensores hacia la ESP32. ..... 79

Anexo M. Tanque de almacenamiento de agua. ..... 80

Anexo N. Tanque de agua y nutrientes en funcionamiento. ..... 81

Anexo O. Datos de humedad, temperatura, EC y Ph. ..... 82

Anexo P. Fichero para consultar los datos de todos los sensores. ..... 82

Anexo Q. Control manual del agua y nutrientes. ..... 83

Anexo R. Codificación en Arduino IDE para establecer la conexión con los sensores. ..... 83

Anexo S. Codificación por bloques en Node-Red. ..... 91

Anexo T. Codificación para establecer la condición del paso de agua y nutrientes. . 93

Anexo U. Entrevista. ..... 94

## RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo de investigación, se implementó un sistema automatizado para el control y monitoreo del riego en invernaderos de tomate riñón, el cual aborda la necesidad de optimizar el uso del agua en la agricultura mediante la implementación de tecnología IoT. Este proyecto nace debido a la creciente escasez de agua y mejorar la productividad del tomate riñón, en la Zona del Canal del cantón Salcedo. El sistema utiliza un servidor en database MART para gestionar datos que se han desarrollado, el cual integra sensores para medir variables como humedad del suelo y temperatura, así actuadores como las electroválvulas que regula la dosificación de agua mediante un sistema de goteo, además, incluye un dashboard en Node-red que permite la monitorización en tiempo real y la toma de decisiones automatizadas. La implementación se centró en probar diferentes dosis de agua de acuerdo con la fenología en que se encuentra la planta de tomate riñón para optimizar el crecimiento y la calidad del tomate. Se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema de riego, que logró el regadío de agua uniformemente debido al control que se tiene de la humedad. Las pruebas realizadas en el invernadero de tomate riñón indicaron que el sistema es beneficioso debido a que existe un adecuado control de la dosis del agua evita que se presente enfermedades relacionadas por la carencia o exceso como botritis y pudrición de raíz respectivamente y de esta manera el crecimiento de la planta es el adecuado y se obtiene una mayor producción de tomate.

**Palabras clave:** IoT, dosificación, riego hidropónico, agricultura de precisión, database MART.

## ABSTRACT

In this research work, an automated system for irrigation control and monitoring in tomato greenhouse farming was implemented, addressing the need to optimize water use in agriculture through IoT technology. This project was developed in response to the increasing water scarcity and the aim to improve the productivity of tomato crops in the Zona del Canal of the canton Salcedo.

The system uses a server hosted on database MART to manage the developed data, integrating sensors to measure variables such as soil moisture and temperature, along with actuators like solenoid valves that regulate water dosing through a drip irrigation system. Additionally, it includes a Node-RED dashboard for real-time monitoring and automated decision-making.

The implementation focused on testing different water doses according to the phenological stage of the tomato plants to optimize growth and quality. Functionality tests of the irrigation system were carried out, achieving uniform water distribution due to effective soil moisture control. Tests conducted in the tomato greenhouse indicated that the system is beneficial, as proper water dosage control prevents diseases related to water deficiency or excess, such as botrytis and root rot. As a result, the plants achieved optimal growth, leading to higher tomato production.



**Keywords:** IoT, dosing, hydroponic irrigation, precision agriculture, database MART.

# CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Tema de investigación

SISTEMA IOT DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE TOMATE RIÑÓN EN LA ZONA DEL CANAL DE SALCEDO

### 1.1.1 Planteamiento del problema

La disponibilidad de recursos hídricos en Centro y Sudamérica, e incluso a nivel mundial, sigue reduciéndose progresivamente debido a la contaminación o por los desastres naturales ya que existe menos agua apta para el consumo humano y también para el riego según organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura mediante un estudio con el programa Aquastat compilando información relevante sobre el uso del agua en la agricultura y en zonas rurales dando cifras alarmantes que cada vez existe menos cantidad de agua apta para la agricultura y que directamente o indirectamente afecta al agricultor o al consumidor final por el precio de los productos. [1]

El Ministerio de ambiente mediante el plan de riesgo y drenaje aborda aspectos importantes relacionados con el sistema del riego en el Ecuador especialmente en los porcentajes estadísticos aplicable a ciertos tipos de riego como son: riego por aspersión, riego por inundación entre otros, lo que implica que el impacto económico y la producción de alimentos en el Ecuador dado que se relaciona con el grave cambio climático que va a depender de las cantidades de agua utilizada para la agricultura van a aumentar o disminuir, lo que afecta en el consumidor final de ciertos productos que se dan en la zona rural del Ecuador. [2]

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos mediante las tabulaciones de la encuesta de superficie y producción agropecuaria continua ha dado a conocer el área utilizado para ciertos productos a nivel nacional dividiéndolos por regiones, provincias y ciudades. El cual da a conocer el porcentaje de tierras cultivables utilizadas para el cultivo de tomate riñón siendo 174 hectáreas con una producción de 4431 toneladas de tomate en la provincia de Cotopaxi que se obtienen anualmente, siendo uno de los productos agrícolas más comercializables y más demandados en la mesa de los cotopaxenses. Añadiendo que

esto dependerá la economía alimentaria del productor, personas intermediarias hasta llegar a los consumidores finales. [3]

La carencia o sobre alimentación con agua de los productos de cultivo del tomate riñón puede ocasionar durante el desarrollo el aparecimiento de algunas enfermedades como por ejemplo por la falta de agua en la etapa de floración puede presentarse la enfermedad de bortritis y de la misma manera por la sobrealimentación puede desarrollarse pudrición de tallo o fruto. El desconocimiento de la cantidad de agua requerida en cada etapa del cultivo como son: el crecimiento, la floración y cuaje del fruto puede ocasionar un mayor tiempo para el cuidado y mayor recurso económico debido además de presentar falencias como enfermedades, crecimiento inapropiado el cual va a requerir más inversión para tener una producción óptima. [2] [3]

La distribución desigual del caudal en los diferentes sistemas de riego utilizados en plantaciones de hortalizas y vegetales puede generar un crecimiento irregular en los cultivos, favoreciendo a algunas plantas más que a otras durante su desarrollo y floración Debido a esto puede opacar a algunas plantas aislándolos y tapándolos de la luz solar lo que es necesario para el eficiente desarrollo y disminuya la fotosíntesis lo que afectara en el tamaño y producción de la planta. [2] [3]

### 1.2 Antecedentes investigativos

En base a investigaciones como artículos, proyectos de investigación y papers que se relacionan a sistema IOT de riego para el cultivo de tomate riñón con el objetivo de sustentar de manera bibliográfica al proyecto.

El estudio titulado "Modular Design Methodology for Production Systems" fue realizado por los autores Luis Espinosa Llanos, Juan Antonio Castro Silva y Andrés Anaya Isaza en el año 2019. La investigación se llevó a cabo en la Universidad Surcolombiana, Colombia. Utilizó una metodología de diseño modular aplicada en sistemas de producción, empleando tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) para desarrollar sistemas automatizados de riego. Se integraron sensores y actuadores controlados mediante una aplicación web, utilizando el Servicio de Autenticación y Autorización de Java (JAAS) para la gestión de la base de datos, junto con algoritmos de encriptación

MD5 para la seguridad de la información. Los resultados obtenidos incluyeron el desarrollo de un sistema de riego automatizado eficiente y de bajo costo, adecuado para su uso en el sector agrícola del departamento de Huila, Colombia. El sistema permitió un uso más racional y eficiente del agua, crucial en épocas de sequía, y demostró ser una herramienta viable para mejorar la producción agrícola y minimizar las pérdidas por escasez de agua. [4]

En el proyecto de investigación "Diseño de un sistema inteligente para el control automatizado de invernaderos", de Nydia Salazar, en el año 2020 en México, realizó un el cual implementó un prototipo automatizado hibrido (energía eléctrica y energía fotovoltaica) para cultivo de hortalizas dentro de un invernadero, utilizando la tarjeta electrónica Arduino mega para controlar el sistema mediante la obtención de los datos de los sensores: de la humedad relativa (DHT11), temperatura (DHT12), intensidad de la luz (fotorresistor LDR), humedad del suelo (hidrómetro FC-28) y la presión atmosférica (barométrico BMP-2810) para la activación de los actuadores (ventiladores y motores); además utilizo un sistema fotovoltaico para la suministración de energía. La monitorización de las variables lo realizó mediate una aplicación móvil desarrollada en App inventor. Consiguiendo así un sistema automático y acondicionado para invernaderos de bajo costo y de energía renovables. [5]

En el proyecto investigativo de "Prototipo IOT de telecontrol del riego a goteo para la agricultura inteligente con tecnología LORA". Ángel Caisa, en el año 2022 en Ecuador, se desarrolló un riego a goteo para la agricultura inteligente con tecnología Lora" las cuenta con sensorización para adquirir los datos de la temperatura, humedad y PH del suelo, también un nodo con puerta de enlace el que recibe los datos del nodo de sensorización y trasmite hacia un servidor alojándose en una máquina virtual Ubuntu server y visualizarlos en una dashboard del nodo de red mediante una interfaz web para la monitorización y control de los actuadores. De esa manera que termina la monitorización de los valores de los sensores y realizar el control de los actuadores en la etapa de goteo con el nodo actuador, donde se reciben los datos que son enviados desde la interfaz en Node-Red hacia la puerta de enlace, y de éste al nodo actuador que permite accionar la electroválvula que está conectada a la bomba de agua y las electroválvulas pertenecientes a los sectores en donde se realiza el riego, además se envía una alerta en caso de que la humedad del cultivo baje mediante un mensajes a Telegram. Este sistema

monitorea en tiempo real las variables de humedad, temperatura y pH, facilitando la gestión remota y la toma de decisiones para el accionamiento de los actuadores. Un uso moderado del agua permite la producción en épocas de escasez de lluvia o sequía, reduciendo la necesidad de personal para la gestión del riego. El prototipo se desarrolló utilizando hardware y software libre disponibles en el mercado nacional e internacional. [6]

El estudio titulado "Utilización de sensores IoT para la automatización de sistemas de riego" fue realizado por los autores Lenín Gustavo Viera Molina y Cristian Orlando Guilcaso Molina en el año 2023. La investigación se llevó a cabo a través de una revisión de literatura, sin una ubicación específica mencionada. Utilizó tecnologías como sensores de humedad del suelo, plataformas Arduino/Raspberry Pi y protocolos inalámbricos como Bluetooth y Zigbee para la automatización del riego. Los resultados muestran que las soluciones IoT accesibles pueden reducir el uso de agua entre un 20% y 40% en comparación con métodos temporizados. Estas tecnologías promueven la modernización y el uso sostenible del agua en la agricultura, adaptándose a las necesidades locales. [7]

En el proyecto investigativo “Sistema de control y monitoreo de riego, purificación de aire y fumigación para la plantación de tomate riñón en invernaderos mediante dispositivos IOT en la agropecuaria San Miguel de Salcedo” de Alex Dario Satuquinga, en el año 2023 en Ecuador, se desarrolló sistema de control y monitoreo de riego, purificación de aire y fumigación cuenta con sensorización para adquirir los datos de la temperatura, humedad, PH del suelo, CO2 y luz. Para la fase de gestión y visualización, toma los eventos controlados a través de una plataforma IoT creada en Home Assistant en conjunto a los servicios de ESPHome que son complementos del servidor para el seguimiento de las variables de medición mediante un dashboard, configurado dentro de la plataforma, La fase de riego, se acciona automáticamente cuanto la humedad del suelo sea inferior al 50% para mantener la siembra en condiciones óptima y la fase de fumigación utilizando aspersores que se activa una vez cada 15 días y cuando detecta mosco blanco a través de válvulas y el bombeo de los insecticidas para contrarrestar los daños que genere la plaga. Comunicación WIFI Sistema de ventilación, controla el nivel de CO2 que se encuentra en el ambiente gracias a los extractores de aire y los motores que eleva las cortinas para la circulación de aire fuera del invernadero. La implementación de un sistema de control y monitoreo de riego, purificación de aire y fumigación para la

plantación de tomate riñón en invernaderos mediante dispositivos IoT permite tecnificar el cultivo, mejorando las condiciones para el crecimiento del fruto y evitando pérdidas. Este sistema beneficia directamente a los productores y, de manera indirecta, a los distribuidores de fertilizantes y a la economía del cantón Salcedo y sus alrededores. [8]

## 1.3 Fundamentación teórica

### 1.3.1 Agricultura de precisión

La agricultura de precisión, en la Figura 1 es una técnica que utiliza diversas tecnologías para gestionar la variabilidad espacial y temporal en los campos agrícolas, con el objetivo de optimizar la productividad y reducir el impacto ambiental. Entre las herramientas más comunes en este ámbito se encuentran los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los sensores remotos. Estos sistemas permiten monitorear las condiciones del suelo, aplicar insumos de manera precisa y evaluar el rendimiento en tiempo real según E. C. Mantovani y C. Magdalena. [9] [10] [11]

Las etapas de la agricultura de precisión se dividen en varios procesos clave que permiten una gestión más eficiente de los recursos en la producción agrícola. A continuación, se describen las principales etapas según el documento "Manual Agricultura de Precisión": [9] [11] [12]

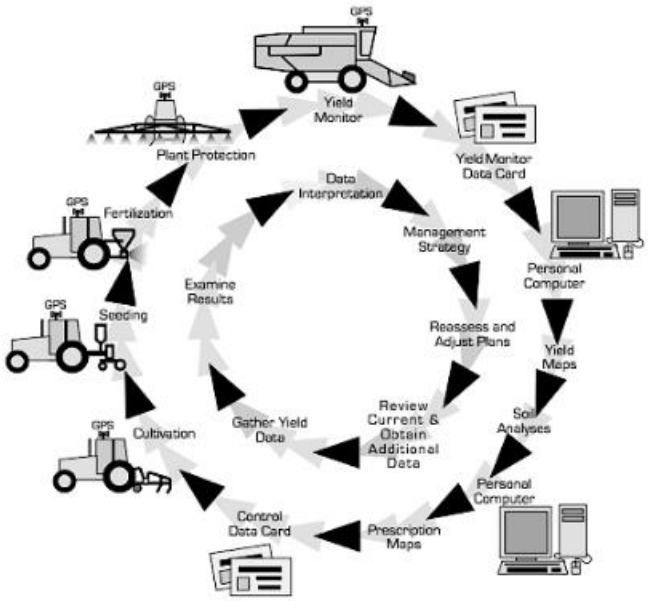



Figura 1. Esquema general del proceso de agricultura de precisión aplicado a un cultivo. [10]

- **Adquisición de Datos**: Esta etapa implica la recopilación de información sobre las condiciones del campo, utilizando herramientas como GPS, sensores remotos y drones. Los datos georreferenciados incluyen información sobre el suelo, los cultivos y el clima.

- **Procesamiento de Datos**: Los datos adquiridos son procesados y analizados mediante herramientas de sistemas de información geográfica (SIG). Este análisis ayuda a crear mapas de rendimiento y de variabilidad dentro del campo.

- **Toma de Decisiones**: Basado en el análisis de los datos, los agricultores pueden tomar decisiones más informadas sobre cómo y dónde aplicar insumos como fertilizantes, pesticidas y agua, para optimizar los recursos y mejorar la productividad.

- **Implementación**: Se ejecutan las decisiones a través de equipos agrícolas inteligentes, que permiten la aplicación precisa de insumos según las necesidades específicas de cada área del campo.

- **Monitoreo y Evaluación**: Finalmente, se monitorean los resultados de las decisiones implementadas y se evalúan las mejoras en el rendimiento, ajustando las estrategias a lo largo del tiempo

### 1.3.2 Tomate

El tomate riñón también conocido como tomate de mesa (Solanum lycopersicumL.) es una de las hortalizas más importantes debido a su papel principal en la canasta familiar. Esta hortaliza es una fuente rica en nutrientes tales como potasio, fósforo y calcio, además de aportar vitaminas B, E y C. Adicionalmente contiene el antioxidante llamado licopeno, el cual es conocido como un agente protector contra el cáncer. Tenemos algunos tipos de tomate que se comercializan en los diferentes mercados del Ecuador como: eterey, mateus, cita, damarys, daniela, red, dynamo, titan, cherry y pietro que es cultivado en la sierra céntrica del país. [13] [14]

***a. Fenología del cultivo de tomate pietro.***

La fenología del tomate riñón es el estudio de las etapas de desarrollo de la planta, desde la germinación hasta la maduración del fruto. Este proceso incluye fases clave como fase de establecimiento y fase de producción detallado a continuación:

- ***Fase de establecimiento (0 a 70 días después del trasplante - DDT)***

Durante esta fase, se mide la altura de la planta y el diámetro del tallo. Los estudios realizados indican que no hubo diferencias significativas entre los híbridos evaluados (Pietro F1 y Mateus 7370) en cuanto al uso de agua y crecimiento inicial, lo que significa que ambos híbridos respondieron de manera similar a los coeficientes de cultivo (Kc) evaluados. La eficiencia hídrica durante esta fase es comparable, lo que sugiere que no hubo competencia significativa entre las plantas en esta etapa temprana del crecimiento. Este periodo es clave para el establecimiento del sistema radicular y el desarrollo de la estructura básica de la planta. ***[15] [16]***

- ***Fase de producción (71 a 153 días después del trasplante - DDT):*** En esta fase, se evaluaron variables como el número de flores, frutos, peso de los frutos y rendimiento total. A diferencia de la fase de establecimiento, en esta etapa hubo diferencias estadísticas notables entre los híbridos. El híbrido Pietro F1 mostró un mejor rendimiento bajo el coeficiente de cultivo (Kc) de 1.1, con un promedio de 9.1 frutos por planta y un rendimiento de 101 toneladas por hectárea (t/ha). Esto indica que el híbrido Pietro responde mejor a un mayor aporte hídrico, lo que se refleja en un mayor número de frutos

por planta, un mayor peso de los frutos y, en general, un mejor rendimiento. En comparación, el híbrido Mateus presentó un rendimiento más bajo bajo el Kc de 0.6, pero su respuesta a condiciones de riego deficitario sugiere que es más eficiente en el uso del agua, lo que lo hace más adecuado para condiciones de estrés hídrico. ***[15] [16]***

### *b. Transplante*

El trasplante de las plantas de tomate riñón se recomienda realizar después de 35 días desde la siembra, una vez que las plantas alcanzaron una altura de 15 cm y presentaban tres hojas verdaderas, lo que se considera un momento adecuado para este procedimiento. El trasplante debe hacerse preferiblemente al atardecer, cuando el calor ha disminuido y el viento es más suave. Es importante mantener la profundidad del trasplante similar a la del semillero, luego del trasplante, se recomienda regar con aproximadamente 0.5 litros por planta para asegurar una buena adaptación al nuevo entorno. [17] [18]

### *c. Riego*

Según INIFAP, el tiempo y frecuencia del riego está en función del tipo de sustrato, tamaño de la plántula y del medio ambiente del invernadero, generalmente un riego al día es suficiente, sin embargo, en etapas avanzadas y en condiciones de alta temperatura, es necesario aplicar dos riegos al día. [17]

El subsuperficial mediante vasos comunicantes, el cual presenta una serie de ventajas significativas, especialmente en términos de eficiencia en el uso del agua y ahorro de costos. Se evaluó el consumo de agua en dos tipos de sustratos: arena y una mezcla de arena con cascarilla de arroz. Se midió el consumo de agua para el tomate, resultando en un promedio de 322 ml por planta con el sustrato de arena y 272 ml con la mezcla de arena y cascarilla de arroz. [17] [19]

El riego en el sistema de vasos comunicantes permitió una distribución uniforme del agua, y la frecuencia de riego variaba según las condiciones climáticas y las necesidades de la planta, con una reposición al reservorio cada 2 a 4 días, aumentando en los meses de mayor temperatura dentro del invernadero. [19] [20]

### *d. Temperatura*

La temperatura óptima para el desarrollo del tomate se encuentra entre los 20°C como promedio óptimo, y las temperaturas mínimas que afectan los procesos de transpiración, fotosíntesis y germinación de las plantas son por debajo de 8°C, lo cual puede detener el crecimiento del tomate [21] [22]

Además, para el cuajado de frutos, la temperatura máxima durante el día debe ser de 32°C, mientras que para la producción del pigmento rojo (licopeno), la temperatura óptima es de 30°C, y para la producción de caroteno, la temperatura puede llegar hasta 40°C. [21] [22]

### *e. Humedad relativa*

La humedad relativa óptima para el cultivo del tomate oscila entre el 60% y 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades fungosas en el follaje, agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se apelmaza, abortando parte de las flores. La presencia de una humedad relativa baja en el invernadero también afecta la fecundación, ya que el polen se reseca demasiado, lo que dificulta la fijación del polen al estigma de la flor. [20] [23] [24]

### *f. PH*

El pH mide la acidez o alcalinidad de una solución nutritiva, lo que influye directamente en la disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. Un pH menor a 6 puede causar deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio, mientras que un pH mayor a 8 afecta la absorción de boro, zinc y cobre, elementos cruciales para el crecimiento. Por eso, es fundamental mantener el pH de la solución en un rango óptimo, generalmente entre 5.5 y 6.5, para garantizar un desarrollo saludable. [25] [26]

### *g. Conductividad eléctrica*

La conductividad eléctrica específica mide la capacidad de una solución para conducir electricidad y se expresa como el inverso de la resistencia en ohmios entre dos caras de un cubo de 1 cm de lado sumergido en la solución. Se mide en siemens (S), y para soluciones diluidas se utiliza el miliSiemens (mS), equivalente a una milésima parte de

un siemens. La CE es clave en el riego del tomate riñón, ya que asegura un balance adecuado de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, previniendo estrés osmótico causado por valores de CE muy altos o muy bajos. [25] [26]

Además, la CE debe ajustarse según las etapas del cultivo: entre 1.5-2.0 mS/cm en crecimiento inicial, 2.0-2.5 mS/cm en floración y 2.5-3.5 mS/cm en maduración. El rango general recomendado es de 2.0-4.0 mS/cm, dependiendo de la calidad del agua, el sistema de riego y las condiciones ambientales. [26] [27]

### 1.3.3 Automatización de riego en la agricultura

Existe varias tecnologías utilizadas para el control y automatización del riego, que incluyen:

- **Sistema de Riego por Pivote Central**: Uno de los sistemas más utilizados en la agricultura tradicional de riego. Está diseñado para aplicar agua de forma eficiente, utilizando motores eléctricos o de aceite hidráulico para guiar las torres del pivote, logrando una eficiencia del 85% al 98%. [12]

- **Riego Variable por Zonas**: Existen marcas como Canlink 3000 y Valley Zone Control que permiten ajustar las cargas de agua según las características del suelo y las necesidades de los cultivos. Este sistema detecta la variabilidad del suelo mediante sensores y genera una segmentación para aplicar riego diferenciado. [12]

- **Riego por Sectores Angulares**: Esta técnica ajusta los ángulos de riego según la topografía del terreno y la variabilidad del suelo. Es altamente eficiente en la aplicación precisa de agua en áreas específicas del campo, optimizando el recurso hídrico. [12]

- **Sensores de Humedad del Suelo**: Utiliza tecnologías como Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR) y la Reflectometría en el Dominio de la Frecuencia (FDR) para medir la humedad del suelo en tiempo real, lo que permite ajustar los sistemas de riego de manera precisa y oportuna. [12]

### *a. Comparación de las características de sensores y actuadores utilizadas para un sistema de riego.*

A continuación, se detalla en las siguientes tablas una comparación de los distintos sensores y actuadores que se utilizó en el proyecto de investigaciones, las cuales se eligió mediante una comparación y análisis del mejor dispositivo tomando en cuenta su eficiencia y costo para que abastezca las necesidades del siguiente sistema de riego.

