



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

Sistema inteligente basado en agricultura 5.0 para automatizar el  
proceso de riego en la parroquia El Reventador, cantón Gonzalo  
Pizarro, provincia de Sucumbíos

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero en  
Telecomunicaciones**

**Autor:**

Quishpi Condo, Johana Abigail

**Tutor:**

PhD. Leonardo Fabian Rentería Bustamante

**Riobamba, Ecuador. 2025**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Johana Abigail Quishpi Condo**, con cédula de ciudadanía **210118243-0**, autora del trabajo de investigación titulado: **SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN AGRICULTURA 5.0 PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE RIEGO EN LA PARROQUIA EL REVENTADOR, CANTÓN GONZALO PIZARRO, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autora de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 01 de julio de 2025.



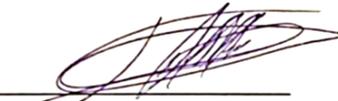
---

Johana Abigail Quishpi Condo  
C.I: 210118243-0

## **DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR**

Quién suscribe, **Leonardo Fabian Rentería Bustamante** catedrático adscrito a la Facultad de **Ingeniería**, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado “**Sistema inteligente basado en agricultura 5.0 para automatizar el proceso de riego en la parroquia El Reventador, cantón Gonzalo Pizarro, provincia de Sucumbíos**”, bajo la autoría de **Johana Abigail Quishpi Condo**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 06 días del mes de junio de 2025.



**Ing. Leonardo Fabian Rentería Bustamante PhD.**

**CI: 1104064132**

**TUTOR**

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN AGRICULTURA 5.0 PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE RIEGO EN LA PARROQUIA EL REVENTADOR, CANTÓN GONZALO PIZARRO, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS**, presentado por **JOHANA ABIGAIL QUISHPI CONDO**, con cédula de identidad número **210118243-0**, bajo la tutoría del PhD. Leonardo Fabian Rentería Bustamante; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba el 26 de junio del 2025.

Klever Torres, Dr.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



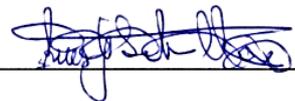
---

José Jinez Tapia, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Luis Santillán Valdiviezo, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

# CERTIFICADO ANTIPLAGIO



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.15  
VERSIÓN 01: 06-09-2021

## CERTIFICACIÓN

Que, **QUISHPI CONDO JOHANA ABIGAIL** con CC: **2101182430**, estudiante de la Carrera **TELECOMUNICACIONES**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN AGRICULTURA 5.0 PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE RIEGO EN LA PARROQUIA EL REVENTADOR, CANTÓN GONZALO PIZARRO, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS"**, cumple con el 8 % de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 23 de JUNIO de 2025



Ing. Leonardo Rentería Bustamante PhD.  
**TUTOR**

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación:

A Dios, como muestra de mi total gratitud y amor hacia él, por brindarme sabiduría, salud y ánimos para poder culminar un objetivo más en mi vida.

A mis queridos padres, Sr. José Quishpi y Sra. Juana Condo, por ser mis guías y pilar fundamental en mi vida.

A mis hermanos Marlene, Angélica, Sandra, Daniel y mi cuñada Ligia por todo el amor y apoyo que me brindaron para que yo pueda culminar mi carrera universitaria.

A Damaris, mi amada hija, mi fuente inagotable de inspiración y esfuerzo.

A mis amigos, en especial a Mayra y Jeancarlos por su amistad sincera, su compañía y apoyo, por haber compartido buenos y malos momentos, pero siempre juntos.

A mi gatita Lana, que, con maullidos y ronroneos, estuvo en cada página de este logro.

A cada uno de los docentes, por su paciencia, dedicación y compromiso.

Hoy culmino un gran capítulo de mi vida, llegar hasta aquí no ha sido fácil, pero con el amor, apoyo e inmensa paciencia que ustedes me han brindado ha sido posible.

*Johana Abigail Quishpi Condo*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de Chimborazo y a la carrera de Telecomunicaciones por haberme acogido y brindarme una educación de calidad.

Al Ing. Leonardo Rentería, quién me ha apoyado en el desarrollo de este trabajo de titulación, gracias por su paciencia y consejos que han sido importantes para alcanzar este objetivo.

A la Srta. Katty, Mayra y su familia, en especial a sus padres, Sr. Alcides y Sra. Rosa, gracias por ser mi refugio y apoyo durante mi etapa universitaria.

A mis amigos que se convirtieron en mi familia lejos de casa, gracias por hacerme sentir acompañada, comprendida y querida, por hacer de cada día una experiencia más llevadera y feliz.

Al Tnlgo. Byron Herrera, presidente del Gad parroquial “El Reventador” por haberme abierto las puertas y permitirme desarrollar el proyecto en el ámbito territorial de su jurisdicción, de manera especial al Sr. Rafael y la Sra. Lilia quienes a través de sus conocimientos me han guiado y brindado su apoyo para culminar el proyecto de investigación.

***Johana Abigail Quishpi Condo***

# ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
<b>CAPÍTULO I</b> .....	14
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	14
1.1 Planteamiento del problema y justificación .....	14
1.2 Objetivos .....	15
1.2.1 Objetivo General.....	15
1.2.2 Objetivos específicos .....	15
<b>CAPÍTULO II</b> .....	16
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	16
2.1 Estado del arte.....	16
2.2 Marco conceptual.....	17
2.2.1 Riego.....	17
2.2.2 Sistema de riego .....	17
2.2.3 El suelo .....	21
2.2.4 El suelo como reservorio de agua.....	21
2.2.5 Necesidades Hídricas.....	22
2.2.6 Sistema de riego inteligente basado en agricultura 5.0 .....	24
<b>CAPÍTULO III</b> .....	26
<b>METODOLOGÍA</b> .....	26
3.1 Tipo de investigación.....	26
3.1.1 Investigación descriptiva .....	26

3.1.2	Investigación aplicada .....	27
3.1.3	Investigación de campo .....	27
3.1.4	Investigación experimental.....	27
3.2	Proceso del diseño del sistema de riego inteligente basado en agricultura 5.0 ....	27
3.2.1	Fase 1: Estudio previo .....	27
3.2.2	Fase 2: Diseño e implementación .....	37
3.2.3	Fase 3: Evaluación del sistema.....	49
3.2.4	Hipótesis .....	50
3.2.5	Población y muestra .....	50
3.2.6	Operacionalización de las variables .....	50
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>52</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>52</b>
4.1	Análisis de resultados .....	52
4.1.1	Interpretación gráfica con diagramas de caja. ....	52
4.1.2	Pruebas de normalidad.....	54
4.1.3	Análisis T de Student de muestras independientes.....	54
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>56</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>56</b>
5.1	Conclusiones .....	56
5.2	Recomendaciones .....	56
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>57</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>61</b>
ANEXO A. Carta de apoyo del presidente del GAD de la parroquia El Reventador .....		61
ANEXO B. Entrevista.....		62
ANEXO C. Análisis de laboratorio de pH .....		64
ANEXO D. CERTIFICADO.....		65