- ***Sensores de temperatura y humedad***

En la Tabla 1 se presenta una comparación de temperatura y humedad de varios sensores con sus respectivas características Estos ayuda al monitoreo principalmente de la temperatura en el interior del invernadero para verificar si la temperatura se encuentre acorde al rango de la planta de tomate.

Tabla 1. Comparación de sensores de temperatura y humedad. [28] [29]

| **Parámetros técnicos** | **KY-015** | **DHT22** | **HDC1080** |
|---|---|---|---|
| Voltaje de operación | 3V – 5V | 3V – 6V DC | 3.3V – 5V |
| Corriente de operación | 0.5mA – 2.5mA | 2.5mA | 2.5mA |
| Rango de medición de Temperatura | 0°C – 50°C | -40°C – 80°C | -40°C – 125°C |
| Precisión de medición de temperatura | ±0.2°C | < ±0.5°C | ±0.2°C |
| Rango de medición de Humedad | 20% A 90% RH | 0 a 100% RH | 0 a 100% RH |
| Precisión de medición de humedad | ±5% | 2% - 5% | ±2% |
| Tiempo de sensado | 1 seg | 2 seg | 2 seg |
| Alcance de medición | 2m | 2m | 2m |
| Costo | $8,00 | $9,50 | $13,00 |

- ***Sensores de humedad***

En la Tabla 2 se presenta una comparación de temperatura y humedad de varios sensores con sus respectivas características, estos sensores son esenciales debido que de estos depende que se suministre la cantidad de agua necesario para el desarrollo de la planta.

Tabla 2. Comparación sensores de humedad. [30] [31]

| **Parámetros técnicos** | **Sensor capacitivo v1.2** | **Sensor FC-28** | **Sensor YL-38** |
|---|---|---|---|
| Sensor | Capacitivo | Resistivo | Resistivo |
| Voltaje de operación | 3.3V – 5V DC | 3.3V – 5V DC | 3.3V – 5VDc |
| Voltaje de señal de salida análoga | 0 a 3.3 VCC | 0 a VCC | 0 a VCC |
| Corriente | 10 a 20 mA | 15 a 20 mA | 15 a 20 mA |
| Alcance de medición | 1m – 10m | 1m – 2m | 1m – 4m |
| Error | ±3-5% | ±10-15% | ±10-15% |
| Costo | $4,50 | $8,00 | $25,00 |

- ***Sensores de pH***

En la Tabla 3 se presenta una comparación de los sensores de pH con sus respectivas características, estos sensores ayuda a medir la acidez o alcalinidad del agua que consume el tomate, ya que es necesario un pH neutro para que exista un mejor consumo de los nutrientes existentes en la tierra o sustrato.

Tabla 3. Comparación sensores de pH. [32] [33] [34]

| **Características** | **SEN0161 (DFRobot)** | **Atlas Scientific EZO-pH** | **PH4502C** |
|---|---|---|---|
| Rango de medición | 0 - 14 pH | 0 - 14 pH | 0 - 14 pH |
| Precisión | ± 0.1 pH | ± 0.002 pH | ± 0.1 pH |
| Voltaje de operación | 5V | 3.3V - 5V | 5V |
| Interfaz | Analógica | UART, I2C | Analógica |
| Corriente | 10-15 mA | 20-25 mA | 10-15 mA |
| Temperatura de operación | 0 - 60 °C | 0 - 60 °C | 0 - 80 °C |
| Calibración | Manual (solución de calibración) | Automatizada o manual (3 puntos) | Manual (1 o 2 puntos) |
| Compatibilidad | Arduino, Raspberry Pi | Múltiples plataformas (Arduino, Raspberry Pi, etc.) | Arduino, otros microcontroladores |
| Costo aproximado | Bajo (económico) | Medio-alto (más caro) | Muy bajo (económico) |

- ***Microcontroladores***

En la Tabla 4 se presenta una comparación de los microcontroladores con sus respectivas características, estos microcontroladores ayudan a control de datos, conectividad

mediante WIFI y control de dispositivos, donde ira conectada todos los sensores y actuadores.

Tabla 4. Comparación sensores de microcontroladores [35]

| **Parámetros técnicos** | **Arduino UNO**  | **Nodemcu ESP8266**  | **Nodemcu Esp32**  |
|---|---|---|---|
| CPU | ATMega328P | Tensilica Xtensa Single-Core 32-bit L106 | Tensilica Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 |
| Memoria | Eeprom: 1Kbyte RAM: 32 Kbyte SRAM: 2 Kbyte | ROM: 448 Kbyte RAM: 64 Kbyte SRAM: 8 Kbyte | ROM: 448 Kbyte RAM: 520 Kbyte SRAM: 16 Kbyte |
| Chip USB-Serial | ATMega328P | CP106 | CP2102 |
| Voltaje de alimentación | 5V DC | 5V DC | 5V DC |
| Corriente de operación | 20mA | 80mA | 80mA |
| Frecuencia de Reloj | 16MHZ | 80 MHz | 400MHz |
| Pines GPIO | 14 | 16 | 24 |
| Tecnología | Serial | Wifi | Wifi Bluetooth |
| Costo | $12,00 | $12,00 | $15,00 |

- ***Electroválvulas***

En la Tabla 5 se presenta una comparación de las electroválvulas con sus respectivas características, el cual es el encargado de habilitar el flujo de agua acorde al porcentaje humedad enviada desde el sensor.

Tabla 5. Comparación de electroválvulas. [36]

| Parámetros técnicos | Electroválvula 12V  | Electroválvula 110V  |
|---|---|---|
| Material | Polietileno | Cobre |
| Voltaje de Funcionamiento | 12 V | 110V |
| Modo de operación | Acción directa normalmente cerrado | Acción directa normalmente cerrado |
| Tamaño de puerto | 1/2” | 1/2” |
| Corriente | 0,5 mA | 0,2 mA |
| Presión de salida | 2.9 psi – 116 psi | 0 – 145 psi |
| Temperatura de Operación | -5°C – 60°C | -5°C – 80°C |
| Costo | $15,00 | $5,00 |

- ***Sensor de conductividad eléctrica***

En la Tabla 6 se presenta una comparación de los sensores de conductividad eléctrica utilizada para comprobar la cantidad de nutrientes disuelta en la tierra o sustrato para que las plantas reciban los nutrientes esenciales en concentraciones adecuadas para un crecimiento y desarrollo óptimo.

Tabla 6. Comparación sensores de conductividad eléctrica. [37] [38] [39]

| **Parámetros técnicos** | **DFRobot Medidor Analógico de Alta Conductividad** | **Atlas Scientific Conductivity K 1.0** | **Sensorex CS150** |
|---|---|---|---|
| Modelo | Medidor Analógico de Gravedad | Conductivity Kit K 1.0 | CS150 |
| Constante de celda (K) | K = 10 | K = 1.0 | K = 0.1 o K = 1.0 |
| Rango de medición | 0 - 100 mS/cm | 0 - 200 mS/cm | 0 - 50 mS/cm (K=1.0) / 0 - 1 mS/cm (K=0.1) |
| Precisión | ±5% | ±2% | ±2% |
| Voltaje de operación | 3 - 5 V | 3.3 - 5 V | 5 - 24 V DC |
| Salida | Señal analógica | UART/I2C | Salida analógica o Modbus |
| Corriente de operación | 5 mA | 1 mA | 5 mA |
| Temperatura de operación | 0 - 40 °C | 0 - 50 °C | 0 - 60 °C |
| Aplicaciones | Soluciones de alta conductividad, monitoreo simple | Agricultura, acuicultura, monitoreo de calidad del agua | Tratamiento de agua, aplicaciones industriales |
| Precio aproximado | $30 - $40 USD | $150 - $200 USD | $250 - $400 USD |

### 1.3.4 Herramientas de comunicación

En la Tabla 7 se realiza un análisis de las herramientas de comunicación en IoT (Internet de las Cosas) como protocolos, tecnologías y plataformas que permiten la transmisión de datos entre sensores, dispositivos, servidores y dashboards. Estas herramientas son clave para la eficiencia, seguridad y conectividad en sistemas IoT.

Tabla 7. Cuadro comparativo herramientas de comunicación. [40] [41] [42]

| **Categoría** | **Herramienta/ Protocolo** | **Función Específica** | **Ventajas** | **Desventajas** |
|---|---|---|---|---|
| Comunicación Inalámbrica | Wi-Fi | Transmisión de datos entre sensores, actuadores y la plataforma de control central. | Alta velocidad, amplio rango de cobertura, fácil integración con redes existentes. | Consumo elevado de energía, limitado en áreas rurales sin infraestructura Wi-Fi. |
| | Bluetooth | Conexión de corto alcance entre dispositivos (ej.: sensores y gateway). | Bajo consumo de energía, fácil de implementar. | Alcance limitado (hasta 100 m), no apto para grandes extensiones de cultivo. |
| | Zigbee | Red de malla para conectar múltiples sensores y actuadores en el campo. | Bajo consumo de energía, escalable, ideal para redes de sensores. | Menor velocidad de transmisión, requiere dispositivos compatibles. |
| | LoRaWAN | Comunicación de largo alcance para transmisión de datos desde sensores remotos. | Largo alcance (hasta 15 km), bajo consumo de energía, ideal para áreas rurales. | Baja velocidad de transmisión, costo inicial de infraestructura. |
| | NB-IoT | Conexión celular de bajo consumo para transmisión de datos en tiempo real. | Amplia cobertura, bajo consumo de energía, integración con redes celulares. | Dependencia de infraestructura celular, costos de suscripción. |
| Comunicación Cableada | RS-485 | Conexión de sensores y actuadores en distancias moderadas (hasta 1200 m). | Alta resistencia a interferencias, ideal para entornos industriales. | Requiere cableado físico, limitado en flexibilidad. |
| | Ethernet | Conexión de alta velocidad para dispositivos en redes locales (LAN). | Alta velocidad, confiable, ampliamente utilizado. | Requiere cableado, no es práctico para grandes extensiones de cultivo. |
| Plataformas de IoT | MQTT | Protocolo de mensajería ligero para transmisión de datos entre dispositivos IoT. | Bajo consumo de energía, ideal para redes con ancho de banda limitado. | Requiere un broker intermedio para gestionar mensajes. |
| | HTTP/HTTPS | Protocolo web para enviar datos a servidores en la nube. | Ampliamente compatible, fácil de implementar. | Mayor consumo de energía y ancho de banda comparado con MQTT. |
| | CoAP | Protocolo ligero para comunicación entre dispositivos IoT en redes restringidas. | Diseñado para dispositivos con recursos limitados, bajo consumo de energía. | Menor adopción en comparación con MQTT. |
| Plataformas en la Nube | AWS IoT Core | Plataforma en la nube para gestionar dispositivos IoT y analizar datos. | Escalable, integración con otros servicios AWS, alta seguridad. | Costos asociados al uso de servicios avanzados. |
| | Google Cloud IoT | Plataforma en la nube para recopilar, procesar y visualizar datos de IoT. | Integración con herramientas de análisis de datos y machine learning. | Costos asociados al uso de servicios avanzados. |
| | Microsoft Azure IoT | Plataforma en la nube para conectar y gestionar dispositivos IoT. | Integración con herramientas de análisis y visualización de datos. | Curva de aprendizaje para usuarios no familiarizados con Azure. |
| Visualización de Datos | Node-RED | Herramienta de flujo de trabajo para conectar dispositivos IoT y visualizar datos. | Fácil de usar, amplia comunidad de soporte, integración con múltiples APIs. | Limitado en funcionalidades avanzadas de análisis. |
| | Grafana | Plataforma de visualización de datos en tiempo real. | Altamente personalizable, ideal para monitoreo continuo. | Requiere configuración avanzada para integraciones complejas. |
| | ThingSpeak | Plataforma IoT para visualización y análisis de datos en tiempo real. | Fácil de usar, ideal para proyectos pequeños y medianos. | Limitado en escalabilidad y funcionalidades avanzadas. |

### 1.3.5 Sistemas de riego hidropónicos

La hidroponía es un sistema de producción agrícola que no utiliza suelo, Figura 2. Las plantas reciben agua y nutrientes esenciales a través de una solución nutritiva. Este método ofrece varias ventajas, como un uso más eficiente del agua, la posibilidad de controlar mejor los nutrientes, y la reducción del uso de pesticidas. [13]




Figura 2. Sistema de riego hidropónico. [13]

Se pueden emplear diferentes sistemas hidropónicos, como: [13] [43]

- **Sistema de mecha o pabilo**: Es el sistema más simple y no requiere bombas eléctricas. Ideal para plantas que no necesitan mucha agua.
- **Técnica de inundación y drenaje**: Se inunda temporalmente las bandejas con la solución nutritiva y luego se drena, permitiendo que las plantas absorban los nutrientes.
- **Sistema de goteo con recuperación**: Similar al riego por goteo tradicional, pero el exceso de agua es recuperado y reutilizado.
- **Técnica de película nutritiva (NFT)**: Muy utilizada en la industria hidropónica. Consiste en un sistema de bombeo donde las plantas reciben los nutrientes mediante agua que circula a través de tubos.

- **Cultivo de raíz flotante (DWC)**: Ideal para plantas pequeñas como lechugas y hierbas aromáticas.
- **Sistema de aeroponía**: Las raíces de las plantas están suspendidas en el aire y reciben la solución nutritiva mediante rociadores.

### 1.3.6 Dosificación del agua en hidroponía.

Calcular la cantidad de agua necesaria para un sistema de riego hidropónico aplicado al cultivo de tomate requiere considerar varios factores, como las necesidades hídricas de la planta, las condiciones ambientales, el tipo de sistema hidropónico y la eficiencia del sistema. [44] [45]

El tomate es un cultivo que demanda un suministro constante de agua, especialmente durante las etapas críticas de floración y fructificación. En condiciones normales, una planta de tomate puede requerir entre 1.5 y 2.5 litros de agua por día, dependiendo de su etapa de crecimiento y las condiciones ambientales. Durante la fase de plántula, el consumo de agua es menor, oscilando entre 0.5 y 1 litro por planta por día. En la etapa de crecimiento vegetativo, este valor aumenta a 1-1.5 litros por planta por día, y durante la floración y fructificación, la demanda puede alcanzar 1.5-2.5 litros por planta por día. [44] [45]

Las condiciones ambientales juegan un papel crucial en la determinación de las necesidades hídricas. La temperatura influye directamente en la tasa de transpiración de las plantas; a mayor temperatura, mayor será la pérdida de agua. La humedad relativa también es un factor determinante, ya que en ambientes secos las plantas transpiran más, aumentando su demanda de agua. Además, la radiación solar acelera la evaporación del agua del sustrato y la transpiración de las hojas, lo que incrementa la necesidad de riego. Por ello, es esencial ajustar el suministro de agua según las condiciones climáticas y la etapa de crecimiento de las plantas. [44] [45]

Para calcular el volumen de agua diario en litros necesario, se utiliza la fórmula básica:

$$\boldsymbol{Vol = \#\, plantas * Necesidad\ hidrica\ planta}\left(\frac{\boldsymbol{l}}{\boldsymbol{dia}}\right) \quad (\mathbf{1})$$

Sin embargo, es importante considerar la eficiencia del sistema. Los sistemas hidropónicos, aunque más eficientes que los sistemas de riego tradicionales, pueden presentar pérdidas de agua debido a la evaporación o fugas. Si se asume una eficiencia del 90%, el volumen de agua requerido se ajusta de la siguiente manera. [44] [45]

$$\boldsymbol{Vol\ ajustado} = \frac{\boldsymbol{Volumen\ diario}}{\boldsymbol{Eficiencia}} \qquad (\mathbf{2})$$

El tipo de sistema hidropónico también influye en el consumo de agua. En los sistemas de recirculación, como el NFT (Nutrient Film Technique) o el DWC (Deep Water Culture), el agua se reutiliza, lo que reduce el consumo total. No obstante, es necesario reponer el agua perdida por transpiración y evaporación. Por otro lado, en los sistemas sin recirculación, como el riego por goteo en sustrato, el agua no se recupera, lo que incrementa el consumo total. [44] [45]

El volumen del depósito de agua debe ser suficiente para abastecer el sistema durante un período determinado. Por ejemplo, si el volumen diario es de 222 litros y se desea que el depósito dure 7 días, la capacidad requerida sería: [44] [45]

$$\boldsymbol{Capacidad\ deposito} = \boldsymbol{volumen\ diario} * \boldsymbol{dias\ de\ riego} \qquad (\mathbf{3})$$

Finalmente, es fundamental monitorear y ajustar el suministro de agua en función de las necesidades reales de las plantas. El uso de sensores de humedad del sustrato o del medio de cultivo permite obtener mediciones precisas y ajustar el riego según las condiciones climáticas y la etapa de crecimiento. Este enfoque no solo optimiza el uso del agua, sino que también garantiza un crecimiento saludable de las plantas y maximiza la productividad del cultivo. [44] [45]

### 1.3.7 Sistema de cultivo hidropónico abierto sin recuperación de drenaje

Este método de cultivo consiste en aplicar agua y nutrientes directamente a las raíces de las plantas, sin que el exceso de agua o el drenaje sean recuperados o reutilizados. Este sistema de riego hidropónico se utiliza comúnmente en cultivos intensivos, como el tomate riñón, debido a su fácil manejo. [19]

***a. Sustrato***

Los sustratos pueden ser de origen orgánico, como la cascarilla de arroz, la fibra de coco y la turba; o de origen mineral, como la lana de roca y la perlita, Figura 3. Comparados con los materiales de origen orgánico, los de origen mineral son más estables, es decir, mantienen sus propiedades durante periodos más largos, lo que los hacen ampliamente utilizados, principalmente en Europa, aunque el costo es muy alto. [19]



Figura 3. Sustrato de fibra de coco. [19]

La mayoría de la información publicada sobre cultivos sin suelo y uso de sustratos en horticultura se centra en la respuesta en crecimiento, producción y calidad de la cosecha de las especies hortícolas, pero se hace poca mención sobre las características físicas y químicas de los sustratos Tabla 8 que afectan el desarrollo y rendimiento de las plantas. [19]

Adicionalmente uno de los factores clave para el éxito de un cultivo es el sustrato, debido que proporciona el entorno donde crecen las raíces, influyendo directamente en el desarrollo y crecimiento de la planta. En el caso del cultivo de jitomate, los sustratos más comunes incluyen composta de aserrín de pino, fibra de coco, cascarilla de arroz, composta de estiércol de animales, tierra local porosa y tezontle rojo. [19] [45]

Tabla 8. Características físicas de la fibra de coco utilizada en el experimento como medio de cultivo. [19]

| Características físicas | Fibra de coco | % Óptimo |
|---|---|---|
| Partículas > 4 mm (%) | 54,25 | -- |
| Partículas entre 1 y 4 mm (%) | 39,00 | -- |
| Partículas < 1 mm (%) | 6,75 | -- |
| Densidad aparente (g.cm-3) | 0,096 | -- |
| Densidad real (g.cm-3) | 1,468 | -- |
| Porosidad total (%) | 93,47 | > 85% |
| Partículas sólidas (%) | 6,53 | < 15% |

### *b. PH*

De los sustratos que se utiliza, aquellos con un pH entre 5,5 y 7 Tabla 9 presentan la ventaja de estar dentro del rango adecuado de pH, el cual la mayoría de los nutrientes son solubles y están disponibles para las plantas. Entre estos se destacan la cascarilla de arroz, la tuza de palma y los subproductos de coco, cuyos pH cercanos a la neutralidad muestran condiciones óptimas como medio de crecimiento para las plantas. [19]

Tabla 9. Características químicas de diferentes sustratos. [19]

| Material | PH | CE (mS/cm) | C | N | P | K | Ca | Mg | Na |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Orgánico | | | | | | | | | |
| Cascarilla arroz | 7,2 | 1,5 | 77,2 | 2,9 | 4,5 | 5,1 | 2,3 | 0,8 | - |
| Cisco café | 4,7 | 0,5 | 450 | 6,4 | 0,1 | 2,6 | 0,8 | 1,8 | 6,8 |
| Astillas coco | 6,7 | 0,9 | 456,1 | 3 | 0,2 | 7,2 | 1,2 | 1,2 | 75,4 |
| Fibra coco | 6,6 | 0,9 | 459,5 | 1,8 | 0,2 | 5,9 | 1,3 | 0,6 | 87,5 |
| Sustrato fino coco | 6,3 | 0,7 | 391,4 | 3,4 | 0,2 | 5,8 | 2,2 | 1,8 | 90 |
| Sustrato grueso coco | 6,3 | 0,8 | 391,4 | 3,4 | 0,4 | 7,9 | 3,1 | 2,5 | 94,4 |
| Aserrin madera | 5,4 | 0,8 | 448,5 | 3 | 0,1 | 2,2 | 2,1 | 0,5 | 7 |
| Viruta madera | 5,4 | 1,3 | 448,5 | 3 | 0.2 | 2,2 | 1,6 | 0,4 | 4,8 |
| Cascarilla palma | 4,8 | 1,5 | 454,1 | 3,9 | 0,1 | 2 | 0,5 | 0,4 | 1,7 |
| Fibra palma | 5,6 | 1,6 | 461,2 | 6,1 | 0,9 | 6 | 2,7 | 1,5 | 3,9 |
| Tuza palma | 6,9 | 25 | 2,6 | 450,1 | 5,3 | 0,9 | 14,2 | 1,8 | 1 |

### *c. Conductividad eléctrica*

Con excepción de la tuza de palma y el ladrillo molido, la CE fue menor de 2 mS/cm en los sustratos, independiente de su origen Tabla 8 . El rango óptimo en sustratos varía entre 0,75 y 1,99 mS/cm. Por encima de 2 mS/cm, indica la presencia de sales solubles que

podrían generar riesgo para las plantas por estrés osmótico. Los materiales evaluados no poseen una concentración de sales solubles que limite el crecimiento de las plantas. [19]

La conductividad eléctrica (CE) en los sistemas hidropónicos es un parámetro clave, ya que indica la concentración de nutrientes en la solución. Para el cultivo de tomate en hidroponía, el rango adecuado de CE varía según la etapa de crecimiento: en plántulas (1,0 a 1,5 mS/cm) se usa una concentración baja para evitar estrés; en crecimiento vegetativo (1,5 a 2,5 mS/cm) se aumenta para desarrollar hojas y tallos; en floración y fructificación (2,5 a 4,0 mS/cm) se requiere más nutrientes para flores y frutos; y en maduración (3,5 a 5,0 mS/cm) se ajusta para mejorar calidad y sabor. Factores como la calidad del agua, el sustrato y el clima influyen en la CE, por lo que es clave monitorearla y ajustarla según sea necesario. [44]

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

Implementar un sistema IOT de riego para el cultivo de tomate riñón en la zona del Canal de Salcedo.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar las características requeridas para un sistema de riego eficiente en el cultivo de tomate riñón.
- Analizar las herramientas de comunicación IOT adecuadas para el sistema de riego.
- Desarrollar la interfaz de comunicación IOT para el control y monitoreo del sistema de riego.

# CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

## 2.1 Materiales

Para realizar la investigación sobre el sistema de riego para las plantas de tomate riñón se utilizaron varios sensores y actuadores Tabla 10. Los sensores de temperatura y humedad se utilizaron para medir los niveles de humedad en el sustrato de coco que se utilizó como compost para el sistema de riego, el sensor de temperatura del medio ambiente permitió monitorear los niveles de calor dentro del invernadero, de la misma manera los sensores de pH del agua y de conductividad eléctrica se utilizaron para monitorear la calidad y cantidad de fertilizante que se lleva al sistema de riego mediante los tanques que servirán como almacenamiento. Para los actuadores específicamente se utilizó las electroválvulas que permitieron el flujo de agua acorde a los datos censados en los sustratos de las plantas de tomate. Toda esta información fue recopilada y procesadas mediante un microcontrolador como la ESP32 y almacenados en una database llamado MART el cual permitía un monitoreo en tiempo real de las variables de los sensores y actuadores qué será visibles en una dashboard.