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ventajas y desventajas de los tipos de riego [5], [6], [7].....	17
<b>Tabla 2.</b> Variables para la selección del sistema de riego [6], [8] .....	19
<b>Tabla 3.</b> Características generales de la parroquia El Reventador [20] .....	28
<b>Tabla 4.</b> Sistema hidrológico de la parroquia [20] .....	29
<b>Tabla 5.</b> Clases de pendientes [20]. .....	32
<b>Tabla 6.</b> Generalidades de la visita técnica.....	34
<b>Tabla 7.</b> Características generales de la planta de fréjol común [39] .....	35
<b>Tabla 8.</b> Ciclo de cultivo [2] .....	36
<b>Tabla 9.</b> Humedad ideal para el fréjol común [31], [32] .....	37
<b>Tabla 10.</b> Materiales de sistema de riego por goteo .....	37
<b>Tabla 11.</b> Diferencias entre Node-RED e InfluxDB [30], [40] .....	42
<b>Tabla 12.</b> Factores para el riego.....	44
<b>Tabla 13.</b> Datos obtenidos del riego realizado por el agricultor.....	49
<b>Tabla 14.</b> Datos del sistema automatizado .....	50
<b>Tabla 15.</b> Variables Dependiente.....	51
<b>Tabla 16.</b> Variable Independiente.....	51
<b>Tabla 17.</b> Análisis descriptivo del sistema tradicional y automatizado.....	52
<b>Tabla 18.</b> Prueba de normalidad de la variable cantidad de agua y tiempo de riego de los Sistemas de riego tradicional y automatizado. ....	54
<b>Tabla 19.</b> Hipótesis definidas .....	54
<b>Tabla 20.</b> Análisis T de Student Comparación de Medias.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Denominación de los suelos según la textura [7].....	21
<b>Figura 2.</b> Sistema de riego inteligente [10] .....	24
<b>Figura 3.</b> Elementos esenciales para la implementación de domótica [12].....	25
<b>Figura 4.</b> Dimensiones del terreno de la zona de estudio. ....	26
<b>Figura 5.</b> Fases del desarrollo del prototipo del sistema inteligente de riego basado en agricultura 5.0.....	27
<b>Figura 6.</b> Mapa del sistema hidráulico de la parroquia [20].....	31
<b>Figura 7.</b> Mapa de relieves de la parroquia [20].....	33
<b>Figura 8.</b> Planta de Fréjol <i>Phaseolus vulgaris</i> [21].....	35
<b>Figura 9.</b> Esquema de Raspberry Pi 3B [23] .....	39
<b>Figura 10.</b> Sensor de humedad FC-38 [24] .....	40
<b>Figura 11.</b> Sensor de humedad y temperatura DHT22 [26] .....	40
<b>Figura 12.</b> Válvula electromagnética [27] .....	41
<b>Figura 13.</b> Esquema de protocolo MQTT [1].....	41
<b>Figura 14.</b> Diagrama del proceso del riego realizado por el agricultor .....	42
<b>Figura 15.</b> Esquema general del sistema de riego inteligente .....	43
<b>Figura 16.</b> Esquema del sistema de riego automatizado para el cultivo de fréjol común ..	44
<b>Figura 17.</b> Árbol de decisión para establecer el riego .....	45
<b>Figura 18.</b> Diseño gráfico del dispositivo del sistema de riego.....	45
<b>Figura 19.</b> Método de riego tradicional y automatizado.....	46
<b>Figura 20.</b> Visualización de Node-RED del monitoreo de humedad. ....	47
<b>Figura 21.</b> Visualización de los datos de los sensores a través de Node-RED.....	48
<b>Figura 22.</b> Pantalla de visualización de humedad y activación de válvula de riego. ....	48
<b>Figura 23.</b> Vista del sistema de riego en operación con el cultivo del fréjol común.....	48
<b>Figura 24.</b> Diagrama de caja de variable cantidad de agua en sistema tradicional y automatizado.....	53
<b>Figura 25.</b> Diagrama de caja de variable Tiempo de riego en sistema tradicional y automatizado.....	53

## RESUMEN

En la parroquia El Reventador, cantón Gonzalo Pizarro, el 61% de la población se dedica al cultivo de frutas, hortalizas, granos, entre otros productos orgánicos. Sin embargo, los sistemas de riego empleados se basan en prácticas manuales y empíricas, sin considerar las condiciones edafológicas del terreno y necesidades hídricas de cada cultivo. En este sentido, en este trabajo se diseñó e implementó un prototipo de sistema inteligente basado en agricultura 5.0 para automatizar el proceso de riego. El trabajo se llevó a cabo en 3 fases: en la primera, se realizó una revisión bibliográfica y un diagnóstico del entorno mediante entrevistas y visitas técnicas. En la segunda fase, se seleccionaron los dispositivos físicos y software adecuados para la implementación del prototipo según los requerimientos definidos. Finalmente, se evaluó el funcionamiento del sistema con pruebas de campo, experimentando en un área de 15m<sup>2</sup> de un terreno de sembrío de fréjol de 336m<sup>2</sup> comparándolo con el método tradicional. Se aplicó la investigación descriptiva, de campo y experimental. Los resultados indican una reducción del consumo de agua total de 32m<sup>3</sup> de agua, mediante el sistema automatizado en comparación con el tradicional, con un tiempo de riego ligeramente mayor de 13.53 minutos frente a 9.2 minutos respectivamente. En conclusión, los resultados evidencian una mejora con la incorporación de tecnologías e información basadas en parámetros de suelo y del cultivo logrando optimizar la eficiencia en el uso del agua, así como adaptar a otras siembras y entornos rurales con condiciones similares.

**Palabras claves:** Riego automatizado, sistema inteligente, IoT Agrícola, optimización hídrica.

## ABSTRACT

About 61% of the population in El Reventador canton, Gonzalo Pizarro, is dedicated to the cultivation of fruits, vegetables, grains, and other organic products. However, the irrigation systems used are based on manual and empirical practices, without considering the soil conditions and water needs of each crop. Therefore, this research designed and implemented a prototype of an intelligent system based on agriculture 5.0 to automatize the irrigation process. The research was carried out in 3 phases: the first phase consisted of a literature review and a diagnosis of the environment by means of interviews and technical visits. During the second phase, the appropriate physical devices and software were selected for the implementation of the prototype according to the defined requirements. Finally, the system's performance was evaluated with field tests, experimenting in a 15m<sup>2</sup> area of a 336m<sup>2</sup> bean field, comparing it with the traditional method. We applied descriptive, field and experimental research. The results reveal a reduction in total water consumption of 32m<sup>3</sup> of water, using the automatized system compared to the traditional one, with a slightly longer irrigation time of 13.53 minutes compared to 9.2 minutes respectively. In conclusion, the results show an improvement with the incorporation of technologies and information based on soil and crop parameters to optimize water use efficiency, as well as to adapt to other crops and rural environments with similar conditions.

### Keywords:

AUTOMATIZED IRRIGATION, INTELLIGENT SYSTEM, AGRICULTURAL IOT, WATER OPTIMIZATION.



Reviewed by  
Msc. ENRIQUE GUAMBO YEROVI  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C. 0601802424

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En la parroquia El Reventador, cantón Gonzalo Pizarro, provincia de Sucumbíos, la agricultura es una de las principales fuentes de sustento para las comunidades locales. Sin embargo, el riego en esta zona se realiza de manera empírica y manual, lo que provoca un uso ineficiente del recurso hídrico especialmente en cultivos como el fréjol, tomate y pepino, donde no se consideran variables como: la etapa de crecimiento, tipo de suelo o las condiciones climáticas, factores que hacen indispensable un manejo adecuado del agua para garantizar el éxito de la producción agrícola.

A nivel nacional, Ecuador presenta una gran diversidad en la producción de cultivos, gracias a sus variadas características de suelo, clima y ubicación geográfica. La región Costa concentra el 67,12% de los cultivos permanentes, es decir, no requieren ser sembrados cada año ya que tienen un ciclo de vida largo y producen durante varios años, seguida por la Sierra 23,94% y la Amazonía 8,94%. Cabe destacar que el 82% del agua disponible en el país se utiliza en la agricultura [1], [2] lo que refleja la necesidad de integrar sistemas de riego eficientes, especialmente para cultivos de ciclo corto que demandan precisión en el suministro de agua.

Frente a este escenario, es necesario integrar soluciones tecnológicas que automaticen el proceso de riego y optimizar el uso del agua. La agricultura 5.0 se caracteriza por la integración de tecnologías como el Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y el análisis de datos con el objetivo de tomar decisiones precisas y mejorar tanto la eficiencia como la productividad de los cultivos [3]. Estas herramientas permiten adaptar los sistemas agrícolas a las condiciones específicas del entorno, lo cual resulta valioso e importante en las zonas rurales como El Reventador, donde los recursos tecnológicos y energéticos son limitados.

Este proyecto de investigación tiene como propósito construir un prototipo de sistema de riego inteligente, orientado a la agricultura 5.0, con la finalidad de optimizar el uso de agua aplicada a un cultivo, considerando los siguientes parámetros:

- Tipo de cultivo
- Fase de crecimiento
- Clima
- Tipo de suelo
- Método de riego
- Consideraciones económicas

### 1.1 Planteamiento del problema y justificación

El riego es la aplicación artificial de agua al suelo, ya que se transporta mediante tuberías o canales, en la cantidad requerida por el cultivo, en el momento oportuno y de forma eficiente y uniforme.

En Ecuador, según datos técnicos del INEC [4] el 24,1% de las hectáreas cultivadas cuentan con riego, es decir el 75,9% no dispone de riego, en cuanto a los métodos de riego el principal

es el riego por gravedad (surcos/inundación) con el 48,4%; seguido por aspersión con 34,6%; micro aspersión con 9,4% y otros métodos con 7,6%.

El desconocimiento de los parámetros adecuados para implementar sistemas de riego eficientes y el uso inadecuado de tecnologías provocan un desperdicio significativo de agua y aumento de la erosión del suelo.

Es fundamental contar con un sistema de riego eficiente ya que influye en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, garantiza un suministro constante de agua, permite el control de plagas y enfermedades, y mejora la eficiencia en el uso de nutrientes.

Un sistema de riego controlado puede aumentar significativamente la productividad, incluso en condiciones en las que la humedad del suelo parece ser adecuada, ya que permite ajustar con precisión la cantidad y frecuencia del riego según las necesidades reales del cultivo [5]. A continuación, se presenta el desarrollo del proyecto dividido en capítulos que abarcan desde la revisión del estado del arte hasta la validación del sistema propuesto.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Diseñar e implementar un prototipo de sistema inteligente basado en agricultura 5.0 para automatizar el proceso de riego en la parroquia El Reventador, cantón Gonzalo Pizarro, provincia de Sucumbíos.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Investigar las técnicas y métodos de riego usadas en la actualidad para determinar los parámetros requeridos en el diseño del sistema.
- Diseñar e implementar un prototipo de un sistema inteligente para automatizar el proceso de riego basado en agricultura 5.0
- Evaluar el funcionamiento del sistema implementado para determinar logros de optimización de recursos.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Estado del arte

Del proceso de investigación realizado en los repositorios de diferentes universidades nacionales e internacionales, así como artículos académicos, se identificaron diversos proyectos de investigación relacionados con los sistemas de riego inteligentes los cuales se detallan a continuación:

En el año 2020, Thalía Elizabeth Gualpa Núñez desarrolló un proyecto de Titulación en la ciudad de Ambato titulado “Gestión de sistema de riego inteligente para el cuidado del parque Palomino Flores de la ciudad de Baños de Agua Santa” [7]. El proyecto se centró en el diseño e implementación de un sistema de riego inteligente, basado en la monitorización de variables climáticas y del suelo en un entorno natural.

El sistema propuesto incorporó un módulo ESP32, encargado de recibir datos de humedad temperatura tanto ambiental como del suelo. Estos fueron almacenados en una base de datos y visualizados en un sitio web que es capaz de monitorizar, supervisar y controlar el estado del riego.

En la región Costa, en el año 2020, en la universidad de Guayaquil, Ronny Danilo Chiquito Guale y César Armando Paguay Totoy desarrollaron el proyecto de titulación titulado “Diseño de un prototipo de sistema de riego automatizado mediante una red de sensores que mida la humedad del suelo en los campos agrícolas y permita controlar el consumo de agua” [34].

El proyecto fue implementado en la hacienda “Katty Lucy”, ubicada en el cantón Milagro, parroquia Mariscal Sucre, reciento la Esperanza. Su objetivo principal fue solucionar los problemas relacionados con la hidratación de los cultivos, debido a la escasez de agua de la zona. Para alcanzar resultados más eficientes, los autores optaron por aplicar la metodología SCRUM, siendo una de las más utilizadas en proyectos de desarrollo de software, adaptándola al proceso del sistema de riego.

En el año 2020, Carlos Cohen, Andrea Burbano, Rodrigo Salgado y Rafael Merlano desarrollaron un sistema de riego automático para cultivos de ahuyama en Sincelejo, Sucre (Colombia), el cual fue descrito en el artículo titulado “Control de riego en cultivos de ahuyama en Sicelejo, Sucre (Colombia) gestionados a través del Internet de las cosas” [35]. El sistema se basó en un controlador proporcional, integral y derivativo (PID) correctamente sintonizado, junto con un sistema de adquisición de datos conectado a la nube mediante herramientas del Internet de las Cosas (IoT). Esta solución permitió al usuario controlar el riego de manera remota, monitorear variables atmosféricas y del suelo, y acceder a información histórica y en tiempo real para determinar los requerimientos hídricos del cultivo.

Los resultados mostraron que el sistema fue eficiente, estable y capaz de minimizar el error en estado estacionario, lo que lo convierte en una alternativa viable y de bajo costo para la implementación en campo, con beneficios importantes para la región.

## 2.2 Marco conceptual

### 2.2.1 Riego

El riego consiste en la aplicación controlada de agua a los cultivos, de forma eficiente, con el objetivo de aportar humedad al suelo y evitar el estrés hídrico en las plantas, siendo este proceso favorable en su crecimiento y desarrollo, además contribuye a disolver la concentración de sales en el suelo, desplazándolas hacia las capas más profundas donde las raíces no pueden absorberlas [5].

### 2.2.2 Sistema de riego

El sistema de riego corresponde a un conjunto de estructuras hidráulicas, tuberías y accesorios, con el objetivo de almacenar y conducir el agua hacia los cultivos [5].

Existen diferentes tipos de sistemas de riego: [6], [7] cabe resaltar que no existen métodos de riego, mejores o peores, sino que debe ser conveniente para la zona en la que se está trabajando.

- a. **Riego por superficie:** También llamado riego por gravedad, se caracteriza porque el agua se desplaza por el terreno aprovechando la pendiente natural, este es el más antiguo y más extensivo a nivel mundial.
- b. **Riego localizado:** El agua es transportado por tuberías directamente a las zonas donde se encuentran los cultivos.
- c. **Riego por aspersión:** Existen fijos y móviles, los cuales abarcan la distribución de agua a grandes hectáreas de cultivo, como este tipo de riego funciona con presión, hace que los aspersores giren y que el agua caiga en forma de lluvia sobre el cultivo.

En la **Tabla 1** se observa las ventajas y desventajas de la aplicación de los sistemas mencionados.

**Tabla 1.** Ventajas y desventajas de los tipos de riego [5], [6], [7]

Tipo de sistema	Riego	Ventaja	Desventaja
Sistema de riego por superficie	Por surcos	-Apto para cultivos en hilera. -Ideal para la dilución de sales -Ideal para terrenos con topografía irregular.	-No recomendado para cultivos sensibles al déficit de aireación. - En zonas lluviosas requiere drenaje agrícola. No es apto para la mayoría de los cultivos. -No recomendado en suelos permeables
	Por Melgas	-Menor mano de obra -Menor tiempo de riego por el caudal de trabajo	-No apto en terrenos con pendiente.

Tipo de sistema	Riego	Ventaja	Desventaja
		-Buen lavado de sales -Apto en suelos de textura media.	-En cultivos sensibles al déficit de aireación no es recomendado -Alto consumo de agua si este no es controlado
	Inundación	-Sencillo y económico de implementar. -Apto para cultivos resistentes al exceso de agua	-Gran desperdicio de agua. -Plagas debido a la humedad. -Compactación del suelo y pérdida de nutrientes.
Riego localizado	Micro-aspersión/goteo	-Aprovecha el agua disponible -Aumento de calidad y cantidad de cosechas -Mantiene la humedad de suelo cercana a la capacidad de campo -No influye en la velocidad del viento	-Requiere personal capacitado -Requiere análisis de calidad de agua Mayor inversión inicial -No se recomienda en cultivos extensos
Riego por aspersión	Aspersión	-Se puede adaptar a suelos arenosos -Requiere más horas de riego	-Lavado de material fumigado -Mayor probabilidad de quemar las hojas de los cultivos -Dificultad de uniformidad en pendientes fuertes y con viento.