Tabla 10. Características de hardware y software.

| **Material** | **Características** | **Descripción** |
|---|---|---|
| ESP32-WROOM32U | Microcontrolador Wifi | Sirve para el procesamiento de datos de los sensores y actuadores. |
| KY015 | Controlan y monitorean las condiciones ambientales | Sirve para medir en tiempo real las variables de temperatura y humedad. |
| Sensor FC-28 | Monitorea condiciones del suelo. | Sirve para medir en tiempo real la humedad del sustrato. |
| SEN0161 | Monitorean condiciones del Ph del agua | Sirve para medir en tiempo real el Ph del agua. |
| Mart | Servicios en la nube. | Sirve para tener nuestra database. |
| Electroválvula | Paso del flujo de agua | Controla el paso del agua que esta almacenada. |
| Dfrobot gravity analog electrical conductivity sensor | Monitorean condiciones de EC del agua y del sustrato | Sirve para monitorear la cantidad de nutrientes en el sustrato en tiempo real. |

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Modalidad de la investigación

Este proyecto investigativo se apoyó en la investigación aplicada debido a que aprovechará los conocimientos adquiridos durante la carrera y permitirá realizar un análisis de la cantidad de agua requerida para el cultivo de tomate riñón mediante un sistema de riego utilizando tecnología IOT. Se realizo una investigación bibliográfica para la recopilación de información de datos bibliográficos de libros, tesis, revistas, anuarios, publicaciones científicas e informes estadísticos. Adicionalmente, se realizó investigaciones de campo para recopilar datos sobre las dosis de agua necesaria que se tiene que emplear en el cultivo de tomate riñón que serán aplicados en un invernadero con cultivo de tomate riñón que se va a evaluar el crecimiento, desarrollo y producción del tomate en etapa fenológica.

### 2.2.2 Recolección de información

Para la recolección de información se realiza la siguiente Tabla 11 donde se responde varias preguntas para tener un concepto de esta actividad.

Tabla 11. Criterios de recolección de información.

| Criterio | Descripción |
|---|---|
| ¿Para qué? | Para tecnificar el riego. |
| ¿De qué personas u objetos? | En el cultivo de tomate riñón. |
| ¿Como? | Sistema de riego automático por goteo. |
| ¿Con que? | Sistema IOT. |
| ¿Cuándo? | En el mes de enero del 2025. |
| ¿Donde? | En el cantón Salcedo, Zona del Canal. |

### 2.2.3 Procesamiento y análisis de datos

Para procesar y analizar la información se ha seguido los siguientes parámetros:

- Búsqueda de información referente al tema
- Revisión de fuentes bibliográficas investigadas.
- Estudio de la metodología usada para la óptima elaboración de los sistemas.
- Planteamiento de la propuesta de solución.
- Control y verificación de los datos obtenidos mediante el funcionamiento del sistema.

# CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 3.1 Análisis del estado actual del sistema de riego.

El método utilizado de los agricultores para el riego del agua en los invernaderos de tomate riñón se basa principalmente en su experiencia debido a que dependen de las enseñanzas que fueron adquiriendo a lo largo del tiempo; el cual inicia con riego en la mañana de 07:00 a 10:00 debido a la experiencia es el momento idóneo para regar el agua debido a que la temperatura del invernadero es baja o media baja y esto permite que no exista un contra choque con altas temperaturas del suelo a comparación si se regara al mediodía o en la tarde la temperatura del invernadero se incrementaría drásticamente dependiendo de la estación en la que se encuentre. Además, existe la tradición de los agricultores de regar el agua saltándose un día y también depende en que tamaño o fase fisiológica que se encuentre las plantas de tomate riñón.

## 3.2 Requerimientos y desarrollo del sistema

### 3.2.1 Requerimientos del sistema de riego para el tomate de riñón.

Un sistema de riego eficiente para el cultivo de tomate riñón debe estar diseñado para optimizar el uso del agua, garantizar un crecimiento saludable de las plantas y maximizar la productividad. A continuación, se detallan las características requeridas para un sistema de riego eficiente en este tipo de cultivo:

1. Precisión en el suministro de agua: Es el método más recomendado para el tomate riñón, ya que permite suministrar agua directamente a la zona radicular de las plantas, minimizando la evaporación y el desperdicio.

2. Control de caudal: El sistema de riego deben tener un caudal ajustable para adaptarse a las necesidades del cultivo de tomate riñón en cada etapa de crecimiento como se detalla a continuación:

El cultivo hidropónico de tomate riñón tiene las siguientes características:

- Número de plantas: 30.

- Consumo diario por planta: 2 litros.

- Pérdidas por evaporación y drenaje: 20%.

- Autonomía del depósito: 2 días.

**Cálculos:**

Consumo diario total:

$$\boldsymbol{Vol = N.plantas \times \left(\frac{litros}{dia}\right)} \qquad (4)$$

$$\boldsymbol{Vol = 30\ l. \times \left(\frac{2}{dia}\right)}$$

$$\boldsymbol{Vol = 60\ \left(\frac{litros}{dia}\right)}$$

Agua total necesaria (incluyendo pérdidas):

Los sistemas hidropónicos suelen ser más eficientes que los sistemas de riego tradicionales, pero aún pueden tener pérdidas por evaporación o fugas. Considerando una eficiencia promedio del 90%, el volumen de agua requerido será:

$$\boldsymbol{Volumen\ ajustado = \left(\frac{Volumen\ diario}{Eficiencia}\right)} \qquad (5)$$

$$\boldsymbol{Volumen\ ajustado = \left(\frac{60}{0,9}\right) = 66,66\frac{litros}{dia}}$$

3. Monitoreo en tiempo real:

Es fundamental el uso de sensores de humedad para realizar un monitoreo en tiempo real. Para ello, es importante seguir las recomendaciones sobre la cantidad de sensores necesarios. Según J. Benton Jones, en sistemas hidropónicos con áreas medianas (50 m²), se sugiere instalar los sensores de humedad a una distancia de 5 a 10 metros. En este caso, al tratarse de una plantación de 64 m², se ha optado por colocar los sensores cada 6 metros, con el fin de obtener mediciones más precisas y representativas de la humedad en toda el área de cultivo

3. Automatización y control: Integración de sensores y actuadores con una plataforma de control central que permita automatizar el riego en función de los datos recopilados. Por lo cual se utilizó la database MART el cual mediante la conexión a los servicios de Node-Red y la visualización de gráficas mediante los dashboard se puede automatizar el sistema de riego y tener un control de los sensores de humedad y electroválvulas utilizados. Además, el envío de alertas en caso de cambios en la humedad, pH, EC y temperatura que no esté en el rango adecuado.

4. Eficiencia en el uso del agua: Se realizo la captación de agua lluvia del invernadero en un tanque de 200 litros.

5. Adaptabilidad a las etapas de crecimiento: El sistema de riego debe ajustarse según la fase de crecimiento y la fase de producción del tomate riñón, ya que, aunque se mantiene un nivel de humedad entre el 60% y el 80%, las plantas en la fase de crecimiento requieren menos agua, mientras que en la fase de producción necesitan un mayor suministro. Por esta razón, es fundamental colocar los sensores de humedad de manera estratégica cerca de las raíces. Durante la fase de crecimiento, el sensor debe ubicarse más cerca de la planta para monitorear adecuadamente sus necesidades hídricas. En cambio, en la fase de producción, el sensor se colocará más alejado de la planta, lo que permitirá medir un volumen mayor de agua requerido para satisfacer la demanda del cultivo.

6. Manejo de nutrientes: Para el manejo de nutrientes es necesario implementar un sistema de fertirriego que permita aplicar nutrientes directamente a través del sistema de riego.

### 3.2.2 Requerimiento de los parámetros para el sistema de riego.

Para el desarrollo del sistema de riego hidropónico se realizó un estudio de los parámetros técnicos en la plantación de tomate riñón según la Tabla 12, esto permitió medir en tiempo real 4 parámetros que son necesarios para el sistema hidropónico sea eficiente y la producción del tomate sea de calidad y cantidad para que así de esta manera el agricultor pueda obtener ingresos significativos de su producto y no exista pérdidas debido al mal manejo lo que significaría una pérdida parcial o total a causa de las enfermedades y plagas que afectan la carencia o exceso de agua para la plantación.

Tabla 12. Variables físicas del sistema de riego eficiente.

| **Variable física de medición** | **Rango de medición** |
|---|---|
| Humedad del sustrato | 60% - 80% |
| Temperatura del ambiente | 18°C a 25°C |
| Conductividad eléctrica | 2 a 4 mS/cm |
| Ph | 5,5 a 7 |

## 3.3 Desarrollo de la propuesta

El desarrollo e implementación del sistema de riego, como el hardware y software implica las siguientes consideraciones acorde a las siguientes capas.

### 3.3.1 Arquitectura del Sistema

Según el estudio realizado, para el desarrollo del proyecto se determina la siguiente arquitecta, como se muestra en la Figura 4.

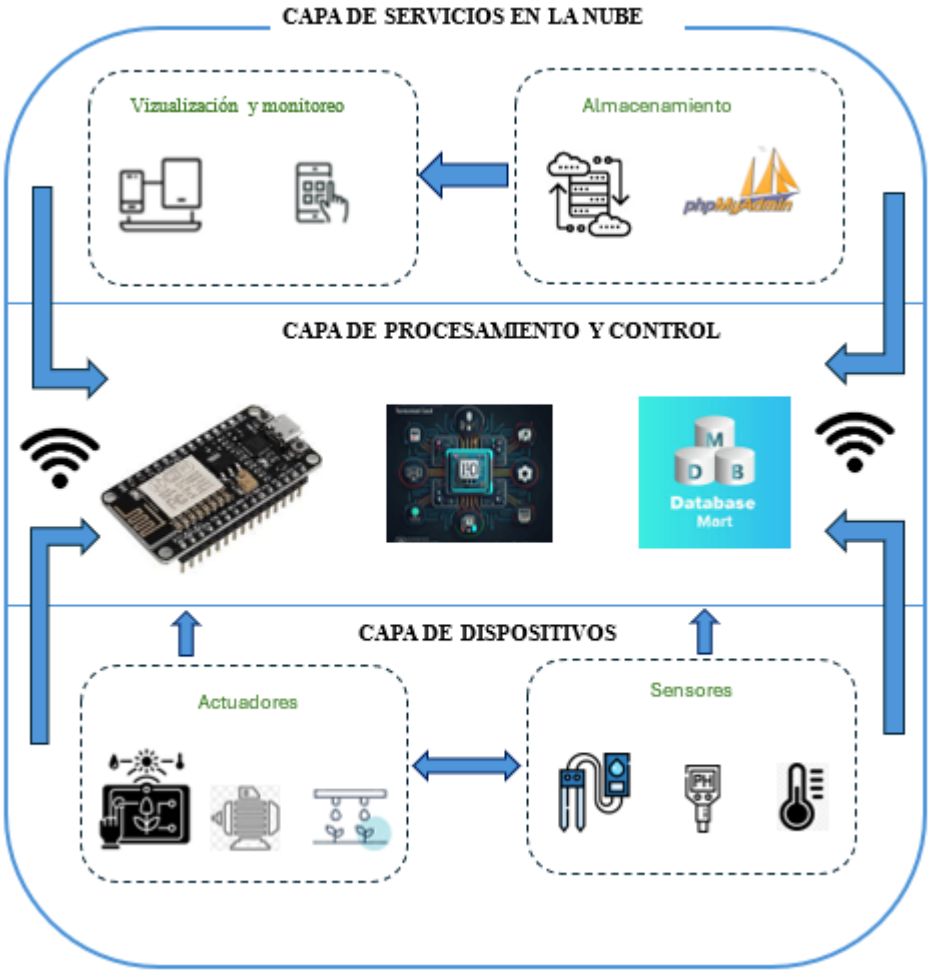



Figura 4. Arquitectura del sistema de riego IoT.

El proyecto se desarrolló en 3 capas o fases como se puede visualizar en la Figura 4: La capa dispositivos, donde se encuentran los sensores que permiten medir las condiciones fisiológicas del suelo y ambiente, y en base a esas mediciones los dispositivos actuadores se activaran.

La capa de procesamiento y control es el encargado de acondicionar las señales adquiridas por los sensores y controlar los eventos para el accionamiento automático de los dispositivos actuadores mediante el microcontrolador.

La capa de servicio en la nube va a tomar los eventos controlados a través de un servicio de database en la nube para el seguimiento de las variables de medición mediante una interfaz gráfica, configurado dentro de la misma, La fase de riego, se acciona automáticamente cuanto la humedad del suelo sea inferior al 60%.

### 3.3.2 Selección de dispositivos

Para seleccionar los dispositivos electrónicos a emplearse, se llevó a cabo un análisis de sus características técnicas, tecnológicas, accesibilidad y costos. De esta manera se compararon diversos componentes electrónicos disponibles en el mercado para escoger los que mejor se ajustaran a los requerimientos del sistema.

***a. Sensores y actuadores***

Para la adquisición de datos, se requieren sensores que permitan detectar las condiciones de temperatura, humedad y pH dentro del invernadero. Por ello, se realizó una comparación de distintos sensores disponibles en el mercado y se seleccionó el más adecuado para satisfacer los requisitos de un sistema de riego óptimo.

- ***Temperatura y humedad***

Para la medición de la temperatura y humedad se seleccionó el sensor KY-015 por sus características técnicas, según la Tabla 1 que abastecerá por completo la función a la que se le aplique en el entorno de las plantas de tomate riñón.

- ***Humedad***

Se seleccionó el sensor FC-28 debido a sus características según la Tabla 2 para medir la humedad del sustrato debido a su fácil disponibilidad, en comparación con el sensor YL-38. Ambos sensores funcionan mediante dos electrodos que, al detectar humedad, crean un puente y utilizan un amplificador con comparador LM393 para transformar la conductividad en un valor analógico o digital.

- ***PH***

Para la medición de pH se seleccionó el sensor SEN0106, según la Tabla 3 por su compatibilidad con Arduino y su duración aunque su aplicación no es común en la aplicación de sistemas hidropónicos resuelve el problema de medición del pH del sustrato de coco cuando se lo requiera, además las mediciones no son recurrentes.

- ***Electroválvulas***

Se selección una electroválvula solenoide de 12v de polietileno según la Tabla 5 resistente debido al ducto ya que no se corroe al momento de dar paso a los nutrientes que pueden contener nitratos o ácidos, a diferencia de la electroválvula de cobre, la cual puede deteriorarse debido a los químicos utilizados.

### *b. Procesamiento y control*

Para el acondicionamiento y procesamiento de las señales de los sensores se tomó en cuenta que la tarjeta electrónica tenga suficiente almacenamiento y procesamiento de datos, que tipo de tecnología tiene, que contenga pines de entrada y salida necesarios para la conexión de la tarjeta y los sensores. En la Tabla 4, se detallan las característicasde tres tipos de tarjetas electrónicas

Se realizó la comparación de las características técnicas de las tarjetas electrónicas más utilizadas y se optó por el microcontrolador ESP32, lo que lo hace ideal por su costo económico, aunque tiene menos características en términos de potencia de procesamiento y conectividad, pero satisface para la aplicación IoT que se va a realizar.

### *c. Servicios en la nube*

Para los servicios en la nube se levantó primero se buscó un proveedor que nos facilite de las características y también de las necesidades que requiere nuestro proyecto Figura 5, una vez analizado las distintas propuestas entre Azure, Google, Aws y Database mart, por el costo beneficio, se ha optado por el ultimo.




Figura 5. Servidor del sistema.

El cual por tres meses del servidor se pagará un valor de 20,07$, el cual tendrá Linux como sistema operativo, además de poder levantar todos los servicios necesarios para desarrollar el proyecto.

Una vez realizado el pago, el sistema automáticamente crea la máquina virtual en la nube, aquí se puede ver el proceso y tiempo que toma en desplegarse dicho servidor, tal como se aprecia en la Figura 6.

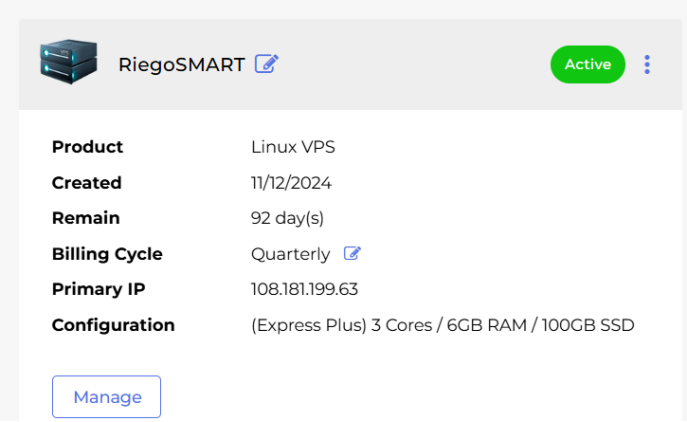



Figura 6. IP del servidor.

Con un programa como Visual Studio Code, podremos conectarnos remotamente al servidor y de esa manera instalar los servicios.

### 3.3.3 Diseño del invernadero

Se utilizó un parte de un invernadero tipo sierra cuya dimensión es 4 m. de ancho, 16 m. de largo y 4 metros de alto con soportes son de madera y cubierto de film plástico como se visualiza en la Figura 7.

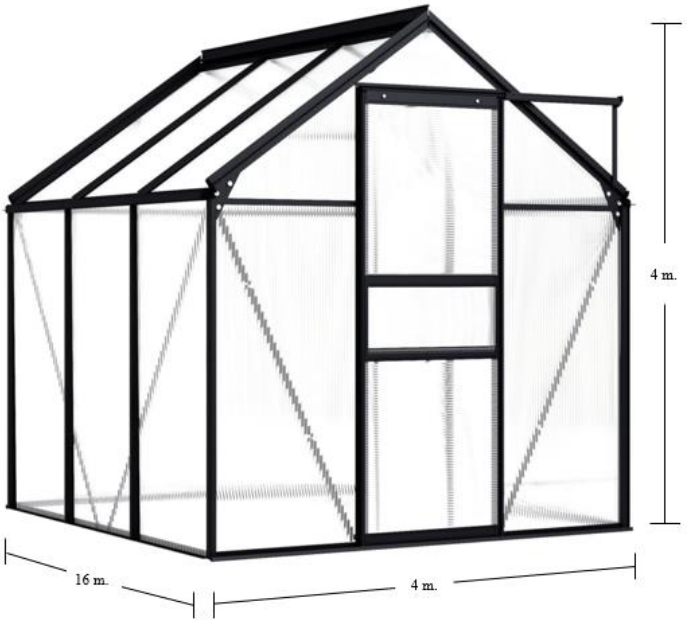



Figura 7. Diseño del invernadero.

### 3.3.4 Diseño del sistema de control y monitoreo de riego.

**Sistemas de riego y fertilización.**

El sistema de riego y fertilización, como se muestra en la Figura 8 está compuesto por dos tanques de diferentes capacidades: uno de 200 litros para agua y otro de 20 litros para la solución fertilizante. Cada tanque cuenta con dos salidas, cada una equipada con una electroválvula, estas electroválvulas se activan automáticamente cuando los sensores, ubicados en las hileras de tomate riñón que están a una distancia de 6 metros entre ellos, detectan que el porcentaje de humedad es inferior al 60%, permitiendo así el suministro de agua y nutrientes según las necesidades del cultivo.

El tanque de nutrientes es manual debido que se debe preparar el caldo de nutrientes en el tanque antes de incluirlo en el sistema riego por lo cual no se puede realizar de forma automática.

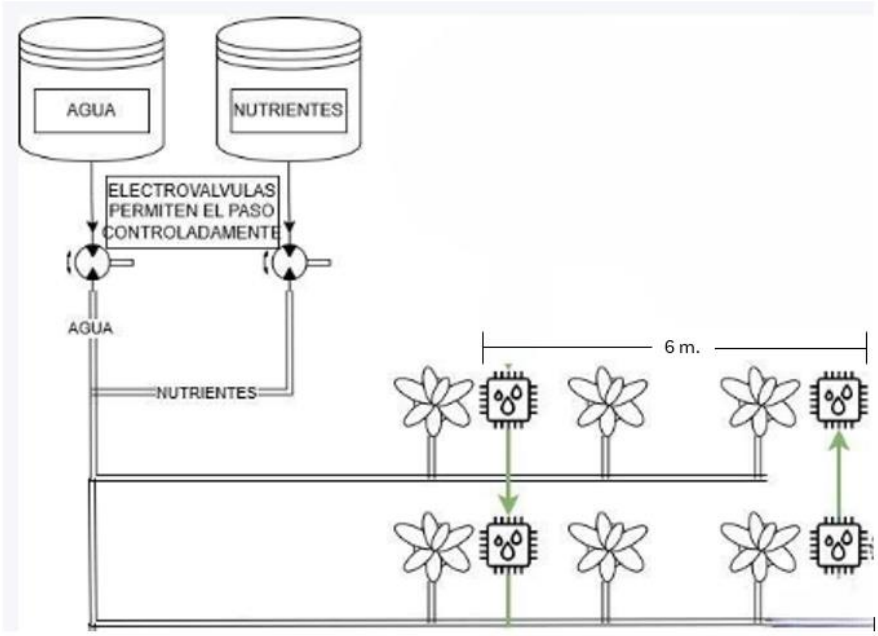



Figura 8. Sistema de riego.

***a. Sistema de sensores y actuadores.***

El sistema conta de los sensores como se aprecia en la Figura 9 y su función en el sistema de riego.

- Un sensor se humedad y temperatura KY115 qué censa cada segundo de esta manera obtener los niveles de humedad y temperatura en el en el invernadero.

- Cuatro sensores de humedad FC-28 distribuidos en las hileras del tomate el cuál va a estar insertado en la tierra para de esta esa manera poder obtener los niveles de humedad.

- 2 electroválvulas cada una de ellas va estar conectado a la salida del tanque de agua y el tanque de fertilización el cual se va activar cuando el porcentaje de humedad ese inferior al 60% cabe mencionar que como existen cuatro sensores de humedad se va a realizar un promedio de las 4 para que trabajen en grupo y así no tener complicaciones de qué sensor obtener el dato para activar las electroválvulas.

- Un sensor de pH el cual va conectado directamente desde el tanque, no se va a estar actualizando de forma continua debido a que no es necesario, Sino que específicamente para poder controlar el pH del agua que esté es un valor neutro y además al momento de enviar nutrientes a las plantas para que de esta manera no altere la salinidad de algunos productos químicos y la planta de tomate puede absorber todos los nutrientes.

- Un sensor de conductividad eléctrica el mismo que permitirá ver valores del sustrato y del agua, también ayudará para poder medir los valores y comprar de manera correcta los fertilizantes de acuerdo a los valores obtenidos del sensor.

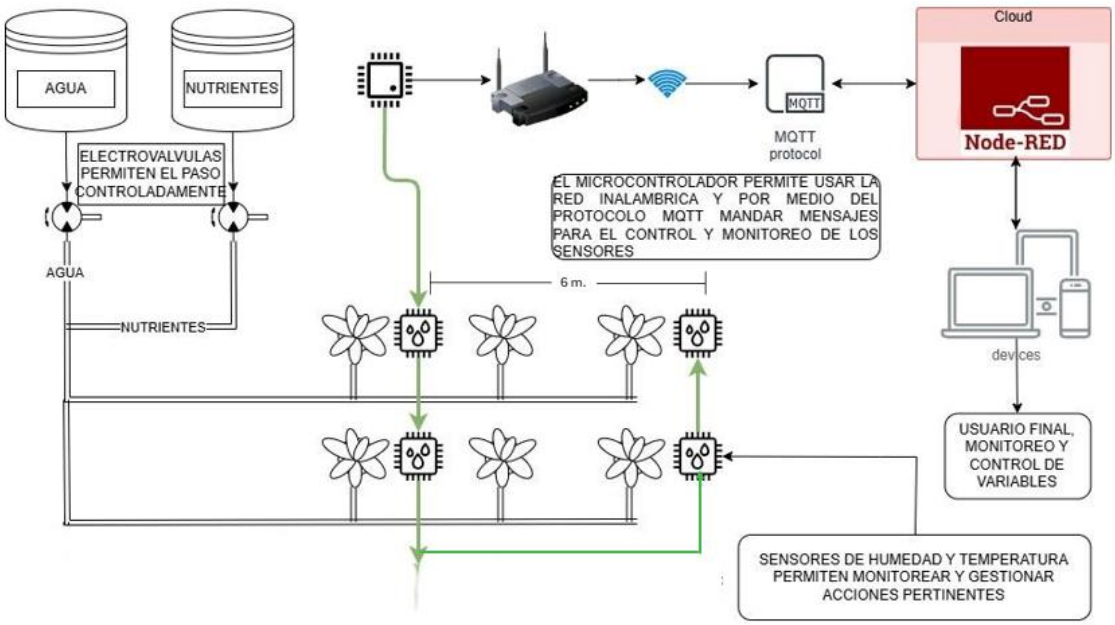



Figura 9. Esquema global del sistema de riego.

***b. Sistema de procesamiento y control***

El sistema de procesamiento y control consta de:

- Un servidor en la plataforma database MART que se encarga de proporcionar todos los servicios que se van a utilizar para poder gestionar los sensores y actuadores, el cual garanticen el funcionamiento de este.

- Un microcontrolador ESP32 que permite el monitoreo y control de sensores y actuadores como la electroválvula para el sistema de riego.

### 3.3.5 Desarrollo, configuración e implementación del Sistema

***a. Capa de procesamiento y control***

El sistema de procesamiento y control para monitoreo del riego está configurado en una plataforma llamado database MART que es con una cuota de 22 dólares trimestral qué funciona como un servidor de dispositivos IoT el cual hoy es en donde se va ahí instalar los servicios.

Una vez hecho el pago, el sistema automáticamente crea la máquina virtual en la nube, aquí se puede ver el proceso y tiempo, Figura 10 que toma en desplegarse dicho servidor.

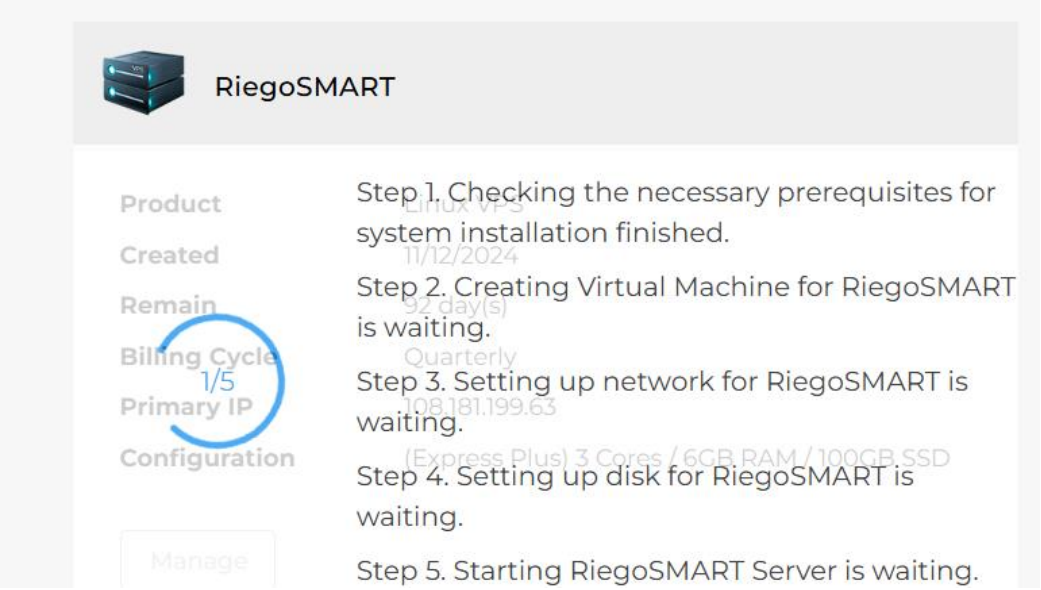



Figura 10. Pasos de la instalación del servidor.

Una vez desplegado, se nos muestra una ficha técnica con todos los parámetros de nuestro servidor Figura 11, como IP, y fecha de creación y suspensión del servicio.

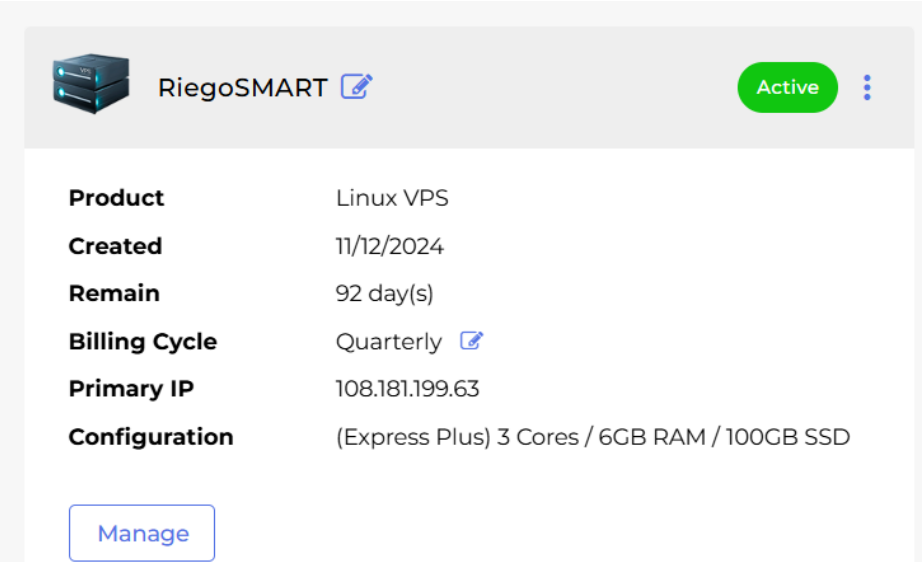



Figura 11. IP y datos técnicos del servidor.

Con un programa como Visual Studio Code, podremos conectarnos remotamente al servidor y de esa manera instalar los servicios.

Primero Abrimos Visual Studio Code Figura 12, seguido se instala un complemento dentro del Visual Studio Code, llamado SSH Client

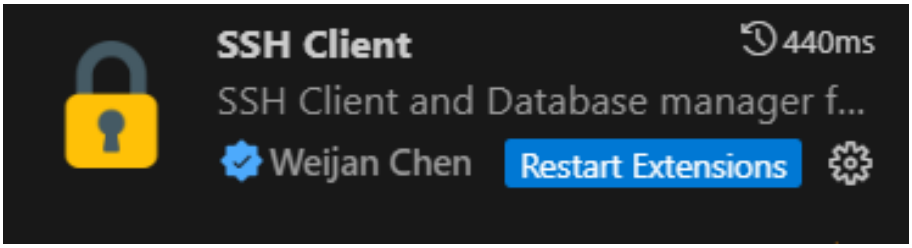



Figura 12. Complemento de Virtual Visual Code

Se crea una nueva conexión, Figura 13, además colocaremos los parámetros que se nos proporcionó, de esa manera ya tendremos acceso al servidor.

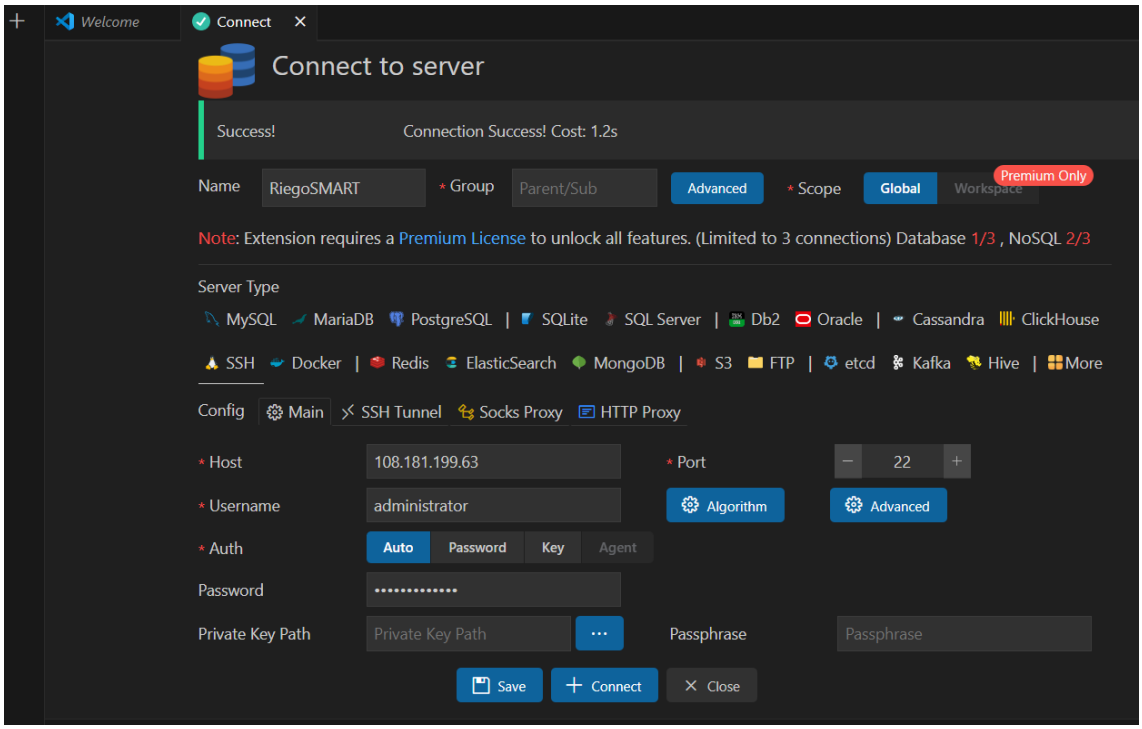



Figura 13. Conexión del servidor con Visual Code.

Una vez tengamos acceso al servidor, para obtener permisos de administrador, necesitamos colocar el comando “sudo su”, Figura 14 para tener todos los privilegios.

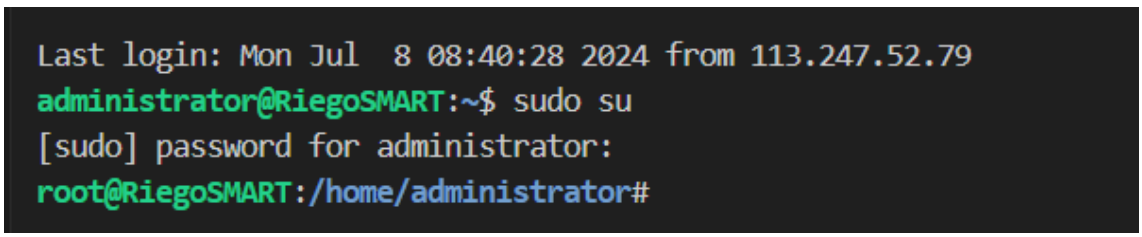



Figura 14. Configuración en modo privilegiado.

### *b. Instalar Servicios.*

Los servicios que requiere el proyecto son: nodeRED, MySQL, PHPMyadmin, para instalar NodeRED, necesitamos instalar Node.js, además del gestor de paquetes NPM. Figura 15 Se ejecuta los comandos sudo apt update, sudo apt-get install nodejs, sudo apt-get install npm y se comprobó las versiones instaladas:

```
root@RiegoSMART:/home/administrator# nodejs -v
v18.19.1
root@RiegoSMART:/home/administrator# npm -v
9.2.0
```

Figura 15. Versiones instaladas de nodejs y npm.

Seguido se procede a la instalación de NodeRED con el comando npm install -g --unsafe-perm node-red.

Se requiere que el servicio de NodeRED, siempre este operativo, Figura 16 así que, aunque por accidente se apague el servidor, apenas se inicie se volvería a ejecutar el servicio. Para eso se requiere instalar PM2 con el comando sudo npm install -g pm2.

Seguido se debe colocar la IP en un navegador con el puerto 1880, y podremos observar el servicio ejecutándose.

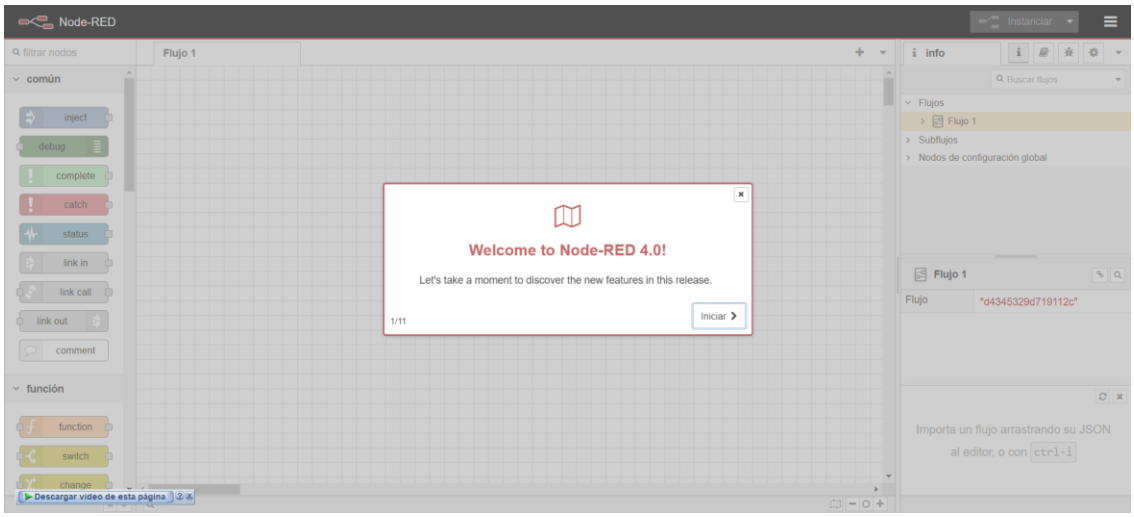



Figura 16. Node-red

### *c. Diseño electrónico*

Para el diseño electrónico se realizó un diseño en el cual el módulo ESP32 está centralizado y conectado a unos Tblocks para así mediante cables poder conectar los sensores y actuadores en lugares estratégicos. El controlador ESP32 está implementado con una tensión de 5 voltios y los sensores de temperatura y humedad se encuentra conectados a los pines analógicas de la ESP32 demostrado en la Figura 17 y Figura 18.

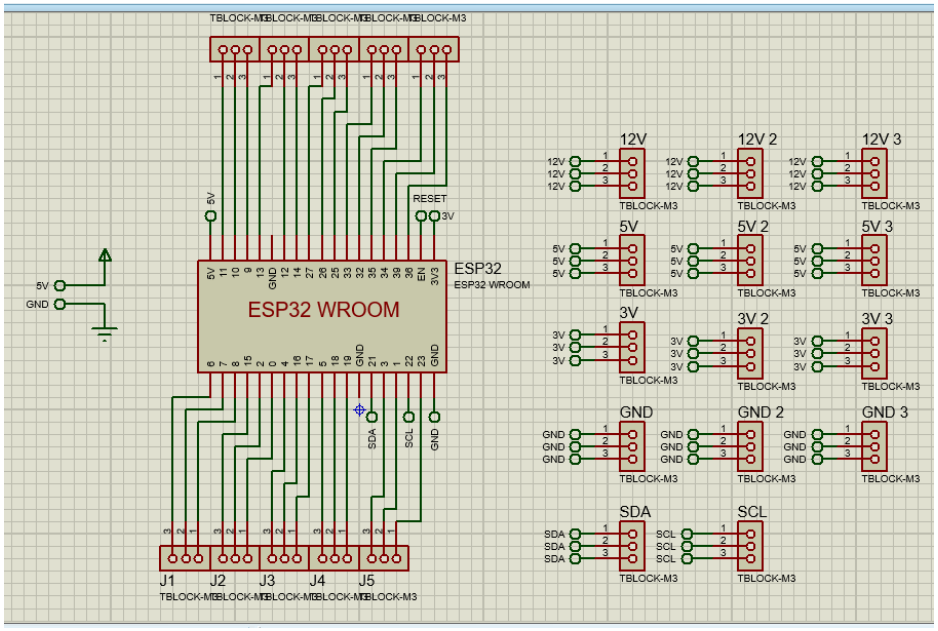



Figura 17. Diagrama de conexión con la ESP32.

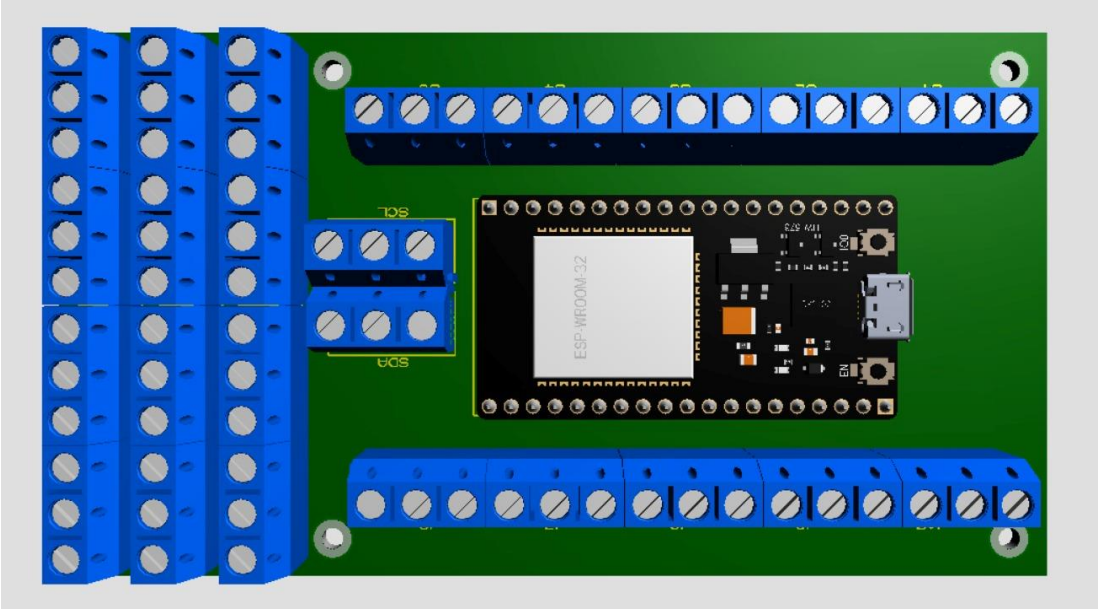


Figura 18. Diagrama de conexión con la ESP32.

Para la integración de los dispositivos en la plataforma BATABASE MART es necesario la configuración de los servicios que ya se realizó como se aprecia en las Figura 10 al 14, cuál con la instalación de la Node-red mediante Virtual Studio Code se puede observar los sensores que se integró al esquema general como se puede apreciar en la Figura 19 la conexión entre el servidor y los dispositivos de sensorización y control.

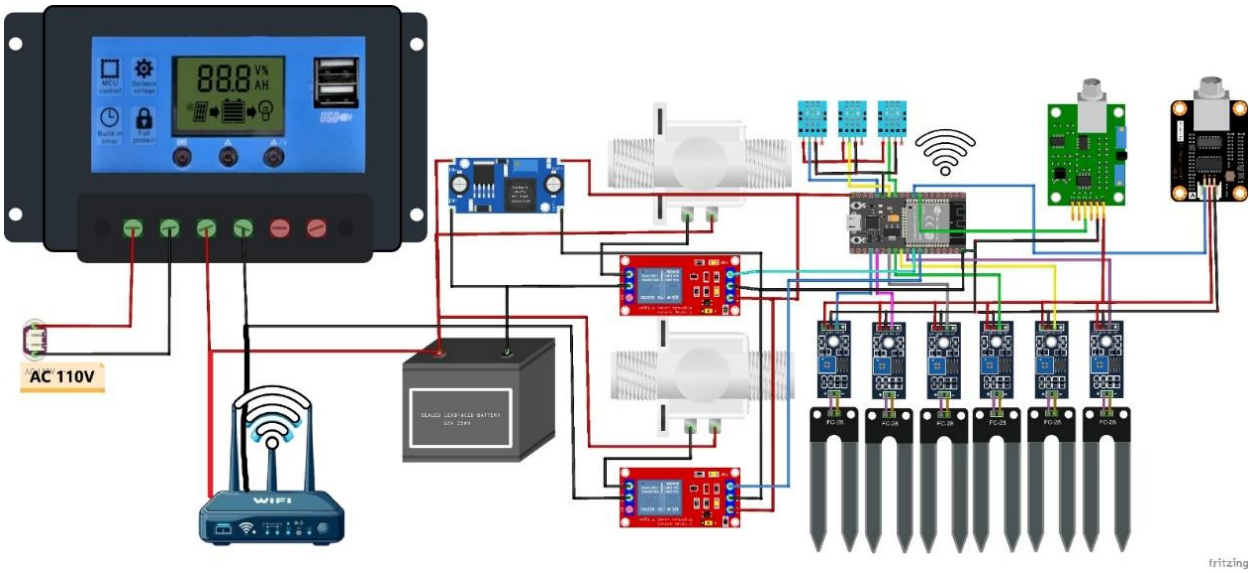



Figura 19. Diagrama general del sistema de riego.

### 3.3.6 Sistema de alimentación

Diseñar un sistema de riego IoT no se limita solo a elegir los componentes adecuados, sino también a entender sus necesidades de energía y cómo estas influyen en el funcionamiento general del sistema. Al calcular el voltaje y la energía que consumen los sensores y actuadores, podemos dimensionar de manera precisa la fuente de alimentación, prevenir sobrecargas y asegurar que el sistema sea sostenible. Además, estos cálculos son clave para optimizar el uso de la energía, reducir gastos y disminuir el impacto en el medio ambiente.

La fuente de alimentación que se uso es de 12 voltios a 2 amperios.

$$\boldsymbol{P_{fuente} = V.I} \qquad (6)$$

$$P_{fuente} = 12 * 2 = 24\ (W)$$

Tabla 13. Potencia consumida del sistema de riego.

| Cantidad | Dispositivo | Voltaje (V) | Corriente (mA) | Consumo (W) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Sensor KY-015 | 3 | 0,5 | 0,0015 |
| 4 | Sensor FC-28 | 3,3 | 0,15 | 0,00198 |
| 1 | SEN0161 (DFRobot) | 5 | 10 | 0,05 |
| 1 | Microcontrolador Esp32 | 5 | 80 | 0,4 |
| 2 | Electroválvula | 12 | 0,5 | 0,012 |
| 1 | DFRobot Medidor Analógico de Alta Conductividad | 3 | 5 | 0,015 |
| 1 | Relé de 2 canales | 5 | 70 | 0,35 |
| **Total** | | | | **0,83048** |

La potencia total requerida del sistema Tabla 13 es de: 0.84842 W, mucho menor que los 24 W que proporciona la fuente por lo cual es más que suficiente la fuente que se esta utilizando.

### 3.3.7 Pruebas de funcionamiento

Se realizo las pruebas de funcionamiento de los sensores y actuadores y que se activen cuando la humedad del sustrato es menor al 60% de acuerdo a la medición que arrojan los sensores de humedad, Figura 20 en una plantación de tomate de riñón en invernaderos mediante sistemas hidropónicas en la zona del canal de Salcedo.

A continuación, se puede observar en la Figura 21 el tablero central de control en donde se encuentra centralizado la ESP 32 donde llegan todas las conexiones del sistema de riego, la cual también está integrado una pantalla oled donde se refleja los valores que se están tomando en tiempo real y que se refregara en la nube.