Para determinar el tipo de sistema que conviene implementar en el lugar se debe partir del análisis de los siguientes parámetros [1], [6].

- **Suelo:** Su información se basa en: textura, teniendo en cuenta que es una propiedad del suelo la cual no puede ser modificada, estructura y pendiente que posee el suelo, esta información permite conocer la relación suelo-agua, lo cual es fundamental porque determina la capacidad de retención de agua, punto de marchitamiento y velocidad de filtración [6], [7].
- **Agua:** disponibilidad y calidad
- **Clima:** Vientos y temperatura
- **Cultivo:** Forma de siembra y naturaleza
- **Hombre:** mano de obra y experiencia
- **Finanzas:** costos y beneficios

En la **Tabla 2**, se observa las variables a tomar en cuenta para escoger el sistema de riego adecuado para la zona.

**Tabla 2.** Variables para la selección del sistema de riego [6], [8]

<b>Variable</b>	<b>Riego por superficie</b>	<b>Riego por aspersión</b>	<b>Riego por micro aspersión</b>	<b>Riego por goteo</b>
<b>Adaptación de los cultivos</b>	Cultivos que permiten inundación total y en los que se pueden construir surcos, melgas	Cultivos que ocupan toda el área del terreno o con espacios pequeños, cuyos sistemas radiculares ocupan todo el volumen del suelo sembrado.	Cultivos de espaciamiento amplio, cuyos sistemas no ocupan todo el volumen del suelo.	
<b>Adaptación a las características del terreno</b>	Terrenos planos y semiplanos y pendientes altas.	Terrenos planos y semiplanos, en pendientes provoca erosión por el impacto de las gotas y la distribución de agua no es equitativa.	Se adaptan a terrenos de cualquier pendiente	
<b>Consumo de agua</b>	Consumo alto	El doble de consumo que un sistema por goteo	Menos agua que la aspersión tradicional	Consume poco y de forma lenta, lo cual los cultivos aprovechan al máximo.
<b>Calidad del agua</b>	Agua de mala calidad física	Agua con detritos sólidos taponan los picos de los aspersores y la arena desgasta las boquillas	Sólidos en suspensión taponan los orificios y las sales pueden taponar los goteros	
<b>Eficiencia de riego</b>	46 – 65%	80 – 85%	85 – 90%	90 – 95%
<b>Control del agua aplicada</b>	Control a través de compuertas o sifones, no se conoce con exactitud la cantidad de agua aplicada.	Control de agua a través de pluviómetros sencillos o por relación caudal/tiempo de los aspersores.	Se controla la cantidad de agua a través de la relación caudal/tiempo de micro aspersores, goteros o consumo del tanque de almacenamiento.	
<b>Diferencial de altura para distribución de agua por gravedad</b>	No requiere altura	Altura de más o menos 14 m y presión para que el radio del riego no sea pequeño.	Menor altura que aspersión y mayor altura que el goteo	Poca altura entre la fuente de agua y puntos de distribución, aproximadamente 2 m

<b>Variable</b>	<b>Riego por superficie</b>	<b>Riego por aspersión</b>	<b>Riego por micro aspersión</b>	<b>Riego por goteo</b>
<b>Riesgo ambiental</b>	Exceso de agua provoca lixiviación de nutrientes saludables y erosión de suelo	Las gotas que caen al suelo provocan erosión	No hay riesgo de erosión, por ser de gotas pequeñas y al ser localizados es difícil que se lixivien los nutrientes saludables	No produce ningún deterioro. Si el agua está contaminada, el área a regar presenta un grado mínimo de contaminación.
<b>Dispersión de plagas y enfermedades</b>	Si el suelo pasa mucho tiempo inundado puede ser susceptible a hongos.	La salpicadura de las gotas puede transportar patógenos y transmisión de enfermedades de unas plantas a otras	Al ser riego localizado, la propagación de plagas es limitada.	
<b>Utilización de mano de obra</b>	Se requiere de gran cantidad de mano de obra para su construcción, operación y mantenimiento	Mano de obra en la operación del sistema y rotación de aspersores.	Se requiere mano de obra en la instalación, fase de operación solo requiere de una visita diaria.	

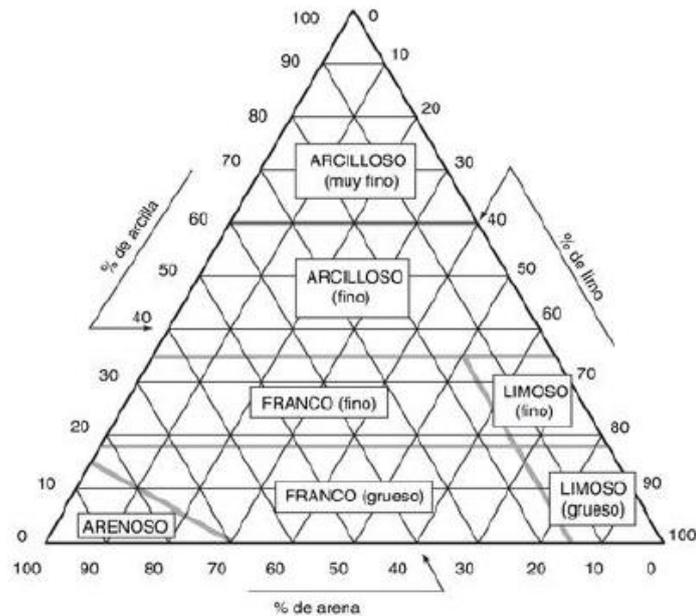
### 2.2.3 El suelo

Está formado por procesos en los que intervienen los seres vivos, agua y textura.

La textura del suelo es la cantidad de partículas, minerales las cuales son contenidas en parte del suelo, es decir valores de limo, arcilla y arena [7].

#### 2.2.3.1 Clasificación según la textura

La clasificación, se realiza según el porcentaje de limo, arcilla y arena existentes en el suelo, de acuerdo con la **Figura 1**.



**Figura 1.** Denominación de los suelos según la textura [7]

- **Suelo arenoso:** Es de arena, ofrecen buen drenaje, no retienen suficiente agua.
- **Suelo limoso:** Cuenta con un porcentaje mayor que la arcilla y la arena.
- **Suelo franco:** Posee porcentajes equilibrados, convirtiéndolo así en el suelo ideal para cultivos
- **Suelo franco arenoso:** El porcentaje de arena es mayor en comparación con el limo y arcilla, ofrece buen drenaje, no retiene suficiente agua.
- **Suelo franco arcilloso:** La cantidad de arena es casi escasa, predominan la arcilla y el limo, capaz de retener el agua.

### 2.2.4 El suelo como reservorio de agua

Al suelo se lo ha considerado como un “reservorio” que contiene cierta cantidad de agua, pero solo una parte se encuentra disponible para la planta [38]

No todos los suelos poseen las mismas características para retener el agua, lo cual se encuentra limitada de acuerdo con los niveles de humedad como los presentados a continuación, [7], [38]:

- **Saturación:** Se define como llenura de los poros del suelo, el suelo saturado drena libremente el contenido de agua empezando por los poros más grandes que son ocupados por el aire.
- **Capacidad de campo (CC):** Es considerada como el agua útil para la planta que queda retenida en el suelo contra la fuerza de gravedad, en donde los microporos retienen el agua contra la fuerza de gravedad.
- **Punto de Marchitez permanente (PMP):** considerado como el contenido de humedad del suelo al cual las plantas no logran extraer agua para compensar sus necesidades, manifestando así caída de hojas, escaso desarrollo.

### 2.2.5 Necesidades Hídricas

Según lo indicado en [5] para lograr una gestión eficiente del riego es necesario considerar aspectos fundamentales como la cantidad de agua que debe ser entregada al cultivo, el momento adecuado para hacerlo y la manera en que debe aplicarse.

El volumen de agua debe ser ajustado estrictamente a los requerimientos del cultivo. Un suministro deficiente induce estrés hídrico, lo que se traduce en una reducción del rendimiento productivo. Por el contrario, un aporte hídrico excesivo conlleva pérdidas en la cosecha, desperdicio del recurso, erosión del suelo y, en casos severos, asfixia radicular [6], [7].

En relación con el momento de aplicación, el riego debe efectuarse únicamente cuando el cultivo lo requiera, garantizando la disponibilidad de agua en el suelo. Finalmente, el riego debe ser aplicado por una distribución uniforme y eficiente, evitando tanto déficits como saturación del suelo. Cabe destacar que la optimización de estos parámetros está determinada por factores como las consideradas en [6], [7]:

- a. **Conocer la relación agua-suelo:** ya que el suelo sirve para sostener la planta, por lo cual anteriormente se menciona que se debe considerar la textura, estructura y pendiente para así conocer la capacidad de retención de agua en el suelo y con qué velocidad de filtración se puede perder por drenaje y evapotranspiración.
- b. **Relación agua-planta-clima:** es una relación importante porque permite conocer la cantidad de agua que requiere el cultivo para su mayor rendimiento y producción.

Al unir estas dos relaciones se logra conocer la cantidad de agua requerida por la planta para así no limitar su crecimiento y producción.

#### 2.2.5.1 La evapotranspiración

Conocido como la cantidad de agua que pierde el cultivo como resultado de los procesos de evaporación desde el suelo y transpiración desde las hojas y estomas [7].

Existen factores condicionantes de la Evapotranspiración, relacionadas con:

- **El suelo:** depende de la textura del suelo y su capacidad de retención
- **Tipo de cultivo:** capacidad que tienen los cultivos para poder absorber el agua del suelo y su transpiración.
- **Fase vegetativa de los cultivos:** están conformadas por: fase inicial, desarrollo, maduración y finalmente la cosecha.

- **Variables meteorológicas:** temperatura, intensidad de radiación solar, viento y humedad.

$$ET = ET_o * K_c \quad (1)$$

Dónde:

- ET: evapotranspiración
- $ET_o$ : evapotranspiración potencial [mm/día]
- $K_c$ : Coeficiente de cultivo, representa la dificultad o facilidad del cultivo para extraer agua del suelo.

Considerado como un indicador esencial para conocer la cantidad de agua que la planta debe reponer para mantener un crecimiento óptimo. La unidad de medida es en milímetro por unidad de tiempo. Existen varios métodos, pero el recomendado por [6] y modificado por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura) es el método Blaney y Criddle, ya que utiliza valores de temperatura media mensual (t) y porcentajes de horas diurnas (p), es un método simple y requiere de pocos datos climáticos, considerando que en el Ecuador existen limitaciones en cuanto a estaciones meteorológicas. Evapotranspiración potencial ( $ET_o$ ): para hallar este valor primero se halla el valor de F.

$$F = p(0.46t + 8.13) \quad (2)$$

Dónde

- F: factor que tiene el mismo valor para el mes
- p: porcentaje medio de horas luz, en relación con un mes y a la latitud del sitio
- t: Temperatura media mensual (°C)

Una vez que se ha obtenido este dato, se determinan los valores de  $ET_o$  que tiene unidades de medida en mm/día, representado por una ecuación de regresión lineal.

$$ET_o \left( \frac{mm}{día} \right) = a + b * f \quad (3)$$

### 2.2.5.2 Cantidad de agua en el riego

Para hallar la demanda de riego se considera los siguientes factores [5], [6]:

- Evapotranspiración
- Características de suelo y cultivo
- Eficiencia del sistema de riego seleccionado

$$Dn = \frac{ET}{Ef} \quad (4)$$

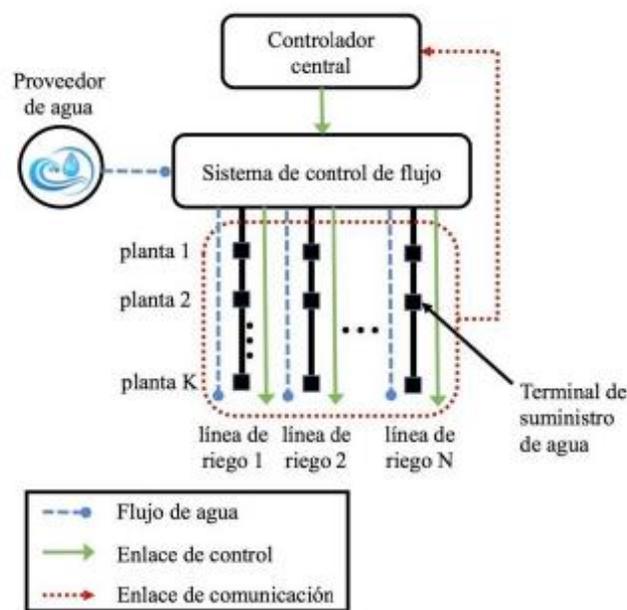
Dónde

- Dn: demanda neta de riego
- ET: Evapotranspiración
- Ef: eficiencia de riego

### 2.2.6 Sistema de riego inteligente basado en agricultura 5.0

Consiste en que el sistema tome decisiones basándose en datos de tiempo real para entregar la cantidad de agua necesaria a las plantas en función de diversos factores como condiciones climáticas, humedad de suelo, necesidades específicas de las plantas e información del sistema, lo cual funciona integrando elementos de domótica y algoritmos los cuales pueden ser considerados como: simples, de control o decisión [9].

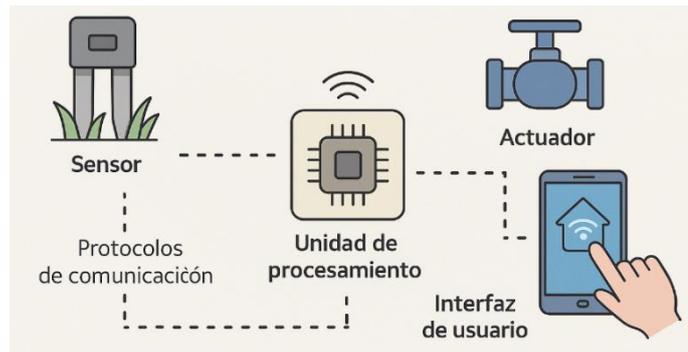
En la **Figura 2** se observa un sistema de riego inteligente propuesto en [10], en donde el controlador central es el encargado de gestionar el proceso de riego en base a los datos de información que recibe de las N líneas de riego y N plantas con el fin de optimizar el proceso, con la información obtenida da paso al sistema de control de flujo el cual se encarga de administrar la cantidad de agua que ha gestionado el controlador central.



**Figura 2.** Sistema de riego inteligente [10]

#### 2.2.6.1 Domótica en la agricultura

La domótica en la agricultura tiene como objetivo automatizar y optimizar los procesos agrícolas, con el fin de mejorar eficiencia, reducir consumos de recursos y aumentar la productividad, para lo cual utiliza dispositivos físicos como elementos de control y comunicación que son necesarios para su funcionamiento, [11], los cuales se pueden observar en la **Figura 3**.



**Figura 3.** Elementos esenciales para la implementación de domótica [12]

Los elementos esenciales para la implementación de domótica son los siguientes [9]:

- a. **Sensores:** captan el cambio físico y transmiten esta información a una unidad de procesamiento [13].
- b. **Actuadores:** Es un dispositivo que recibe una entrada de energía y la convierte en movimiento, existen diferentes tipos, las cuales van de acuerdo en función de la aplicación, se clasifican de acuerdo al tipo de movimiento y la fuente de energía [14].
- c. **Unidad de procesamiento:** Principal componente del sistema domótico en el cual se programan y permite recibir órdenes de los demás elementos, trabaja juntamente con interfaces necesarias para presentar información como pantallas, monitor, etc.
- d. **Protocolos de comunicación:** Permiten que exista comunicación en red (IoT), lo cual consiste en que los datos de los elementos conectados se transmitan en tiempo real mediante tecnologías como: WiFi, LoRa, Bluetooth usando protocolos de mensajería como MQTT, HTTP/HTTPS, WebSockets, entre otros [7].