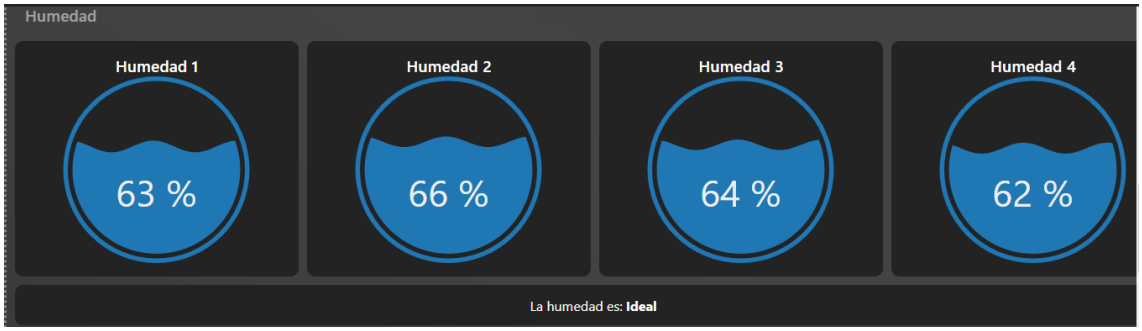



Figura 20. Porcentaje de humedad.

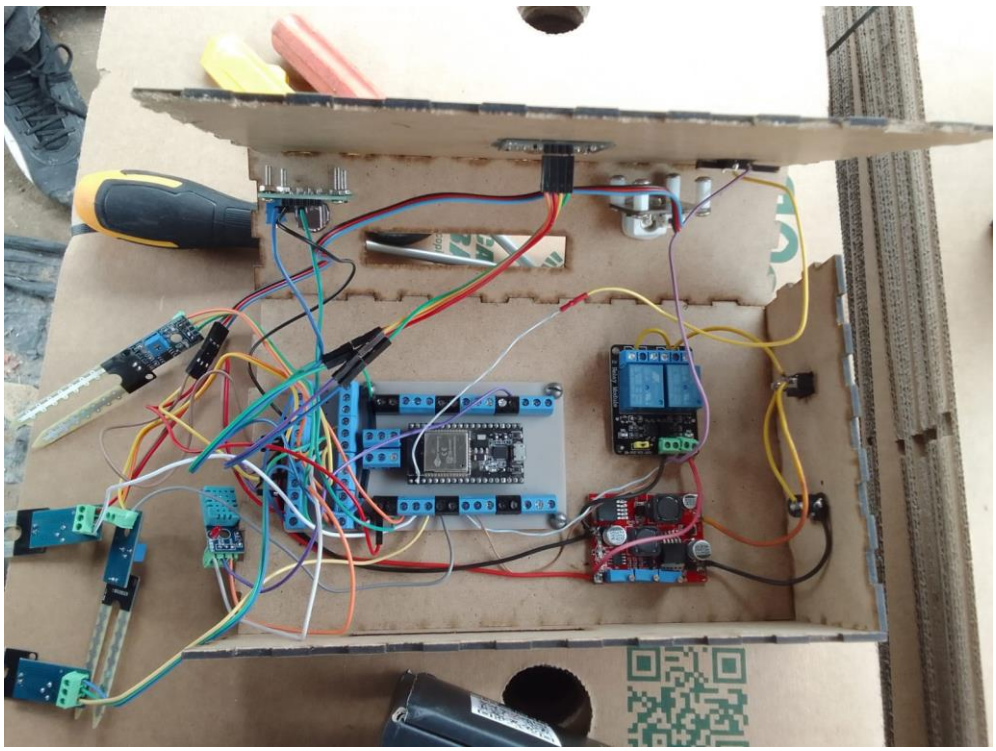


Figura 21. Tablero de conexión.




Figura 22. Tablero de conexión, vista frontal.

En la Figura 23 y Figura 24 se puede observar los sensores de temperatura y humedad respectivamente el cual se instaló en el sistema de riego de tomate de riñón.

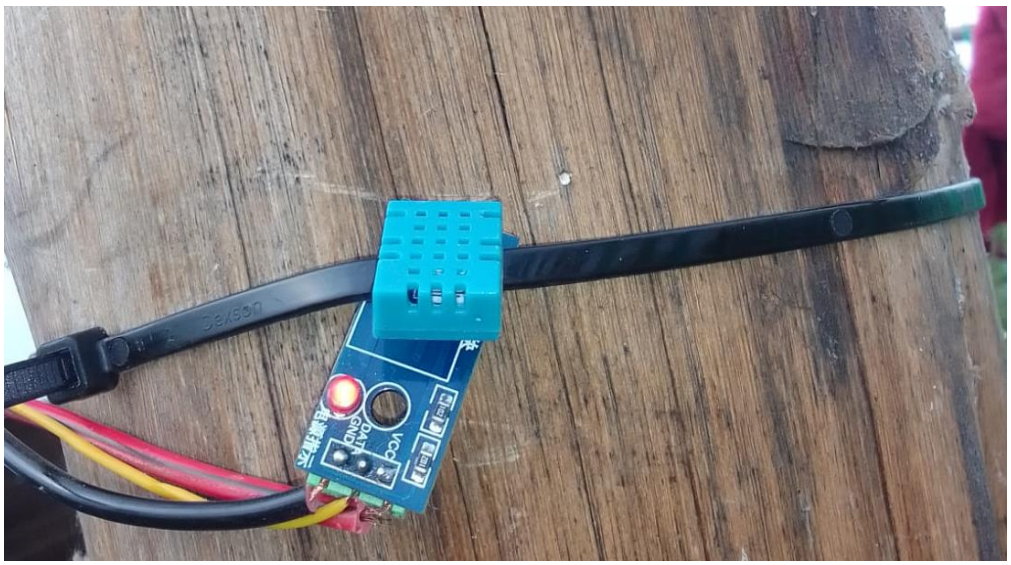



Figura 23. Sensor de temperatura.



Figura 24. Sensor de Humedad.

En la Figura 25 se visualiza la instalación de los tanques de almacenamiento de agua y fertilización con sus respectivas electroválvulas.



Figura 25. Tanque de almacenamiento.

En la Figura 26 se observa los dashboard que se implementó para la visualización y monitoreo de los datos el cual consta valores obtenidos de los sensores de humedad temperatura, pH y conductividad del agua.

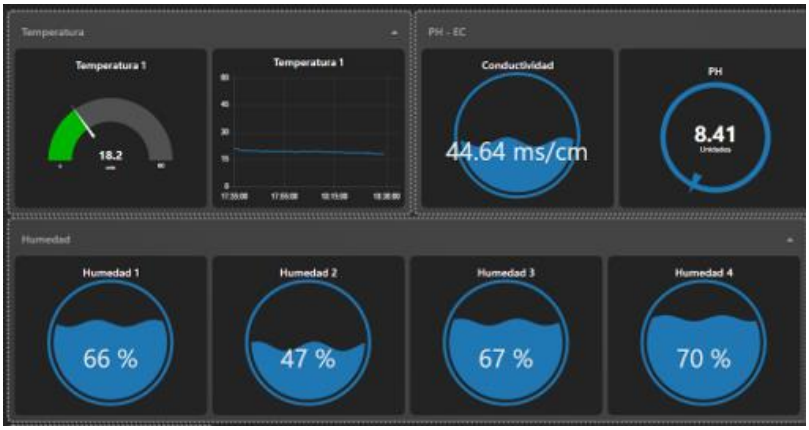



Figura 26. Datos de los sensores de temperatura, EC, pH y humedad.

En la Figura 27 se observa la codificación mediante bloques que se realizó en Node-Red, la misma en donde se encuentra las conexiones de los distintos sensores de humedad como de temperatura pH y conductividad eléctrica hacia la esp32. Mediante la codificación de la function 1 tal como se aprecia en la Figura 28 extrae los datos del objeto msg.payload de la humedad y realiza un promedio de los cuatro sensores para después realizar una condicional que se envía a hpromedio el cual debe ser menor o igual a 60 para que se active las electroválvulas y se realice el riego del agua en las plantas de tomate.

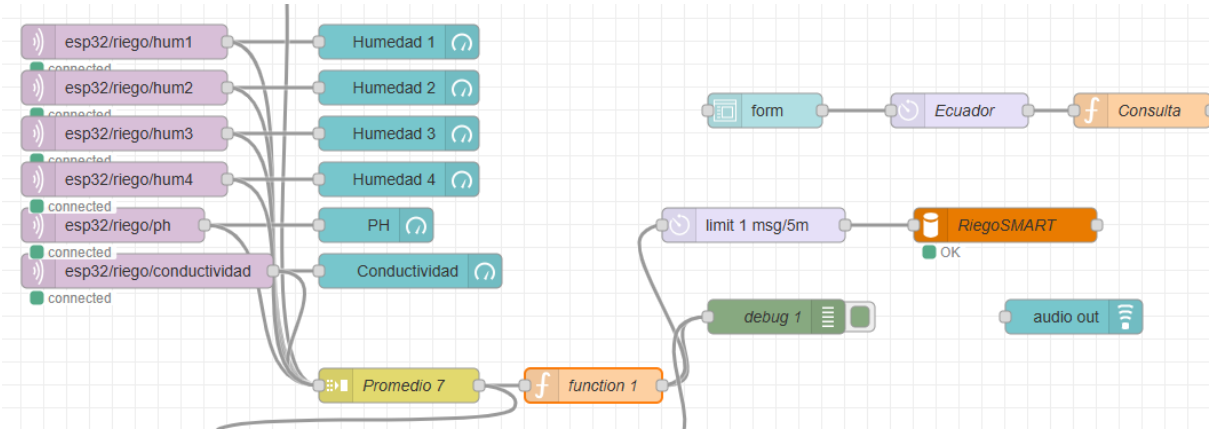



Figura 27. Codificación por bloque es Node-Red

```
let h2 = msg.payload["esp32/riego/hum2"];
let h3 = msg.payload["esp32/riego/hum3"];
let h4 = msg.payload["esp32/riego/hum4"];
let hpromedio = (h1+h2+h3+h4)/4;
let hp = msg.payload["esp32/riego/ph"];
let ec = msg.payload["esp32/riego/conductividad"];

msg.topic = "INSERT INTO datos (temp1, humedad1, humedad2, humedad3, humedad4, hpromedio,

if (hpromedio <= 60)
    {
        msg.payload = "true";
        return msg;
    }
```

Figura 28. Codificación para el envío del agua.

En la Figura 29 se puede apreciar la notificación de alerta que se instaló instaló en Node-Red mediante el cual un bot creado en Telegram va recibir las notificaciones de alertas cuando los valores de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica están fuera del rango adecuado para una buena producción de tomate riñón.

Así mismo en la Figura 30 se puede apreciar las notificaciones que llega mediante Node-Red el cual nos indica cuando la temperatura humedad conectividad eléctrica PH hoy están fuera de rango la cual puede advertir al agricultor los cambios existentes en tiempo real.

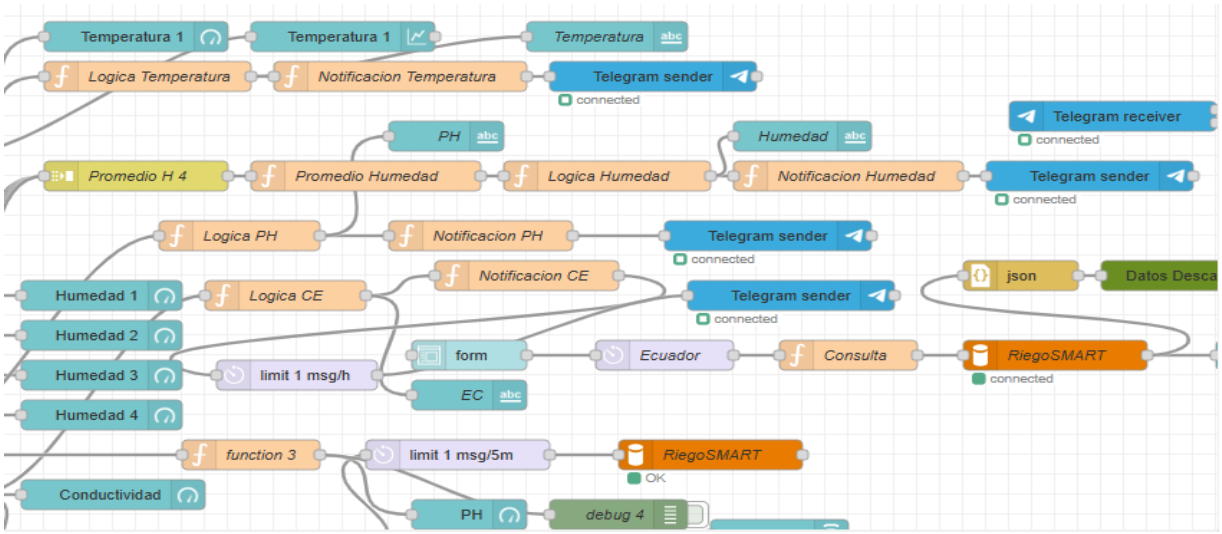



Figura 29. Conexión de bloques Node-Red a Telegram.




Figura 30. Notificaciones en Telegram.

A continuación, se detalla los valores medidos del sistema, para ello se tomó 2 pruebas de funcionamiento en diferente tiempo del día.

**Análisis de la temperatura y humedad**

La primera prueba se tomó desde las 12 am hasta las 6 am, en la que los datos fueron los siguientes de acuerdo con  la Tabla 14 esto varía dependiendo del clima que se encuentre.

De la misma forma se tomó datos desde las 2 pm hasta las 4 pm dónde los datos varían de la misma forma dependiendo del clima que se encuentre, los valores de la temperatura y humedad disminuyeron progresivamente como se aprecia en la Tabla 16. Una vez que haya censado los valores de los 4 sensores de humedad se realiza un promedio entre las mismas sí el porcentaje es menor a 60%  la electroválvula del tanque de agua se activa y permanece encendida durante 15 minutos y se vuelve a apagar y de esta manera continuará el ciclo nuevamente cuando el valor sea menos del 60%.

**Análisis del PH del agua**

En las Tabla 14 y Tabla 16 se aprecia dos valores diferentes de pH, el cual depende de qué calidad de agua se esté regando en las plantas. De acuerdo a las investigaciones realizadas el valor adecuado es de 7 según la Tabla 12. El valor promedio del pH del agua es de 8 lo que indica que el agua está casi neutro oscilando un poco para alcalina la cual se puede solucionar con ajustar el pH con sustancias acidificantes como ácido fosfórico o ácido nítrico, mientras que en la Tabla 16 el valor oscila entre 7 el cual indica que el nivel de pH está en el rango adecuado acorde a la Tabla 12.

**Análisis de la Conductividad eléctrica.**

Mediante un análisis de la Tabla 14 y Tabla 16 se aprecia el valor de EC varía entre 7 a 13 mS/cm inicialmente se puede apreciar en la Tabla 14 el valor es de 7 lo que indica qué nivel de nutrientes es adecuada y según pasa el tiempo cómo se aprecia en la Tabla 16 la conductividad eléctrica va disminuyendo debido a que las plantas van absorbiendo los nutrientes que existe en el sustrato de coco.

Tabla 14. Datos obtenidos de los diferentes sensores en la mañana.

| Tiempo | Temp. °C | Hum. 1 % | Hum. 2 % | Hum. 3 % | Hum. 4 % | H. prom. % | Ph | EC mS/cm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 04:03:58 | 12,4 | 67 | 50 | 68 | 66 | 62,75 | 8,18 | 7,16 |
| 04:08:59 | 12,5 | 67 | 66 | 67 | 65 | 66,25 | 8,21 | 7,52 |
| 04:14:00 | 12,6 | 67 | 66 | 66 | 65 | 66 | 8,2 | 6,88 |
| 04:19:01 | 12,2 | 68 | 66 | 66 | 66 | 66,5 | 8,24 | 7,16 |
| 04:24:02 | 12,6 | 67 | 68 | 65 | 65 | 66,25 | 8,21 | 7,38 |
| 04:29:03 | 12,2 | 68 | 66 | 66 | 66 | 66,5 | 8,22 | 7,69 |
| 04:34:04 | 12,2 | 60 | 64 | 69 | 67 | 65 | 8,24 | 7,52 |
| 04:39:05 | 12,2 | 68 | 64 | 65 | 64 | 65,25 | 8,21 | 7,48 |
| 04:44:05 | 12,2 | 67 | 66 | 66 | 65 | 66 | 8,22 | 7,59 |
| 04:49:06 | 12,2 | 67 | 66 | 66 | 66 | 66,25 | 8,21 | 7,2 |
| 04:54:07 | 12,2 | 67 | 66 | 66 | 65 | 66 | 8,2 | 7,38 |
| 04:59:08 | 12,3 | 68 | 66 | 67 | 66 | 66,75 | 8,23 | 7,62 |
| 05:04:09 | 12,3 | 63 | 66 | 64 | 65 | 64,5 | 8,25 | 7,52 |
| 05:09:10 | 12,4 | 67 | 65 | 66 | 65 | 65,75 | 8,24 | 7,8 |
| 05:14:11 | 12,2 | 67 | 64 | 66 | 65 | 65,5 | 8,2 | 7,38 |
| 05:19:12 | 12,2 | 68 | 65 | 66 | 65 | 66 | 8,22 | 7,55 |
| 05:24:13 | 12,2 | 67 | 65 | 66 | 65 | 65,75 | 8,21 | 7,98 |
| 05:29:14 | 12,1 | 66 | 73 | 66 | 69 | 68,5 | 8,21 | 7,55 |
| 05:34:15 | 12 | 67 | 69 | 67 | 65 | 67 | 8,22 | 7,77 |
| 05:39:16 | 11,8 | 67 | 65 | 65 | 64 | 65,25 | 8,26 | 7,59 |
| 05:44:17 | 11,8 | 69 | 66 | 65 | 66 | 66,5 | 8,23 | 7,38 |
| 05:49:17 | 11,8 | 68 | 65 | 65 | 66 | 66 | 8,22 | 7,55 |
| 05:54:18 | 11,8 | 67 | 65 | 66 | 64 | 65,5 | 8,25 | 7,38 |
| 05:59:19 | 11,8 | 68 | 64 | 66 | 67 | 66,25 | 8,23 | 7,48 |
| 06:04:20 | 11,5 | 67 | 65 | 65 | 66 | 65,75 | 8,21 | 7,38 |
| 06:09:21 | 11,5 | 67 | 65 | 66 | 62 | 65 | 8,21 | 7,48 |
| 06:14:22 | 11,5 | 68 | 66 | 66 | 66 | 66,5 | 8,21 | 7,55 |
| 06:19:23 | 11,7 | 67 | 65 | 67 | 65 | 66 | 8,25 | 7,94 |
| 06:24:24 | 11,8 | 68 | 62 | 66 | 65 | 65,25 | 8,22 | 7,45 |
| 06:29:25 | 11,8 | 67 | 66 | 66 | 66 | 66,25 | 8,23 | 7,73 |

**Eficiencia en horas de la mañana**

Se realizó un análisis estadístico de los datos proporcionados Tabla 15 para evaluar la eficiencia del sistema de riego IoT. Las variables clave a analizar son: temperatura (°C), humedad promedio (%), pH y conductividad eléctrica (EC, mS/cm). Estos cálculos nos permitirán entender el comportamiento del sistema y su eficiencia.

Tabla 15. Análisis estadísticos de datos de la mañana.

| Variable | Media | Mediana | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|
| Temperatura (°C) | 12.07 | 12.2 | 0.26 | 11.5 | 12.6 |
| Humedad Promedio (%) | 65.89 | 66 | 0.96 | 62.75 | 68.5 |
| pH | 8.22 | 8.22 | 0.02 | 8.18 | 8.26 |
| Conductividad Eléctrica (mS/cm) | 7.51 | 7.52 | 0.20 | 6.88 | 7.98 |

La temperatura promedio es de 12.07 °C, con una variabilidad muy baja (desviación estándar de 0.26 °C). Se mantiene estable, lo que sugiere que el sistema no está expuesto a grandes fluctuaciones ambientales durante el período de medición A menos que la temperatura cambie drásticamente.

La humedad promedio es de 65.89 %, con una baja variabilidad (desviación estándar de 0.96 %). La humedad se mantiene en un rango estrecho, lo que indica que el sistema de riego está funcionando de manera eficiente para mantener niveles óptimos de humedad en el sustrato.

El pH promedio es de 8.22, con una variabilidad muy baja (desviación estándar de 0.02), el pH se mantiene dentro de un rango muy estrecho, lo que indica que el sistema está regulando adecuadamente la acidez del agua.

La conductividad eléctrica promedio es de 7.51 mS/cm, con una variabilidad moderada (desviación estándar de 0.20 mS/cm) los valores de EC oscilan entre 6.88 mS/cm y 7.98 mS/cm, lo que sugiere que la concentración de sales y nutrientes en el agua es adecuada para el cultivo.

Mediante un análisis de la Tabla 14 y Tabla 16 se aprecia el valor de EC varía entre 7 a 13 mS/cm inicialmente se puede apreciar en la Tabla 14 el valor es de 7 lo que indica qué nivel de nutrientes es adecuada y según pasa el tiempo cómo se aprecia en la Tabla 16 la conductividad eléctrica va disminuyendo debido a que las plantas van absorbiendo los nutrientes que existe en el sustrato de coco.

Tabla 16. Datos obtenidos de los diferentes sensores en la tarde.

| Tiempo | Temp. °C | Hum. 1 % | Hum. 2 % | Hum. 3 % | Hum. 4 % | H. prom. % | Ph | EC mS/cm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14:00:38 | 55 | 68 | 60 | 64 | 65 | 64,25 | 7,74 | 5,44 |
| 14:05:39 | 55,5 | 68 | 69 | 67 | 64 | 67 | 7,72 | 5,4 |
| 14:10:40 | 55,5 | 68 | 67 | 67 | 64 | 66,5 | 7,73 | 4,44 |
| 14:15:41 | 52,7 | 68 | 64 | 65 | 64 | 65,25 | 7,74 | 5,13 |
| 14:20:42 | 54,5 | 68 | 63 | 67 | 63 | 65,25 | 7,7 | 4,94 |
| 14:25:42 | 55,5 | 70 | 67 | 65 | 65 | 66,75 | 7,72 | 4,84 |
| 14:30:43 | 54,4 | 69 | 66 | 67 | 64 | 66,5 | 7,73 | 4,77 |
| 14:35:44 | 45,3 | 68 | 67 | 67 | 64 | 66,5 | 7,72 | 4,56 |
| 14:40:45 | 44,4 | 69 | 64 | 67 | 63 | 65,75 | 7,76 | 4,52 |
| 14:45:46 | 52,9 | 66 | 66 | 67 | 64 | 65,75 | 7,72 | 4,57 |
| 14:50:47 | 54,1 | 69 | 61 | 66 | 75 | 67,75 | 7,74 | 4,54 |
| 14:55:48 | 51,8 | 68 | 67 | 67 | 62 | 66 | 7,72 | 3,94 |
| 15:00:49 | 50,3 | 68 | 67 | 68 | 63 | 66,5 | 7,71 | 3,97 |
| 15:05:50 | 38,4 | 68 | 66 | 67 | 63 | 66 | 7,75 | 3,97 |
| 15:10:51 | 33,3 | 68 | 67 | 67 | 62 | 66 | 7,76 | 3,77 |
| 15:15:52 | 32,3 | 67 | 67 | 66 | 62 | 65,5 | 7,76 | 3,97 |
| 15:20:53 | 29,3 | 67 | 66 | 66 | 61 | 65 | 7,77 | 3,51 |
| 15:25:54 | 28,9 | 67 | 66 | 66 | 61 | 65 | 7,74 | 5,44 |
| 15:30:54 | 27,6 | 67 | 66 | 65 | 62 | 65 | 7,76 | 5,47 |
| 15:35:55 | 26,7 | 69 | 66 | 66 | 61 | 65,5 | 7,76 | 4,54 |
| 15:40:56 | 25,1 | 68 | 66 | 66 | 61 | 65,25 | 7,76 | 3,94 |
| 15:45:57 | 24,9 | 68 | 66 | 66 | 61 | 65,25 | 7,81 | 3,97 |
| 15:50:58 | 24,7 | 68 | 65 | 58 | 59 | 62,5 | 7,8 | 3,97 |
| 15:55:59 | 24,5 | 68 | 66 | 66 | 61 | 65,25 | 7,79 | 4,17 |
| 16:01:00 | 24,1 | 70 | 66 | 66 | 60 | 65,5 | 7,77 | 3,97 |
| 16:06:01 | 24,1 | 66 | 68 | 67 | 59 | 65 | 7,77 | 3,91 |
| 16:11:02 | 24,5 | 67 | 67 | 65 | 60 | 64,75 | 7,8 | 4,55 |
| 16:16:03 | 24,8 | 67 | 66 | 65 | 60 | 64,5 | 7,77 | 3,84 |
| 16:21:04 | 24,8 | 69 | 66 | 66 | 59 | 65 | 7,81 | 3,97 |
| 16:26:05 | 24,8 | 68 | 65 | 66 | 59 | 64,5 | 7,78 | 3,97 |
| | | | | | | | | |

## Eficiencia en horas de la tarde

De la misma manera se realizó un análisis estadístico de los datos proporcionados Tabla 17 para evaluar la eficiencia de todas las variables a analizar como son: temperatura (°C), humedad promedio (%), pH y conductividad eléctrica (EC, mS/cm).

Tabla 17 Análisis estadísticos de datos en la tarde.

| Variable | Media | Mediana | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|
| Temperatura (°C) | 39.86 | 45.3 | 11.92 | 24.1 | 55.5 |
| Humedad Promedio (%) | 65.68 | 65.5 | 1.02 | 62.5 | 67.75 |
| pH | 7.75 | 7.76 | 0.03 | 7.70 | 7.81 |
| Conductividad Eléctrica (mS/cm) | 4.36 | 4.54 | 0.64 | 3.51 | 5.47 |

La temperatura promedio es de 39.86 °C, con una variabilidad significativa (desviación estándar de 11.92 °C). La temperatura mínima registrada es 24.1 °C y la máxima es 55.5 °C, lo que indica fluctuaciones importantes durante el período de medición.

La humedad promedio es de 65.68 %, con una baja variabilidad (desviación estándar de 1.02 %), se mantiene estable, lo que sugiere que el sistema de riego está funcionando de manera eficiente para mantener niveles óptimos de humedad.

El pH promedio es de 7.75, con una variabilidad muy baja (desviación estándar de 0.03), El pH se mantiene dentro de un rango estrecho, lo que indica que el sistema está regulando adecuadamente la acidez del agua acorde a las características de un sistema eficiente de riego hidropónico.

La conductividad eléctrica promedio es de 4.36 mS/cm, con una variabilidad moderada (desviación estándar de 0.64 mS/cm), los valores de EC oscilan entre 3.51 mS/cm y 5.47 mS/cm, lo que muestra que la concentración de sales y nutrientes en el sustrato es adecuada para el cultivo, y en comparación con las mediciones obtenida en la mañana según la Tabla 15 es menor eso indica que la existe una disminución debido a que existe un consumo de nutrientes de la plantade tomate.

**Análisis de resultados en la producción.**

En consecuencia, se realizó una comparación de nuestro sistema de riego IoT con un sistema de riego normal Figura 31 el cual se aprecia en la figura la diferencia visible que existe en el cuaje o polinización de la flor para un sistema de riego controlado (lado derecho de la figura) existe mayor cantidad de flores polinizadas o cuajadas a comparación del sistema de riego manual donde existen flores que no se han polinizado correctamente.



Figura 31. Comparación de los resultados del sistema

**3.4 Presupuesto**

El sistema IoT de riego para el cultivo de tomate riñón tiene un presupuesto que se calcula considerando costos de diseño, desarrollo e instalación del sistema de riego. En el presupuesto de diseño se considera el tiempo empleado en el desarrollo y el sueldo de un Ingeniero en Telecomunicaciones en Ecuador que bordea los 858 dólares según el Ministerio de Trabajo, para esto se considera 5 días laborables en cada semana, 21 días laborables en el mes para determinar el salario.

$$\boldsymbol{Salario_{xdia}} = \frac{\boldsymbol{Salario_{xmes}}}{\boldsymbol{Dias\ laborables}} \quad (\mathbf{7})$$

$$\boldsymbol{Salario_{xdia}} = \frac{858}{21}$$

$$\boldsymbol{Salario_{xdia}} = \$\ 40.86$$

Para calcular el salario por hora se toma en cuenta que la jornada laboral es de 8 horas al día:

$$\boldsymbol{Salario_{xhora}} = \frac{\boldsymbol{Salario_{xdía}}}{\boldsymbol{Horas\ laborables}} \quad (\mathbf{8})$$

$$\boldsymbol{Salario_{xhora}} = \frac{40.86\ dólares}{8\ horas}$$

$$\boldsymbol{Salario_{xhora}} = \$\ 5.11$$

El costo total del diseño se determina en un lapso de 3 meses trabajados, siendo un total de 90 horas, la hora de trabajo es de $ 5.11. Durante ese tiempo se realizó las siguientes actividades: investigación, recolección de información para el diseño, programación y calibración de los sensores pH y EC, desarrollo de la interfaz gráfica e implementación del sistema.

$$\boldsymbol{Presupuesto_{diseño}} = \boldsymbol{Horas_{trabajo}} * \boldsymbol{Salario_{xhora}} \quad (\mathbf{9})$$

$$\boldsymbol{Presupuesto_{diseño}} = 90\ horas * \$\ 5.11$$

$$\boldsymbol{Presupuesto_{diseño}} = \$\ 459.90$$

En la Tabla 18 se detallan los costos de los materiales y la suscripción al servidor utilizados para la implementación del sistema de riego.

Tabla 18. Presupuesto de materiales.

| Ítems | Elemento | Unidad | Cantidad | Valor unitario | Valor total ($) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Esp32 NodeMCU | c/u | 1 | 15 | 15 |
| 2 | Sensor KY-015 | c/u | 1 | 8 | 8 |
| 3 | Sensor FC-38 | c/u | 4 | 8 | 32 |
| 4 | Sensor pH | c/u | 1 | 42 | 37 |
| 5 | Sensor E.C. | c/u | 1 | 85 | 32 |
| 6 | Batería 12 V. | c/u | 1 | 40 | 40 |
| 7 | Módulo de 2 relés | c/u | 2 | 12 | 24 |
| 8 | Electroválvulas | c/u | 2 | 15 | 30 |
| 9 | Broca de profundidad | c/u | 1 | 12 | 12 |
| 10 | Tanques de reserva 20 litros | c/u | 1 | 5 | 5 |
| 11 | Tanques de reserva 200 litros | c/u | 1 | 25 | 25 |
| 12 | Pantalla OLED | c/u | 1 | 8 | 8 |
| 13 | Repetidor inalámbrico | c/u | 1 | 30 | 30 |
| 14 | Multímetro | c/u | 1 | 35 | 35 |
| 15 | Cable gemelo | m | 60 | 0.6 | 36 |
| 16 | Cable #18 | m | 25 | 0,2 | 5 |
| 17 | Manguera corrugada | m | 40 | 0,5 | 20 |
| 18 | Manguera de 1/2 pulgada | m | 15 | 0,6 | 9 |
| 19 | Codos | c/u | 22 | 0,5 | 11 |
| 20 | Teflon | c/u | 3 | 1 | 3 |
| 21 | Reductor 2 a 1/2 | c/u | 1 | 1,5 | 1,5 |
| 22 | Cortapico | c/u | 1 | 8 | 8 |
| 23 | Caja | c/u | 1 | 15 | 15 |
| 24 | Transporte | c/u | 4 meses | 10 | 40 |
| 25 | Alimentacion | c/u | 4 meses | 10 | 40 |
| 26 | Internet | c/u | 4 meses | 22 | 88 |
| 27 | Taipe | c/u | 3 | 1 | 3 |
| 28 | Base de datos | c/u | 1 | 22 | 22 |
| Improvistos 10% | | | | | 63.45 |
| Subtotal | | | | | 634,50 |
| Total | | | | | 697.95 |

El presupuesto total del sistema se determina por la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{Presupuesto_{total} = Presupuesto_{diseño} + Presupuesto_{implementación}} \quad (\mathbf{10})$$

$$\boldsymbol{Presupuesto_{total}} = \$\,459.90 + \$\,697.95$$

$$\boldsymbol{Presupuesto_{total}} = \$\,1157.85$$

# CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 4.1 Conclusiones

- Un sistema de riego eficiente para el cultivo de tomate riñón debe integrar tecnología avanzada, como sensores para medir parámetros clave: humedad del suelo (sensor FC-28), temperatura ambiental (sensor KY-015), pH (sensor SEN0161) y conductividad eléctrica (sensor Gravity DFRobot). Junto con actuadores como electroválvulas, estos componentes permiten la dosificación precisa de agua mediante un sistema de riego por goteo, asegurando un control óptimo de la humedad del suelo entre 60% y 80%. La automatización y el uso de un sistema IoT garantizan un uso eficiente del agua y los recursos, maximizando el rendimiento y la calidad del cultivo, mientras se promueven prácticas agrícolas sostenibles.

- La implementación de la plataforma basada en Node-RED, alojada en un servidor en la nube database MART, proporciona el servicio para el monitoreo y control remoto del sistema en tiempo real. Esto contribuye a un manejo más eficiente en la dosificación del agua para de esta manera controlar el tomate desde el trasplante.

- El sistema de riego según las fases fenológicas de establecimiento y de producción del tomate riñón optimiza el aporte hídrico enfocado en el coeficiente de cultivo (Kc), mejorando el rendimiento de la producción hasta 101 toneladas por hectárea. El control automatizado mediante sensores previene enfermedades como botrytis y pudrición de raíz, aumentando la productividad del tomate.

## 4.2 Recomendaciones

- Hacer una prueba de calibración en el sensor de pH para obtener un valor de 2.5 V cortocircuitando tierra con la señal P0 en el conector BNC y también en el sensor EC (Electric Conductivity) utilizando muestras con valores predefinidos como por ejemplo la solución de 12.88ms/cm para determinar que este censando bien, de esa manera cuando se coloque los materiales y sustratos como (Ingresa Aquí el material que vas a medir), de esa manera obtener mejores resultados.

- Tener en cuenta que el microcontrolador ESP32, tiene dos ADC de 12 bits de resolución, los cuales hay que tener en cuenta que al momento de que el dispositivo ejecuta funciones de WiFi, el ADC_2 deja de funcionar estas entradas en modo analógico, mas no las funciones digitales, de ahí que sea necesario utilizar un módulo externo como un ADC1115 o manejar las señales necesarias en el ADC_1.

- Siempre colocar la seguridad pertinente en los mensajes MQTT, debido al uso de un servidor en la nube es más propenso a los ataques como: ataques de interceptación y ataques de denegación de servicio (DoS) o interrupción, utilizar el protocolo SSL para proteger la información confidencial que transmiten los dispositivos IoT. Utilizar el sistema QoS (Quality of Service) numero 2, ya que al tener un sistema hidropónico debemos confirmar que el mensaje llego, sino el riego podría fallar.

- Debido a que la librería PubSubClient sólo puede manejar una suscripción es necesario mandar varias condiciones dentro de esta misma suscripción para poder controlar los distintos dispositivos o actuadores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


[1] Food and Agriculture Organization, «Agricultura, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la,» 2020. [En línea]. Available: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/314c8002-b084-4c85-.

[2] Ministerio del ambiente de Ecuador, « PLAN NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE,» 2021. [En línea]. Available: https://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2022/12/PLAN-NACIONAL-DE-RIEGO-YDRENAJE-2021-2026-PARA-PUBLICAR.pdf..

[3] Instituto Nacional de Estadística y Censos, «Superficie y Producción Agropecuaria Continua,» 2020. [En línea]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac2020/Tabulados%20ESPAC%202020.xlsx..

[4] D. Perez Oliveros y E. Palta Velasco, Sistema de riego con tecnología IoT: Smart drip system., vol. 23, Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, 2019, pp. 121-133.

[5] N. Salazar, « Universidad Autónoma del Estado de Morelos,» 2020. [En línea]. Available: http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/1136/SAANGY02..

[6] C. Angel, «Universidad Tecnica de Ambato,» 2022. [En línea]. Available: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/35023/1/t1999ec.pdf..

[7] L. G. Viera Molina y C. Guilcaso Molina, Utilización de sensores IoT para la automatización de sistemas de riego, vol. 9, Dominio de las Ciencias, 2023.

[8] S. Alex., «Universidad Tecnica de Ambato,» 2023. [En línea]. Available: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/38355/1/t2210ec.pdf..

[9] J. Campos Tobajas, «Tecnologías emergentes y agricultura de precisión en cultivos,» julio 2021. [En línea]. Available: https://upcommons.upc.edu/handle/2117/351127..

[10] E. Chartuni Mantovani y C. Magdalena, «Manual de Agricultura de Precisión, Montevideo, Uruguay: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA),» 2020. [En línea]. Available: https://www.gisandbeers.com/RRSS/Publicaciones/Manual-Agricultura-Precision.pdf.

[11] M. Kushwaha y S. Singh, Precision Farming. A Comprehensive Approach, Virginia: Virginia State University, 2009, pp. 442-500.

[12] R. Ibarra, «Agricultura de Precisión: La integración de las TIC en la producción Agrícola.,» *Journal of computer and electronic science, theory and applications,*, vol. 3, nº 1, p. 34'38, 2022.

[13] M. Fajardo, P. Arce y G. Gutierrez, «Guía técnica para la producción de tomate (Lycopersicum esculentum Mill) en sistema hidropónico NFT bajo estructura protegida,» 2017. [En línea]. Available: https://rikolto.org:contentReference[oaicite:1]{index=1}..

[14] B. Castillo Pérez y V. Castillo Bermeo, Uso de plaguicidas químicos en tomate riñón (Solanum lycopersicum L.) en condiciones de invernadero y campo en Loja, Ecuador, vol. 11, Loja: CEDAMAZ, 2021, pp. 22-41.

[15] H. Kreutler García, H. Ruiz Eraso y H. Chañag Miramag, Influencia del coeficiente de cultivo (Kc) en la fenología y rendimiento del cultivo de tomate en invernadero, vol. 27, Rev. UDCA Actual. Divulg. Cient, 2024.

[16] E. Q. Rodriguez, «Cultivo hidropónico de dos variedades de tomate cherry (Solanum lycopersicum var. cerasiforme) en dos sustratos bajo el sistema de riego subsuperficial mediante vasos comunicantes en el municipio de El Alto,» El Alto, 2024.

[17] J. G. De la Portilla, «Implementación de un indicador de nivel de agua para riego automatizado en huertos de traspatio utilizando IoT en tanques de ferrocemento.,» *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar,* vol. 8, nº 5, pp. 7058-7078, 2024.

[18] T. Toalombo Yumbopatin y L. Iza Velva, «Automatización de un invernadero de tomate riñón, para el control y monitoreo de la humedad del suelo y la temperatura interna del invernadero,» 2023. [En línea]. Available: http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10361.

[19] O. Monsalve Camacho, M. Henao Toro y J. Gutiérrez Díaz, «Caracterización de materiales con uso potencial como sustratos en sistemas de cultivo sin suelo. Ciencia y Tecnología Agropecuaria,» *Dialnet,* vol. 22, nº 1, pp. 1-23, 2021.

[20] H. Méndez Tomalá, R. Pertierra Lazo y C. Balmaseda Espinosa, «Eficiencia del agua en tomate cultivado en sustrato inerte. Revista Científica y Tecnológica UPSE,» *Scielo,* vol. 10, nº 2, pp. 23-34, 2023.

[21] I. Estrada Torres, «Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac,» 2023. [En línea]. Available: http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1513.

[22] D. Barrera Rojas, «Sistema de monitoreo y control en tiempo real para un invernadero de tomate a través de un aplicativo móvil.,» 2021. [En línea]. Available:

https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/15451/2021_Tesis_Barrera_Rojas_Danny_Sebastian%20%281%29.pdf?sequence=4&isAllowed=y.

[23] D. Guerrero Quiguantar, «AUTOMATIZACIÓN DE UN CULTIVO HIDROPÓNICO APLICADO A LA AGRICULTURA DE TOMATE (SOLANUM LYCOPERSICUM),» 2021. [En línea]. Available: http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.12276/1157/I.M.C%20179.pdf?sequence=1&isAllowed=n.

[24] A. Trujillo Zapata, «Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de las variables humedad, temperatura y co2 basado en tecnologías del internet de las cosas en tomate cherry bajo invernadero en la Unidad Central del Valle del Cauca,» 2023. [En línea]. Available: https://repositorio.uceva.edu.co/bitstream/handle/20.500.12993/3685/00033144.pdf?sequence=1&isAllowed=n.

[25] R. Granda Delgado, «Diseño de un sistema de control automático de ph y conductividad,» 2022. [En línea]. Available: https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/10728/Granda_Delgado_Ronald_%20Henry..pdf?sequence=1&isAllowed=y.

[26] V. A. Santos Beltrán, «Diseño de un invernadero hidropónico automático con control del pH y electroconductividad para cultivo de tomate y monitoreo en la nube,» 2023. [En línea]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25254.

[27] A. I. Rodríguez Pérez, «Efecto de los niveles de conductividad eléctrica en la producción de tomate cherry tipo cereza y tipo uva,» 2023. [En línea]. Available: http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/49132.

[28] Robotlandia, «Robotlandia tienda de robotica,» 2024. [En línea]. Available: https://robotlandia.es/30-sensores-y-modulos.

[29] Texas-Instruments, «Mouser Electronics,» [En línea]. Available: https://www.mouser.ec/ProductDetail/Texas-Instruments/HDC1080DMBR?qs=8%2FmU9qzJpL9OuhPLRSO9Vg%3D%3D.

[30] Commons Atribución, «Unitelectronics,» 2024. [En línea]. Available: https://uelectronics.com/?s=Sensor+de+Humedad+del+Suelo&post_type=product&dgwt_wcas=1.

[31] L. Llamas, «Arduino en proyectos,» 2024. [En línea]. Available: https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/.

[32] Tienda electronica avanzada, «Robot Electronica Avanzada,» 2024. [En línea]. Available: https://robot.com.ve/product/sensor-detector-de-ph-sonda-electrodo-liquido/.

[33] Atlas Scientific , «Atlas Scientific Environment Robotics,» 2024. [En línea]. Available: https://atlas-scientific.com/kits/ph-kit/?srsltid=AfmBOoppiQWbDdQwmWbDjiWfnWB41e4KC6YuYaFbzrH0p4Y4-ItFtBS6.

[34] aliexpress, «Aliexpress tienda,» 2024. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/4000873026986.html.

[35] Naylamp, «Naylamp Mechatronics,» 2024. [En línea]. Available: https://naylampmechatronics.com/buscar?controller=search&s=esp.

[36] TECmikro, «TECmikro Ecuador,» 2024. [En línea]. Available: https://tecmikro.com/motores/560-electrovalvula-valvula-solenoide.html.

[37] Aliexpress, «Aliexpress Ecuador,» 2024. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/32481414450.html#nav-specification.

[38] Atlas-Scientific, «Atlas-Scientific Environment Robotics,» 2024. [En línea]. Available: https://atlas-scientific.com/probes/conductivity-probe-k-1-0/?srsltid=AfmBOooXe5YL0cky0Puzjo3SACSVu4m9PtjMwOjtHWiJU-yYSOYwloQ2.

[39] A Halma, «Sensorex,» [En línea]. Available: https://sensorex.com/product/sensorex-cs150-12-mm-graphite-contacting-conductivity-sensor/?srsltid=AfmBOoqeDLIo3FeWS2HfaYJYCzhepuK_azXA7h6XpbsKP8MXCXp6MbiB.

[40] Minew, «Linkedin,» 2024. [En línea]. Available: https://www.linkedin.com/pulse/7-essential-iot-communication-protocols-every-developer-must-8ifac.

[41] Xaldigital, «Tecnologías y protocolos de comunicación de IoT,» 2023. [En línea]. Available: https://www.xaldigital.com/blog/tecnologias-y-protocolos-de-comunicacion-de-iot/.

[42] Myownbusiness Institute, «Santa Clara University,» 2025. [En línea]. Available: https://www.scu.edu/mobiespanol/cursos/iniciar-un-negocio/herramientas-de-comunicacion/.

[43] A. T. Arias Guido, «Reutilización del efluente de un humedal construido de flujo subsuperficial vertical en un cultivo hidropónico tipo NFT de Lactuca sativa,» *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay,* vol. 26, nº 1, pp. 35-48, 2021.

[44] J. B. Jones, Aglservices, New York: CRC PRESS, 2005.

[45] J. A. García Bello, «Sistema aeropónico e hidropónico en la producción de jitomate (Solanum lycopersicum) bajo invernadero,» 2023. [En línea]. Available: https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstreams/d77e8526-984d-4214-b373-b04c2454f0a9/download.

# ANEXOS

Anexo A. sensor de pH. con su respectivo controlador.

En la Figura A1 y Figura A2 se muestra el sensor de pH. con sus características.




Figura A1. Sensor de pH

El modulo PH-4502C Sensor de PH es un dispositivo que permite medir el PH con ayuda de una sonda que es la que toma la lectura (electrodo E201) mediante el conector BCN.
¿Para qué sirve el PH-4502C Sensor de PH?

El PH-4502C es útil si cuentas con un jardín hidropónico, acuario, laboratorio , o que realices algún proceso como fermentación de cerveza en donde requieras medir el PH.
ESPECIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS
Modulo: PH-4502C

Voltaje de Alimentación: 5 V
Corriente: 10mA
Dimensiones: 42 X 32 X 20 mm

Electrodo E201-BNC

Tipo de sonda: Grado de laboratorio.
Tiempo de Respuesta: 5 seg
Rango de detección: 0 ~ 14.(acido /base)
Rango de temperatura:0 – 80°C
Temperatura de trabajo:10~50°C
Humedad de trabajo: 95 RH sin condensación

Figura A2. Características sensor de pH

Anexo B. Sensor de conductividad eléctrica.

En la Figura B1 y B2 representa el sensor de conductividad eléctrica con su respectivo controlador y sus características.

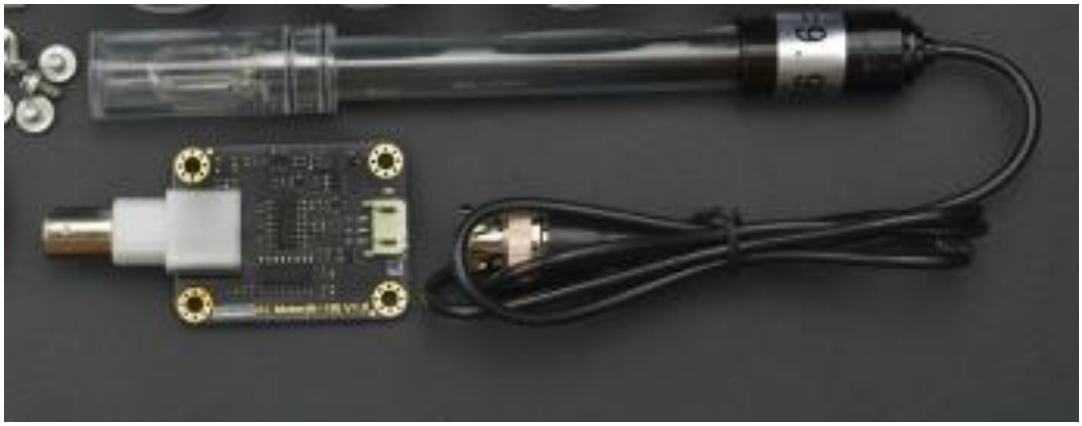


Figura B1. Sensor de EC con su respectivo controlador.