### 2.2.6.2 Algoritmos para riego inteligente

Los algoritmos son considerados como un conjunto de reglas las cuales permiten que una máquina aprenda, analice datos y tome decisiones de manera autónoma [15], [16]. Entre los cuales se encuentran los siguientes que son considerados para la agricultura, los cuales pueden ser integrados a IA (Inteligencia Artificial) con el fin de tomar decisiones sin el razonamiento humano:

- a. **Algoritmos de Machine Learning:** Estos se clasifican en aprendizaje supervisado en donde utiliza datos etiquetados para entrenar modelos en donde se predicen los resultados, no supervisado, es decir, busca patrones en datos no etiquetados [17].
- b. **Algoritmos de control:** Son secuencias lógicas de pasos que permiten a un sistema de control, alcanzar un estado deseado, como el Control difuso (Fuzzy Logic) [1], [18] el cual es ideal cuando existen reglas para tomar decisiones con variables imprecisas.
- c. **Predicción climática y necesidades hídricas:** Incorporan algoritmos meteorológicos y de evapotranspiración, entre los cuales se encuentran los de Blaney-Cridle [5] o Hargreaves, se basa en datos de temperatura y radiación solar [19].

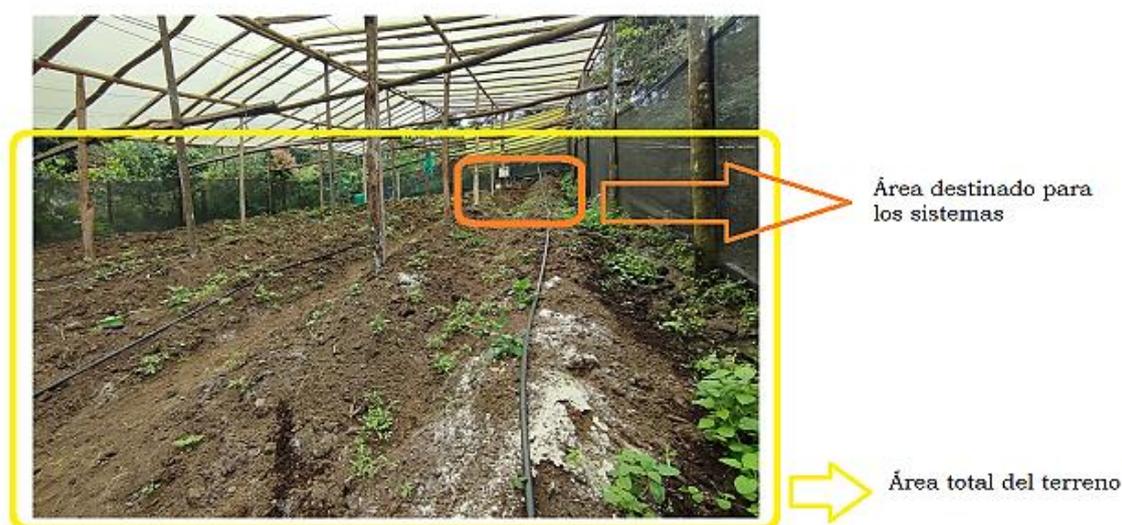
## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

La metodología adoptada en esta investigación se orienta a garantizar la validez de los resultados mediante el uso de enfoques mixtos, técnicas de observación directa y herramientas tecnológicas aplicadas al contexto agrícola de la zona de estudio.

La zona de estudio está ubicada a una altitud promedio de 2000 msnm, con temperaturas que oscilan entre 10 y 21 °C, con temperatura media de 18 °C y una velocidad promedio del viento de 7 km/h. Estas condiciones se encuentran dentro del rango óptimo para el cultivo de fréjol común, especialmente en su fase de desarrollo.

El área del terreno, como se observa en la **Figura 4**, destinado a los sistemas de riego corresponde a 15m<sup>2</sup>, con una distancia de 0.60 m entre plantas y el terreno posee una superficie total de 336m<sup>2</sup>.



**Figura 4.** Dimensiones del terreno de la zona de estudio.

El enfoque metodológico del proyecto combina distintos tipos de investigación:

- **Cuantitativo**, analizar variables como el tiempo de riego y el volumen de agua requerido por el cultivo.
- **Experimental**, diseño e implementación de un prototipo de riego automatizado.
- **Analítica**, explorar el software y dispositivos para el desarrollo del sistema.
- **Deductivo**, obtener conclusiones sobre el cumplimiento de los objetivos planteados.

### 3.1 Tipo de investigación

Se aplica una investigación descriptiva, aplicada, de campo y experimental.

#### 3.1.1 Investigación descriptiva

La investigación descriptiva es relevante ya que proporciona una descripción de la situación actual de la zona. En la que se recopila información de técnicas que usan los agricultores en el riego, tiempo de riego, tipo de cultivo y propiedades del suelo. Esta información es esencial para diseñar un sistema de riego inteligente que se adapte a las condiciones reales del entorno, asegurando eficacia y viabilidad técnica.

### 3.1.2 Investigación aplicada

Este enfoque se basa en la aplicación del conocimiento técnico para seleccionar los componentes adecuados en el desarrollo del sistema de riego automatizado. A través de esta orientación metodológica, se identifican sensores, actuadores, microcontroladores y otros dispositivos que cumplen con los requerimientos del cultivo y las condiciones ambientales de la zona de estudio. Además, facilita la definición de los parámetros de funcionamiento para garantizar un riego eficiente, preciso y acorde a las necesidades del sistema.

### 3.1.3 Investigación de campo

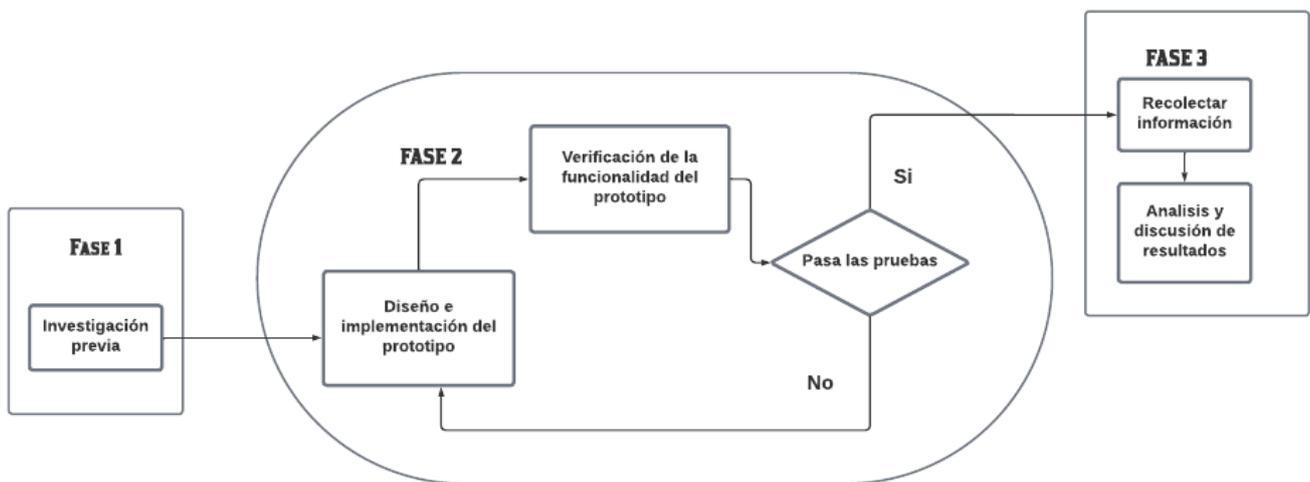
Para el desarrollo del presente proyecto, se aplicó el enfoque de investigación de campo, esto permitió recopilar información directa en la parroquia El Reventador, exactamente al km 86, mediante visitas técnicas realizadas a la zona de estudio con el propósito de recopilar información directamente de los agricultores, observar las prácticas tradicionales de riego y evaluar el rendimiento comparativo entre el sistema de riego automatizado y el tradicional.