**Features**

- 3.0~5.0V wide voltage input，0~3.2V output voltage, which is compatible with 5V and 3.3V mainboard
- AC excitation source, effectively reduce polarization
- Gravity connector and BNC connector, plug and play, no welding
- Software library supports single-point calibration, and automatically identifies standard buffer solution, integrates temperature compensation algorithm
- Uniform size and connector , convenient for the design of mechanical structures

**Specification**

**Signal Conversion Board**

- Supply Voltage: 3.0~5.0V
- Output Voltage: 0~3.2V
- Probe Connector: BNC
- Signal Connector: PH2.0-3Pin
- Measurement Accuracy: ±5% F.S.
- Board size: 42mm*32mm/1.65in*1.26in

**Electrical Conductivity Probe**

- Probe Type: Laboratory Grade
- Cell Constant: 10±2
- Support Detection Range: 10~100ms/cm
- Temperature Range: 0~40ºC
- Probe Life: >0.5 years (Actual life is related to the frequency of use and scene)
- Cable Length: 100±2cm

Figura B2. Características de sensor de EC.

Anexo C. Datos técnicos de las conexiones del sensor de humedad

En la Figura C1 y C2. se muestran datos técnicos de las conexiones del sensor de humedad.

**Sensor de Humedad de Suelo FC-28**

Un higrómetro de suelo FC-28 es un sensor que mide la humedad del suelo. Son ampliamente empleados en sistemas automáticos de riego para detectar cuando es necesario activar el sistema de bombeo. El FC-28 es un sensor sencillo que mide la humedad del suelo por la variación de su conductividad.

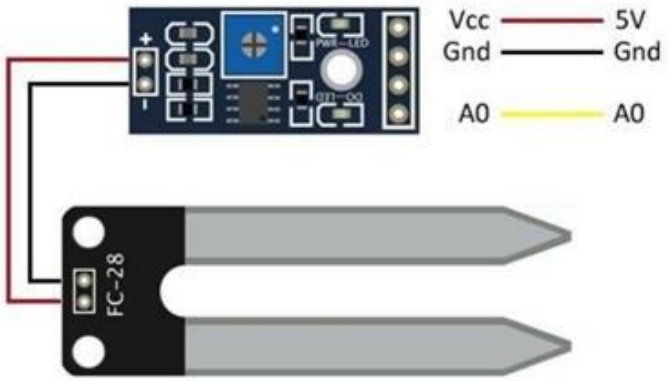



Figura C1. Características sensor de pH

- Sensibilidad ajustable mediante el potenciómetro (color azul)
- Voltaje de operación: 3.3V - 5Vdc
- Modo de salida dual, salida digital y salida analógica más precisa.
- Agujeros de montaje para una fácil instalación.
- Dimensiones Tarjeta : 30mm x 16mm
- Dimensiones de sonda: 60mm x 30mm
- Módulo amplificador LM393.

Figura C2. Características sensor de pH

Anexo D. Conexiones del módulo ESP32

En la Figura D1 y D2. se muestran las conexiones del módulo ESP32 datos técnicos de las conexiones del sensor de humedad.

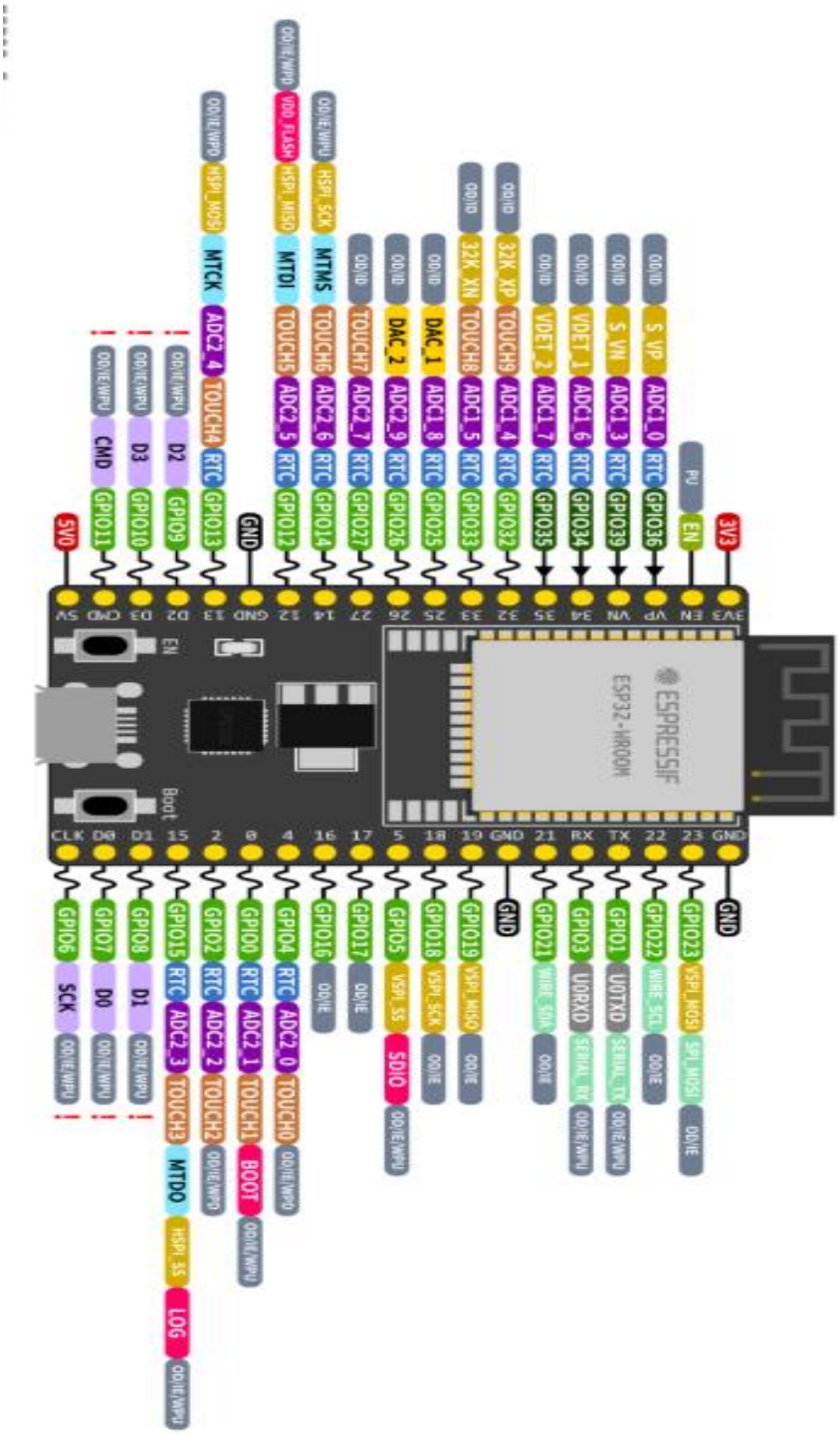



Figura D1. Conexiones del módulo ESP32.

# 1. Overview

ESP32 is a single chip 2.4 GHz Wi-Fi and Bluetooth combo chip designed with TSMC ultra low power 40 nm technology. It is designed and optimized for the best power performance, RF performance, robustness, versatility, features and reliability, for a wide variety of applications, and different power profiles.

## 1.1 Featured Solutions

### 1.1.1 Ultra Low Power Solution

ESP32 is designed for mobile, wearable electronics, and Internet of Things (IoT) applications. It has many features of the state-of-the-art low power chips, including fine resolution clock gating, power modes, and dynamic power scaling.

For instance, in a low-power IoT sensor hub application scenario, ESP32 is woken up periodically and only when a specified condition is detected; low duty cycle is used to minimize the amount of energy that the chip expends. The output power of the power amplifier is also adjustable to achieve an optimal trade off between communication range, data rate and power consumption.

**Note:**
For more information, refer to Section 3.7 RTC and Low-Power Management.

### 1.1.2 Complete Integration Solution

ESP32 is the most integrated solution for Wi-Fi + Bluetooth applications in the industry with less than 10 external components. ESP32 integrates the antenna switch, RF balun, power amplifier, low noise receive amplifier, filters, and power management modules. As such, the entire solution occupies minimal Printed Circuit Board (PCB) area.

ESP32 uses CMOS for single-chip fully-integrated radio and baseband, and also integrates advanced calibration circuitries that allow the solution to dynamically adjust itself to remove external circuit imperfections or adjust to changes in external conditions.

As such, the mass production of ESP32 solutions does not require expensive and specialized Wi-Fi test equipment.

## 1.2 Basic Protocols

### 1.2.1 Wi-Fi

- 802.11 b/g/n/e/i
- 802.11 n (2.4 GHz), up to 150 Mbps
- 802.11 e: QoS for wireless multimedia technology
- WMM-PS, UAPSD
- A-MPDU and A-MSDU aggregation
- Block ACK

- Fragmentation and defragmentation
- Automatic Beacon monitoring/scanning
- 802.11 i security features: pre-authentication and TSN
- Wi-Fi Protected Access (WPA)/WPA2/WPA2-Enterprise/Wi-Fi Protected Setup (WPS)
- Infrastructure BSS Station mode/SoftAP mode
- Wi-Fi Direct (P2P), P2P Discovery, P2P Group Owner mode and P2P Power Management
- UMA compliant and certified
- Antenna diversity and selection

**Note:**
For more information, refer to Section 3.5 Wi-Fi.

Figura D2. Características del módulo ESP32.

## Anexo E. Medidas de la electroválvula

En la Figura E1 y E2. se muestran las medidas y características de la electroválvula.




Figura E1. Medidas de electroválvula.

**Características**

Esta es una electrovalvula normalmente cerrada, así que si usted pone agua presurizada, el agua será bloqueada. Entonces, si usted conecta el voltaje de alimentación a la bobina, la válvula solenoide se abrirá y el agua podrá circular (si tiene la presión suficiente). Para la instalación se debe tomar en cuenta la dirección o sentido de circulación del agua recomendada por el fabricante, la cual se indica por medio de una flecha grabada en la parte inferior de la electroválvula. Es compatible con las conexiones roscadas estándar para tuberías de media pulgada que se pueden adquirir en cualquier ferreteria.

En funcionamiento, esta electrovalvula genera calor (debido a la disipación de potencia de la bobina), pudiendo alcanzar una temperatura de 60 grados Celsius en media hora de trabajo (en seco, sin ningún fluido circulando y con la alimentación conectada), a partir de ese punto la temperatura se estabiliza y deja de aumentar. Como es de esperar, con el agua o el aire circulando la temperatura en funcionamiento será menor, debido a que el agua y el aire circulante ayudan a eliminar el calor. Por tanto el calentamiento no producirá ningún daño en la valvula solenoide ya que este dispositivo está diseñado para trabajar a temperaturas de hasta 90 grados.

**NOTA:** Este dispositivo **NO es una valvula solenoide de alimentación por gravedad** (NO sirve para riego por goteo). Esto significa que usted necesitará suficiente presión de agua/aire para abrir la membrana de la válvula. Se opera con un mínimo de 3 psi, permitiendo alrededor de 1.5 litros/min de flujo. Compruebe las especificaciones abajo para los detalles exactos. Una manguera de jardín, la tubería de agua potable residencial u otro sistema de presión similar deberían funcionar bien.

**Especificaciones**

- Diametro de entrada y salida: 1/2"
- Flujo: 5 litros/min a 0.2 MPa (29 psi)
- Estado: NC Normalmente cerrado (sin energia electrica no deja circular ningun fluido)
- Temperatura de trabajo: hasta 90 grados Celsius
- Presion de trabajo: 0.02 MPa-0.8 MPa (3-116 psi)
- Dimensiones: 90x50x60mm (LxWxH)
- Voltaje: 12VCD / 110VCA / 220VCA
- Corriente: 250mA@12V / 30mA@110V / 15mA@220V
- Vida util: Mas de 1.000.000 de ciclos
- Material del cuerpo de la valvula: PP Plastico
- Material de la bobina: Bronce
- Aplicacion: control de flujo de agua/aire

Figura E2. Características de la electroválvula.

## Anexo F. Sustrato de Coco

En la Figura F1 se aprecia el sustrato de coco mezclado con abono orgánico listo para utilizar en el trasplante del tomate.



Figura F1. Sustrato de coco.

Anexo G. Tomate con el sistema de riego.

En la figura G1 se aprecia las plantas de tomate ya trasplantado de 30 dias.



Figura G1. Sistema de riego del tomate.

Anexo H. Planta de tomate iniciando la cosecha.

En la Figura H1 se aprecia el tomate iniciando su maduración, listo para la cosecha.



Figura H1. Inicio de maduración del tomate.

Anexo I. Instalación del sensor de humedad.

En la Figura I1 se realizó la instalación de los sensores de humedad.



Figura I1. Instalación del sensor de humedad.

Anexo J. Conexión del tanque a la electroválvula.

En la Figura J1 se aprecia la instalación de la electroválvula al tanque de reserva para los nutrientes.




Figura J1. Instalación de la electroválvula

Anexo K. Diagrama de conexión de la ESP32.

En la Figura K1 se aprecia el módulo ESP32 centralizado con las salidas, en donde se conectan los sensores.

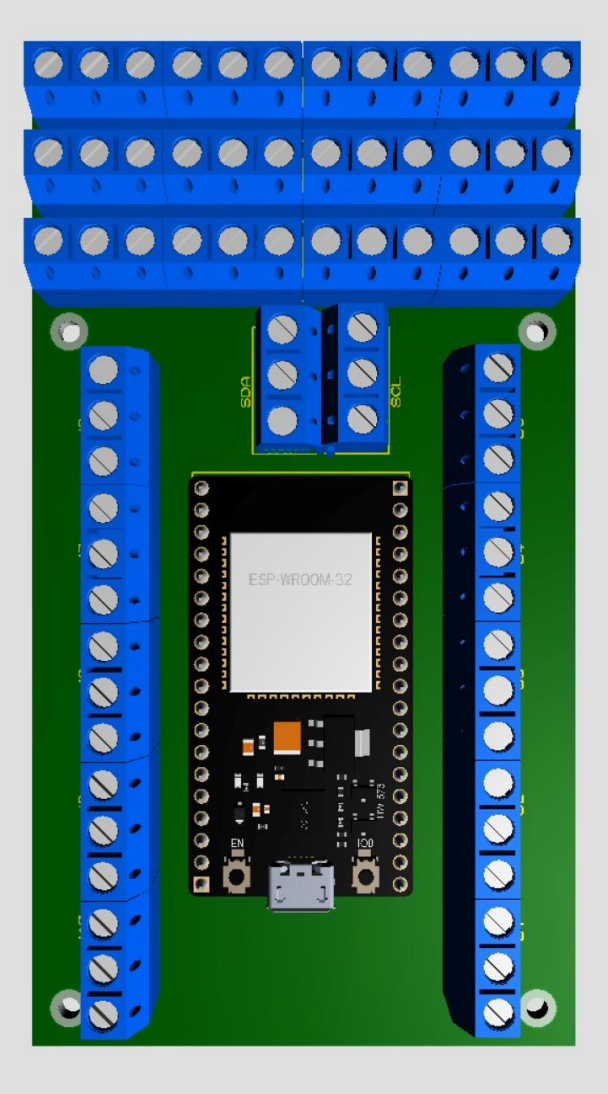
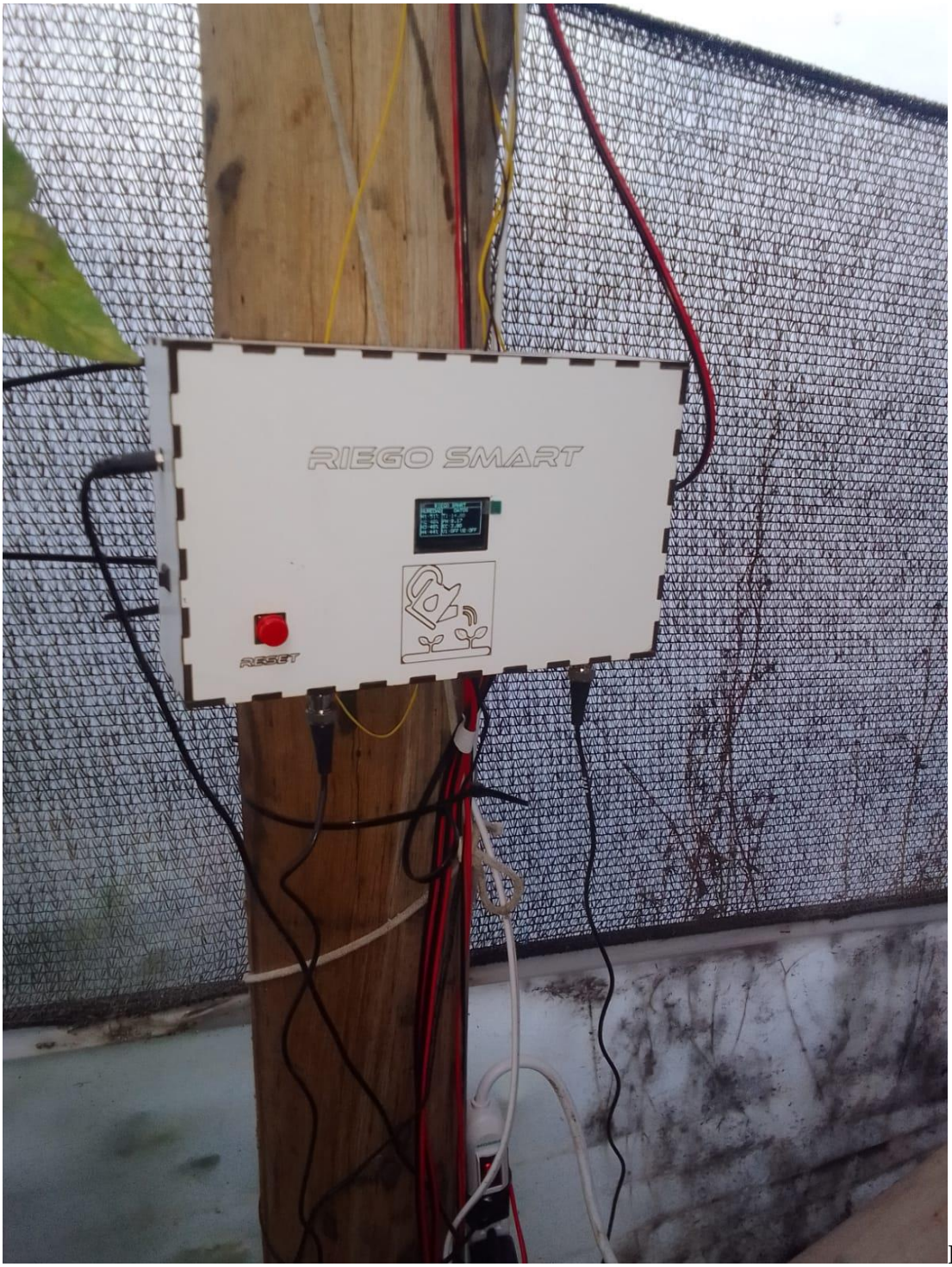



Figura K1. Modulo ESP32 en 3D con sus respectivas conexiones.

Anexo L. Caja de conexión de los sensores hacia la ESP32.

En la Figura L1 se encuentra la caja con todas las conexiones en funcionamiento.




En

Figura L1. Caja de principal de conexiones.

Anexo M. Tanque de almacenamiento de agua.

En la Figura M1 se encuentra los tanques de almacenamiento de agua y nutrientes.




Figura M1. Tanque de almacenamiento de agua y nutrientes.

Anexo N. Tanque de agua y nutrientes en funcionamiento.

En la Figura N1 se encuentra los tanques de almacenamiento de agua y nutrientes conectado a sus respectivas electroválvulas listo para su funcionamiento.



Figura N1. Tanques de almacenamiento de agua y nutrientes en funcionamiento.

Anexo O. Datos de humedad, temperatura, EC y Ph.

En la Figura O1 se visualiza los datos obtenidos mediante Node-Red de los sensores instalados en el sistema de riego.

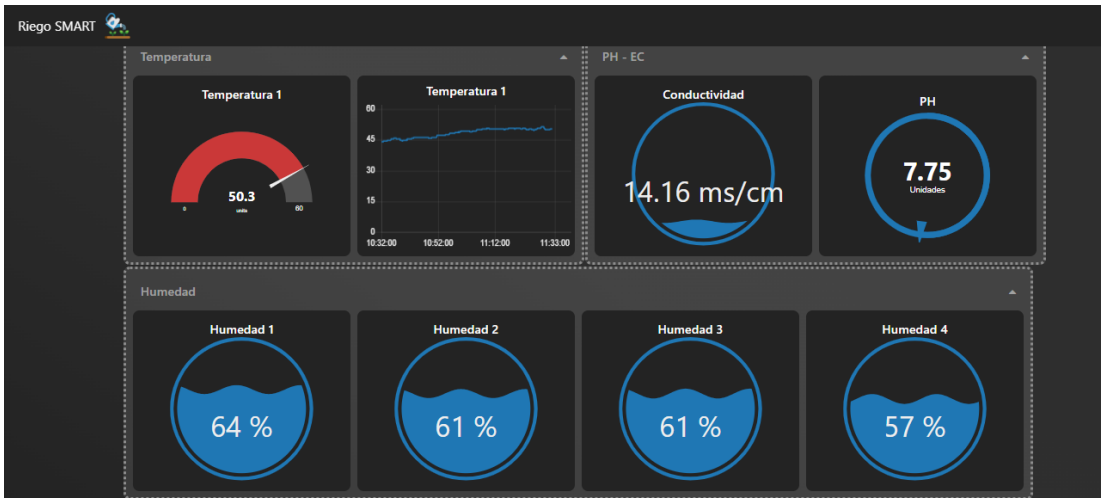
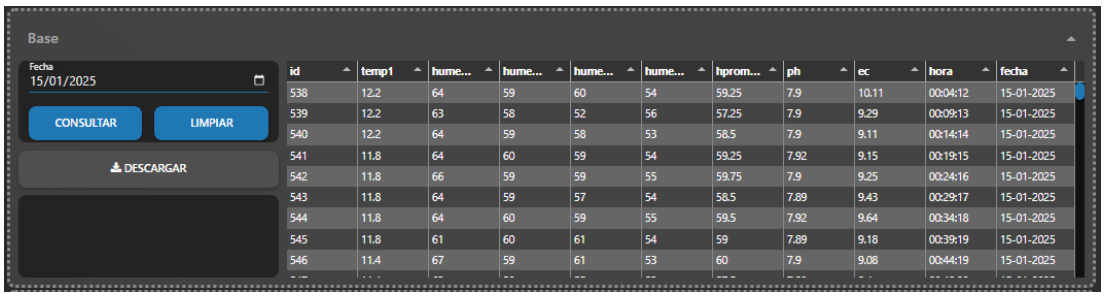



Figura O1. Datos de sensores en tiempo real.

Anexo P. Fichero para consultar los datos de todos los sensores.

En la Figura P1 se visualiza el fichero de consulta de datos obtenidos de los sensores mediante selección de una fecha.




| id | temp1 | hume... | hume... | hume... | hume... | hprom... | ph | ec | hora | fecha |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 538 | 12.2 | 64 | 59 | 60 | 54 | 59.25 | 7.9 | 10.11 | 00:04:12 | 15-01-2025 |
| 539 | 12.2 | 63 | 58 | 52 | 56 | 57.25 | 7.9 | 9.29 | 00:09:13 | 15-01-2025 |
| 540 | 12.2 | 64 | 59 | 58 | 53 | 58.5 | 7.9 | 9.11 | 00:14:14 | 15-01-2025 |
| 541 | 11.8 | 64 | 60 | 59 | 54 | 59.25 | 7.92 | 9.15 | 00:19:15 | 15-01-2025 |
| 542 | 11.8 | 66 | 59 | 59 | 55 | 59.75 | 7.9 | 9.25 | 00:24:16 | 15-01-2025 |
| 543 | 11.8 | 64 | 59 | 57 | 54 | 58.5 | 7.89 | 9.43 | 00:29:17 | 15-01-2025 |
| 544 | 11.8 | 64 | 60 | 59 | 55 | 59.5 | 7.92 | 9.64 | 00:34:18 | 15-01-2025 |
| 545 | 11.8 | 61 | 60 | 61 | 54 | 59 | 7.89 | 9.18 | 00:39:19 | 15-01-2025 |
| 546 | 11.4 | 67 | 59 | 61 | 53 | 60 | 7.9 | 9.08 | 00:44:19 | 15-01-2025 |

Figura P1. Fichero de consulta de datos.

Anexo Q. Control manual del agua y nutrientes.

En la Figura Q1 se encuentra botones de control manual para el envío de agua y nutrientes a las plantas de tomate.

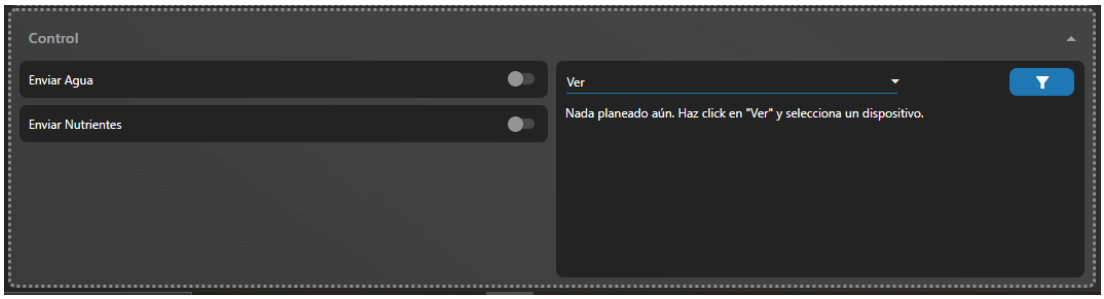



Figura Q1. Control manual del agua y nutrientes.

Anexo R. Codificación en Arduino IDE para establecer la conexión con los sensores.

En la Figura R1 esta el código principal del Arduino IDE el cual establece la conexión de los servicios de comunicación con todos los sensores y actuadores.

```
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SH110X.h>
#include <WiFiManager.h>
#include <PubSubClient.h>
#include "DHT.h"
#include "DFRobot_EC10.h"
#include <EEPROM.h>

const char* mqttServer = "108.181.199.63";
const int mqttPort = 1883;
const char* mqttUser = "chimba";
const char* mqttPassword = "Chimbatesis1#";

const char* mqttTopic = "esp32/riego/hum1";
const char* mqttTopic1 = "esp32/riego/hum2";
const char* mqttTopic2 = "esp32/riego/hum3";
const char* mqttTopic3 = "esp32/riego/hum4";
const char* mqttTopic4 = "esp32/riego/temp1";
const char* mqttTopic5 = "esp32/riego/ph";
const char* mqttTopic6 = "esp32/riego/conductividad";
```

```
const char* mqttTopic7 = "esp32/riego/valvulas";

const int rele1 = 27; // Rele1
const int rele2 = 26; // Rele2

const int hum1 = 33;  // Humedad 1
const int hum2 = 32;  // Humedad 2
const int hum3 = 35;  // Humedad 3
const int hum4 = 34;  // Humedad 4
// pH variables
const int ph = 39;
int sensorValue = 0;
unsigned long int avgValue;
float b;
int buf[10],temp;

String valvula1;
String valvula2;

#define EC_PIN 36  // Sensor de Conductividad Electrica
float voltage,ecValue,temperature = 25;
DFRobot_EC10 ec;

#define DHTPIN1 15 // Sensor Temperatura 2
#define DHTTYPE DHT11

DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE);

#define i2c_Address 0x3c
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1
Adafruit_SH1106G display = Adafruit_SH1106G(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT,
&Wire, OLED_RESET);


WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
WiFiManager wm;
WiFiManagerParameter custom_field;
bool wm_nonblocking = false;
#define TRIGGER_PIN 0

void setup()
{
  WiFi.mode(WIFI_STA); // explicitly set mode, esp defaults to STA+AP
  Serial.begin(115200);
  Serial.setDebugOutput(true);
```

```
  delay(3000);
  pinMode(rele1, OUTPUT);  //definir pin como salida
  pinMode(rele2, OUTPUT);  //definir pin como salida
  digitalWrite(rele1, HIGH);
  digitalWrite(rele2, HIGH);
  pinMode(TRIGGER_PIN, INPUT);
  delay(250); // wait for the OLED to power up
  dht1.begin();
  ec.begin();
  display.begin(i2c_Address, true); // Address 0x3C default
  display.clearDisplay();

   // text display tests
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(SH110X_WHITE);
  display.drawRect(0, 0, 128, 64, SH110X_WHITE);
  display.setCursor(30, 2);
  display.print("RIEGO SMART");
  display.setCursor(34, 18);
  display.print("BIENVENIDO");
  display.setCursor(6, 34);
  display.print("INGRESE AL PORTAL Y");
  display.setCursor(16, 50);
  display.print("CONFIGURE LA RED");
  display.display();
  display.clearDisplay();
  delay(2000);

  if(wm_nonblocking) wm.setConfigPortalBlocking(false);
  int customFieldLength = 40;
  const char* custom_radio_str = "<br/><label for='customfieldid'>Custom
Field Label</label><input type='radio' name='customfieldid' value='1'
checked> One<br><input type='radio' name='customfieldid' value='2'>
Two<br><input type='radio' name='customfieldid' value='3'> Three";
  new (&custom_field) WiFiManagerParameter(custom_radio_str); // custom
html input

  wm.addParameter(&custom_field);
  wm.setSaveParamsCallback(saveParamCallback);
  std::vector<const char *> menu =
{"wifi","info","param","sep","restart","exit"};
  wm.setMenu(menu);
  // set dark theme
  wm.setClass("invert");
  wm.setConfigPortalTimeout(60); // auto close configportal after n
seconds
  bool res;
```

```
  res = wm.autoConnect("RIEGOSMART","Riego123#"); // password protected
ap

  if(!res) {
    Serial.println("Fallo la conexion o excedio el tiempo");
    // ESP.restart();
  }
  else {
    //if you get here you have connected to the WiFi
    Serial.println("Conexion exitosa :)");
  }
  client.setServer(mqttServer, 1883);
  client.setCallback(callback);
}

void callback(char* mqttTopic7, byte* payload, unsigned int length)
{
  Serial.print("Message arrived on topic: ");
  Serial.print(mqttTopic7);
  Serial.print(". Message: ");
  String messageTemp;

  for (int i = 0; i < length; i++) {
    Serial.print((char)payload[i]);
    messageTemp += (char)payload[i];
  }
  Serial.println();
    if (String(mqttTopic7) == "esp32/riego/valvulas") {
    Serial.print("Cambiando Rele a: ");
    if(messageTemp == "R1_ON")
    {
      Serial.println("Rele 1 Encendido");
      digitalWrite(rele1, LOW);
      valvula1 = "ON";
    }
    else if(messageTemp == "R1_OFF")
    {
      Serial.println("Rele 1 Apagado");
      digitalWrite(rele1, HIGH);
      valvula1 = "OFF";
    }
    else if(messageTemp == "R2_ON")
    {
      Serial.println("Rele 2 Encendido");
      digitalWrite(rele2, LOW);
      valvula2 = "ON";
    }
    else if(messageTemp == "R2_OFF")
```

```
    {
      Serial.println("Rele 2 Apagado");
      digitalWrite(rele2, HIGH);
      valvula2 = "OFF";
    }
  }
}

void setupMQTT() {

  while (!client.connected()) {
    Serial.println("Conectando al broker MQTT...");
    if (client.connect("ESP32Client", mqttUser, mqttPassword)) {
      Serial.println("Conexión MQTT establecida");
      client.subscribe(mqttTopic7);
    } else {
      Serial.print("Error de conexión MQTT, estado: ");
      Serial.print(client.state());
      Serial.println(" Intentando nuevamente en 5 segundos...");
      delay(5000);
    }
  }
}

void checkButton(){
  // check for button press
  if ( digitalRead(TRIGGER_PIN) == LOW ) {
    // poor mans debounce/press-hold, code not ideal for production
    delay(50);
    if( digitalRead(TRIGGER_PIN) == LOW ){
      Serial.println("Boton Presionado");
      // still holding button for 3000 ms, reset settings, code not ideaa
for production
      delay(3000); // reset delay hold
      if( digitalRead(TRIGGER_PIN) == LOW ){
        Serial.println("Boton Sostenido");
        Serial.println("Borrando la configuracion, Reiniciando");
        wm.resetSettings();
        ESP.restart();
      }

      // start portal w delay
      Serial.println("Empezando la configuracion del Portal");
      wm.setConfigPortalTimeout(120);

      if (!wm.startConfigPortal("RIEGOSMART","Riego123#")) {
        Serial.println("Fallo la conexion o excedio el tiempo");
        delay(3000);
```

```
        // ESP.restart();
      } else {
        //if you get here you have connected to the WiFi
        Serial.println("Conexion exitosa :)");
      }
    }
  }
}

String getParam(String name){
  //read parameter from server, for customhmtl input
  String value;
  if(wm.server->hasArg(name)) {
    value = wm.server->arg(name);
  }
  return value;
}

void saveParamCallback(){
  Serial.println("[CALLBACK] saveParamCallback fired");
  Serial.println("PARAM customfieldid = " + getParam("customfieldid"));
}

void loop() {

  if (!client.connected())
  {
  setupMQTT();
  }
  client.loop();
  checkButton();
      // Obtener el tiempo actual en milisegundos
  static unsigned long timepoint = millis();
  if(millis()-timepoint>1000U)  //time interval: 1s
  {
    timepoint = millis();
    voltage = analogRead(EC_PIN)/4095.0*3300.0;  // read the voltage
    //temperature = readTemperature();  // read your temperature sensor
to execute temperature compensation
    ecValue =  ec.readEC(voltage,temperature);  // convert voltage to EC
with temperature compensation
  }
  ec.calibration(voltage,temperature);  // calibration process by Serail
CMD
    // Verificar si ha transcurrido el intervalo de tiempo
  if(wm_nonblocking) wm.process(); // avoid delays() in loop when non-
blocking and other long running code
```

```
  float temp1 = dht1.readTemperature();

  int humedad1 = analogRead(hum1);
  int humedad2 = analogRead(hum2);
  int humedad3 = analogRead(hum3);
  int humedad4 = analogRead(hum4);


  int h1 = ( 100 - ( (humedad1/4095.00) * 100 ) );
  int h2 = ( 100 - ( (humedad2/4095.00) * 100 ) );
  int h3 = ( 100 - ( (humedad3/4095.00) * 100 ) );
  int h4 = ( 100 - ( (humedad4/4095.00) * 100 ) );

// Codigo para medir PH en escala de 1 a 14
  for(int i=0;i<10;i++)
  {
    buf[i]=analogRead(ph);
    delay(10);
  }
  for(int i=0;i<9;i++)
    {
    for(int j=i+1;j<10;j++)
      {
      if(buf[i]>buf[j])
        {
        temp=buf[i];
        buf[i]=buf[j];
        buf[j]=temp;
      }
    }
  }
  avgValue=0;
  for(int i=2;i<8;i++)
    avgValue+=buf[i];
  //float pHVol=(float)avgValue*5.0/1024/6;
  float pHVol=(float)avgValue/6*3.3/4095;
  float phValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
  //float phValue = 7 + ((2.5 - pHVol) / 0.18);

  delay(100);
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(SH110X_WHITE);
  display.drawRect(0, 0, 128, 64, SH110X_WHITE);
  display.drawLine(0, 10, 128, 10, SH110X_WHITE);
  display.drawLine(44, 10, 44, 64, SH110X_WHITE);
  // Voltajes y datos individuales
  display.setCursor(29, 2);
  display.print("RIEGO SMART");
```

```
  display.setCursor(2, 12);
  display.print("HUMEDAD");
  display.setCursor(2, 22);
  display.println("H1:" + String(h1) + "%");
  display.setCursor(2, 32);
  display.println("H2:" + String(h2) + "%");
  display.setCursor(2, 42);
  display.println("H3:" + String(h3) + "%");
  display.setCursor(2, 52);
  display.println("H4:" + String(h4) + "%");
  // Corriente y voltaje y temp en general
  display.setCursor(70, 12);
  display.print("DATOS");
  display.setCursor(46, 22);
  display.print("T1:");
  display.println(temp1,2);
  display.setCursor(46, 32);
  display.print("PH:");
  display.println(phValue,2);
  display.setCursor(46, 42);
  display.print("EC:");
  display.println(ecValue,2);
  display.setCursor(46, 52);
  display.print("V1:");
  display.println(valvula1);
  display.setCursor(85, 52);
  display.print("V2:");
  display.println(valvula2);
  display.display();
  display.clearDisplay();
  client.publish(mqttTopic, String(h1).c_str());
  client.publish(mqttTopic1, String(h2).c_str());
  client.publish(mqttTopic2, String(h3).c_str());
  client.publish(mqttTopic3, String(h4).c_str());
  client.publish(mqttTopic4, String(temp1).c_str());
  client.publish(mqttTopic5, String(phValue).c_str());
  client.publish(mqttTopic6, String(ecValue).c_str());
  delay(1000);
}
```

Anexo S. Codificación por bloques en Node-Red.

En la Figura S1 y S2 está la codificación por bloques en Node-Red en dos partes, para la visualización d los dashboard y control de los datos obtenidos de los sensores, de humedad, temperatura, pH y EC.

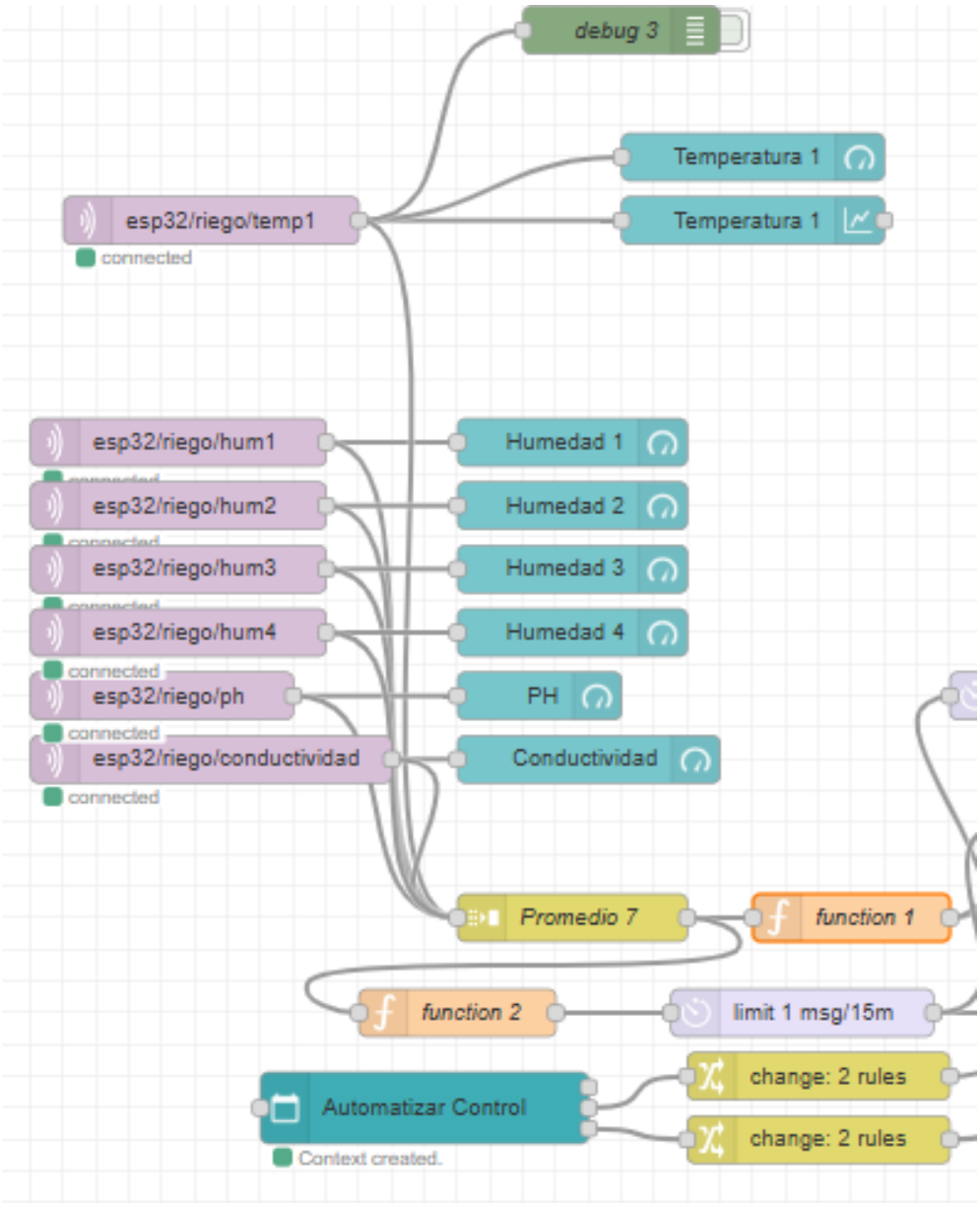



Figura S1. Codificación por bloques en Node-Red parte 1.

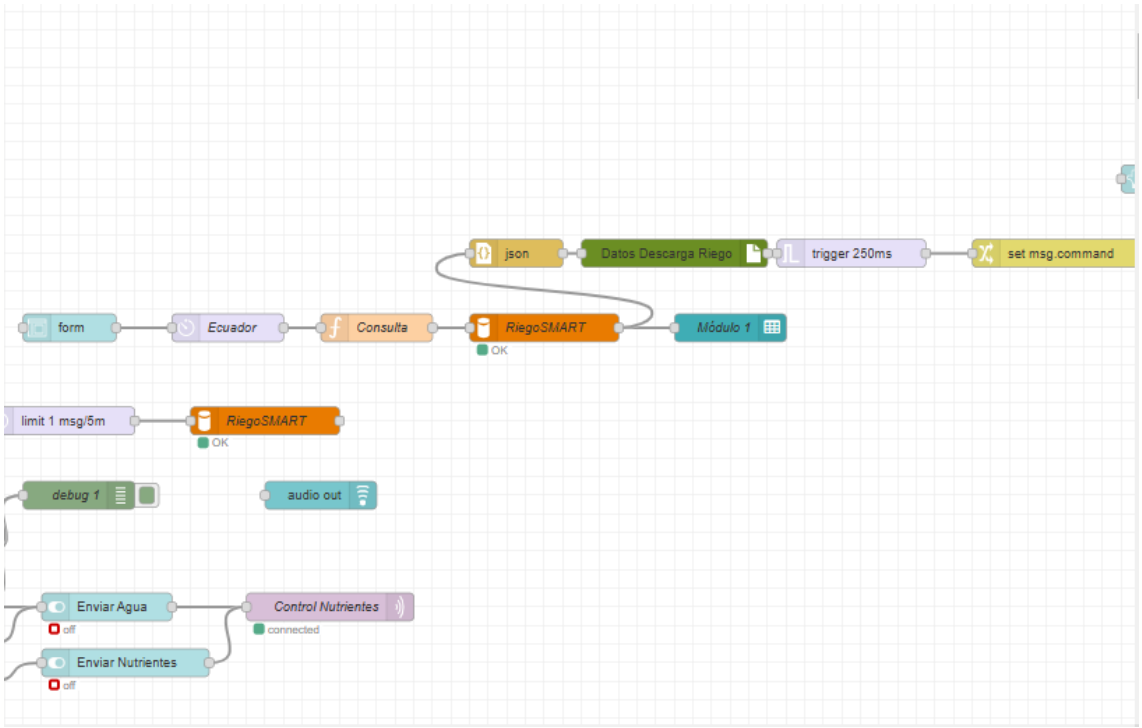



Figura S2. Codificación por bloques en Node-Red parte 2.

Anexo T. Codificación para establecer la condición del paso de agua y nutrientes.

En la Figura T1 está la codificación mediante una función el cual indica la condición que cuando el promedio de los 4 sensores de humedad es menor al 60 % se active la electroválvula del tanque de agua.

```
const today = new Date(new Date().toLocaleString('en-US', { timeZone:
'America/Guayaquil' }));

let fecha = today.getDate().toString().padStart(2, '0') + '-' +
(today.getMonth() + 1).toString().padStart(2, '0') + '-' +
today.getFullYear() ;
let hora = today.getHours().toString().padStart(2, '0') + ":" +
today.getMinutes().toString().padStart(2, '0') + ":" +
today.getSeconds().toString().padStart(2, '0');
let temp1 = msg.payload["esp32/riego/temp1"];
let h1 = msg.payload["esp32/riego/hum1"];
let h2 = msg.payload["esp32/riego/hum2"];
let h3 = msg.payload["esp32/riego/hum3"];
let h4 = msg.payload["esp32/riego/hum4"];
let hpromedio = (h1+h2+h3+h4)/4;
let hp = msg.payload["esp32/riego/ph"];
let ec = msg.payload["esp32/riego/conductividad"];

msg.topic = "INSERT INTO datos (temp1, humedad1, humedad2, humedad3,
humedad4, hpromedio, ph, ec, hora, fecha ) VALUES ('" + temp1 + "','" +
h1 + "','" + h2 + "','" + h3 + "','" + h4 + "','" + hpromedio + "','" +
hp + "','" + ec + "','" + hora + "','" + fecha + "')";

if (hpromedio <= 60)
    {
        msg.payload = "true";
        return msg;
    }
else
{
    msg.payload = "false";
    return msg;
}
```

Figura T1. Codificación de la condición para la abertura de la electroválvula.

## Anexo U. Entrevista.

En la Figura U1 se encuentra la encuesta aplicada a dos Ingenieros Agrónomos.

DATOS:|

Entrevistados:

- Ing. William Stalin Chimba Taipe
- Ing. Ana Gabriela Yupa Ortiz

Entrevistador: Cristian Chimba

Fecha: 18 de diciembre 2024

OBJETIVO:

Determinar las condiciones óptimas mediante el riego para el desarrollo de las plantaciones de

tomate riñón y a su vez permita el desarrollo del proyecto de titulación del sistema IoT de riego para el cultivo de tomate riñón en la zona del Canal de Salcedo.

Preguntas:

1. ¿Qué tipo de sistema de riego utiliza para el cultivo hidropónico del tomate de riñón (goteo, NFT, aeropónico, etc.) y por qué?
2. ¿Cómo se controla y monitorea el suministro de nutrientes y agua en el sistema?
3. ¿A qué hora del dia es recomendable suministrar el agua en una plantación para un mejor desarrollo y crecimiento de las planta?
4. ¿Cómo garantiza la precisión en la entrega de agua y nutrientes?
5. ¿Qué parámetros de calidad del agua consideran más críticos (pH, EC, temperatura) y cómo los gestionan en el sistema?
6. ¿Cuáles son los principales retos en la preparación y dosificación de las soluciones nutritivas específicas para el tomate de riñón?
7. ¿Qué medidas se puede implementar para garantizar el uso eficiente del agua y evitar desperdicios?
8. ¿Qué medidas toman para mantener el sistema en óptimas condiciones y evitar obstrucciones o fallos en el riego?

Figura T1. Entrevista aplicada.