### 3.1.4 Investigación experimental

Este tipo de investigación se usó para la implementación del prototipo del sistema de riego inteligente, el cual fue sometido a pruebas pertinentes y verificación de resultados.

## 3.2 Proceso del diseño del sistema de riego inteligente basado en agricultura 5.0

El diseño e implementación del prototipo del sistema de riego inteligente basado en agricultura 5.0 se desarrolló en 3 fases, como se observa en la **Figura 5**.



**Figura 5.** Fases del desarrollo del prototipo del sistema inteligente de riego basado en agricultura 5.0

### 3.2.1 Fase 1: Estudio previo

Se realizó una investigación previa de los trabajos realizados con la temática riego inteligente con el fin de seleccionar información relevante y que ayude al aporte del trabajo de investigación a través de consultas técnicas, recursos bibliográficos como: libros, trabajos de investigación en repositorios de diversas universidades a nivel nacional e internacional, artículos de diferentes revistas, entre otros.

Adicional se recopila información bibliográfica del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) para conocer el desarrollo físico del territorio considerando las características propias del entorno.

Además, se realizó una visita técnica al sector, donde se observaron aspectos como el proceso de riego, tiempo de riego, tipo de cultivo, características del suelo, condiciones climáticas, fuente de agua, entre otros factores.

Después de obtener la información se llevó a cabo el siguiente proceso:

- Investigar las características del cultivo que se usó en el proyecto.

### 3.2.1.1 Localización

#### Parroquia “El Reventador

La parroquia El Reventador, ubicada en un clima templado, se localiza en las coordenadas 0°02'10.5" S de latitud y 77°31'12.3" O de longitud. En la **Figura 6** se muestra su localización geográfica dentro del cantón Gonzalo Pizarro, provincia de Sucumbíos. El 61% de su población se han dedicado a la agricultura [10], en la zona se cultivan frutas, hortalizas orgánicas y otros productos agrícolas. Se evidencia el uso de sistemas de riego por goteo y riego tradicional mediante manguera. A continuación, en la **Tabla 3** que comprende las características generales de la parroquia El Reventador.

**Tabla 3.** Características generales de la parroquia El Reventador [20]

Nombre del GAD	<b>Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial El Reventador.</b>
Fecha de creación	La parroquia fue creada mediante Registro Oficial Nro. 193 del 27 de Octubre del 2020.
Población total al 2020	Proyección al 2020 es de 1747 habitantes
Extensión	Superficie de 98466,36 ha, según los límites administrativos CONALI, 2019.
Ubicación	Se encuentra ubicada al norte de la provincia de Sucumbíos.
Límites	Al norte: Parroquia Sofía pertenece a la provincia de Sucumbíos. Al Este: parroquia Puerto Libre y Gonzalo Pizarro. Al Sur: Parroquia Gonzalo Días de Pineda y Santa Rosa de Quijos. Al Oeste: Parroquia Olmedo (Pichincha), Mariana Acosta y San Francisco de Sigsipamba (Imbabura).
Rango altitudinal	Desde 600 m.s.n.m hasta los 3900 m.s.n.m.
Recintos	La Libertad, Alma Ecuatoriana, Simón Bolívar, San Francisco, Atenas, más la cabecera parroquial El Reventador.

Temperatura	La temperatura máxima es de 21 °C, la temperatura media es de 18°C, y la mínima de 10°C.
-------------	--

## El agua

Es un recurso importante en el desarrollo de las economías y sobretodo ambientalmente es necesario para cumplir con diferentes procesos ecológicos. De esta manera en cuanto a la variable agua se identifica que la parroquia tiene particular relevancia debido a su localización geográfica dentro de dos importantes subcuencas hidrográficas, como se observa en la **Tabla 4**.

Hacia el nororiente, la parroquia se encuentra dentro de la subcuenca del río Aguarico, con un área de 70.070,41 hectáreas, siendo la más extensa en términos de cobertura territorial. Por su parte, hacia el suroccidente y suroriente, también presenta influencia dentro de la subcuenca del río Coca, con una extensión de 27.006,59 hectáreas.

Además, el territorio cuenta con un sistema hidrológico con la presencia de múltiples quebradas y ríos. Algunos de estos afluentes contribuyen a abastecimiento del proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair una de las principales infraestructuras energéticas del país.

Los cuerpos de agua de menor escala, presenta importantes microcuencas como la del río Due, principal afluente del río Aguarico y la microcuenca del río Agua Clara. Estas unidades hidrológicas menores cumplen funciones vitales en la regulación hídrica local y el sostenimiento de los ecosistemas de la zona [20].

En la **Figura 6** se muestra el sistema hidrográfico de la parroquia, en donde se observa la leyenda, que corresponden a: Subcuenca Río Aguarico y Subcuenca del Río Coca.

**Tabla 4.** Sistema hidrológico de la parroquia [20]

	Redes hídricas	Longitud (km)
Subcuenca Río Aguarico	Río Agua Clara	134.04
	Río El Dorado	17.59
	Río Due	9.53
	Río Due Chico	16.72
	Río Due Grande	22.74
	Río Huataringo	4.82
	Río Dantupamba	25.39
	Quebrada La Esperanza	1.19
Cuenca Río Napo	Río Azuela	57.82
	Río Dashino	0.74
	Río San Carlos	3.63
	Río Salado	12.13

---

<b>Río Coca</b>	Río Oso	5.55
	Río Pimampiro	3.90
	Río Soroche	5.95
	Río Quijos	10.72
	Quebrada Sardinias	3.88
	Quebrada Dantocucho	5.63
	Quebrada Cui Pajihua	2.72

---



Figura 6. Mapa del sistema hidráulico de la parroquia [20]

## El clima

Según los parámetros establecidos en la literatura [7], las siguientes variables permiten caracterizar el clima de la parroquia El Reventador:

- a. **Precipitación.** - En la zona occidental de la parroquia, se han registrado niveles de precipitación que oscilan entre 900 y 1500 milímetros. Por otro lado, en las zonas de menor altitud, ubicadas principalmente hacia el sector oriental de la parroquia, los niveles de precipitación son mayores, oscilando entre 1500 y 2100 milímetros [20].
- b. **Temperatura media.** – Las temperaturas en la parroquia varían entre 6° C y 22 °C. Las zonas norte central y sur presentan temperaturas más elevadas, con rangos que fluctúan entre los 14° C y 22°C [20].

## Relieves

La parroquia El Reventador presenta una superficie de 98.454,05 hectáreas [20], con altitudes que van desde los 600 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) hasta los 3900 (m.s.n.m) lo cual genera diferentes tipos de relieves y pendientes. La parroquia presenta mayor área territorial con la presencia de pendientes que van desde el 40% hasta el 70% como se puede observar en la **Tabla 5** y en la **Figura 7** se observa un mapa de los relieves de la parroquia El Reventador.

**Tabla 5.** Clases de pendientes [20].

Pendiente	Descripción	Relieves	Área (ha)	%
<b>0-2%</b>	Plana	Completamente planos	7211.87	7.32
<b>&gt;2-5%</b>	Muy suave	Casi planos	1645.64	1.67
<b>&gt;5-12%</b>	Suave	Ligeramente ondulados	4131.24	4.19
<b>&gt;12-25%</b>	Media	Medianamente ondulados	13374.16	13.58
<b>&gt;25-40%</b>	Media a Fuerte	Mediana a fuertemente disectados	18735.09	19.03
<b>&gt;40-70%</b>	Fuerte	Fuertemente disectados	35407.62	35.96
<b>&gt;70-100%</b>	Muy fuerte	Muy Fuertemente disectados	15184.38	15.42
<b>&gt;100%</b>	Escarpada	Escarpados	2776.37	2.82

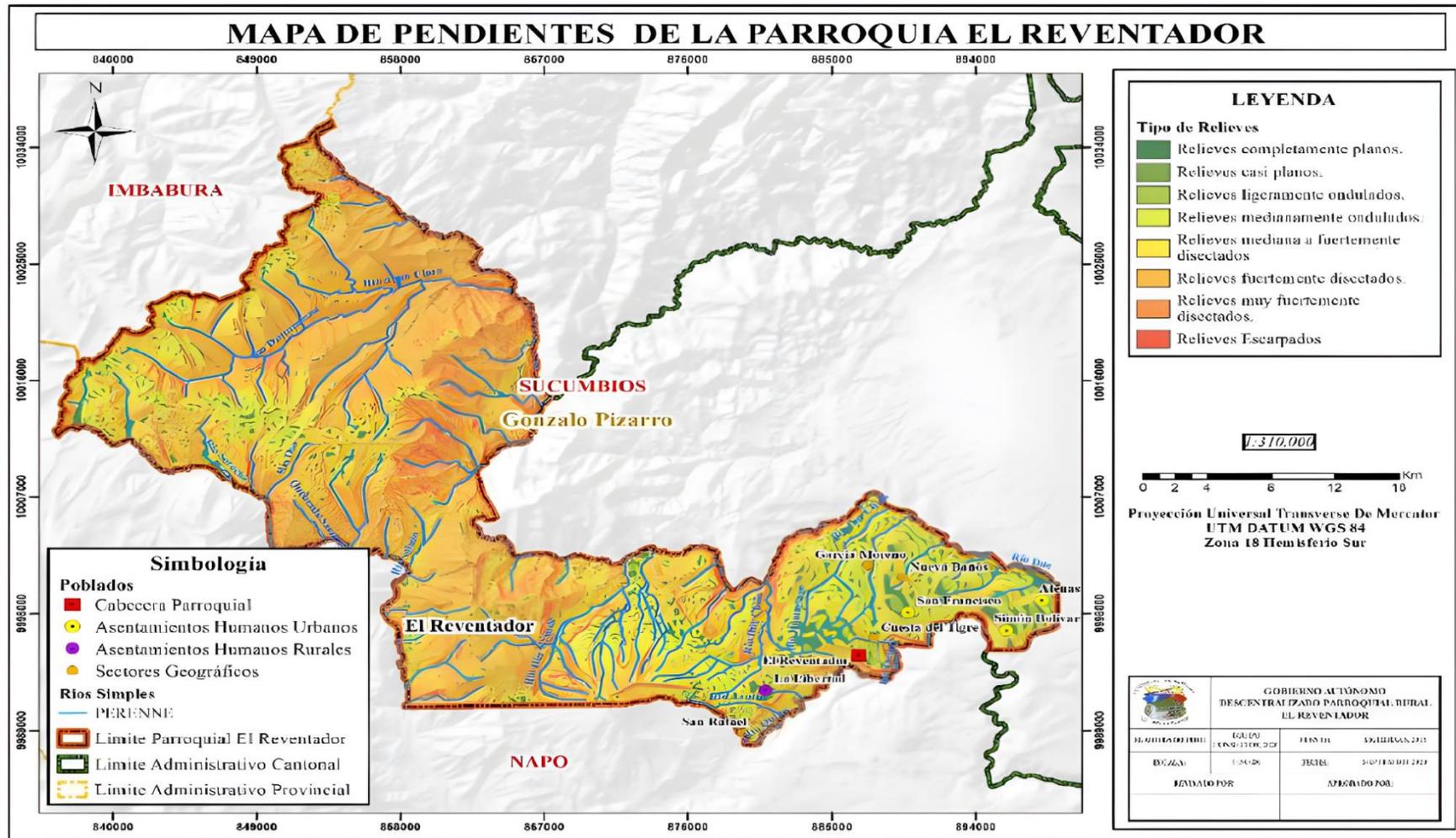


Figura 7. Mapa de relieves de la parroquia [20]

## Tipos de suelo

El tipo de suelo que predomina en la parroquia corresponde a Andisols [20] que ocupan el 79% del territorio correspondiente a 77.830,01 ha estos son suelos volcánicos, francos arenosos en superficie y franco arenosos a profundidad, con drenaje bueno, alta capacidad de retención de agua, poco profundos, pH medianamente ácido y son suelos muy fértiles, utilizados en la agricultura, especialmente para el cultivo de cereales y hortalizas [20].

El orden entisol Orthents ocupa el 12,36 % del territorio correspondiente a 12.171,28 ha, poseen características de ser suelos escasamente desarrollados, franco arcillo-arenosos en superficie, con drenaje bueno, superficiales (presencia de roca), pH prácticamente neutro, fertilidad natural baja [20].

### 3.2.1.2 Situación actual del Invernadero

El terreno del invernadero en el que se realizó la investigación e implementación del proyecto está ubicado en la parroquia El Reventador, a la altura del km 86. La dimensión del terreno es de 14 metros de ancho por 24 metros de largo.

El abastecimiento de agua proviene de una quebrada, la cual ha sido canalizada hacia un reservorio y se distribuye por tuberías hacía las diferentes viviendas e invernaderos. Dicha información fue recolectada directamente de los agricultores por medio de la entrevista que se evidencia en el **ANEXO B**.

Los cultivos de siembra en el invernadero varían entre tomate, pepino y fréjol, los cuales son denominados como hortalizas, en la **Tabla 6**, el nivel de pH se realizó mediante análisis de laboratorio, el cual se evidencia en el **ANEXO C**, el cálculo del caudal se realizó mediante observación en cuanto a los litros que se llenan de acuerdo con el tiempo [6].

**Tabla 6.** Generalidades de la visita técnica.

Cultivo	Hortalizas.
Frecuencia de riego	3 veces a la semana
Tipo de riego	Riego por manguera de media pulgada
Tiempo de riego	3 horas por la mañana
Tipo de suelo	Franco Arenoso
Velocidad de infiltración en suelo	25 mm/día
Densidad aparente de suelo	1.50
Promedio de clima	Máxima de 21°C, Medio 18°C y baja de 10°C
Topografía de suelo	Inclinación moderada
Caudal	0.1805 L/s
Ph	6,26

El caudal se halla por el método de observación mediante la siguiente ecuación [5].

$$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} \quad (1)$$

El pH es regulado por la actividad, cantidad de materia orgánica y concentración de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ) por lo que ha mayor cantidad de bicarbonato el pH es alcalino, regulado por la concentración de cationes de suelo [7].

### 3.2.1.3 Características del cultivo

En el estudio se evaluó el cultivo de fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) también conocido como poroto, judía, habichuela. Por la superficie cultivada a nivel mundial es la tercera leguminosa más importante [2].

En la **Figura 8**, se observa las vainas de la planta de frejol.



**Figura 8.** Planta de Fréjol *Phaseolus vulgaris* [21]

En la **Tabla 7** se observa las características generales de la planta.

**Tabla 7.** Características generales de la planta de fréjol común [39]

Características	Fréjol común
Color de flor	Blanca
Color grano seco	Rojo moteado
Altura de planta	35 a 55 cm
Días a floración	30 a 35
Días a cosecha en tierno	60 a 70
Días a cosecha en seco	85 a 90
Vainas por planta	8 a 12
Semillas por planta	31 a 43

El fréjol puede sembrarse en una gran variedad de suelos y climas durante todo el año [2]. Para tener éxito en el cultivo se recomienda usar suelos de buen drenaje, de textura franco limosa a ligeramente arenosa, requiere un buen contenido de materia orgánica [39]. Los principales problemas del cultivo se deben a pérdidas causadas por factores climáticos y al uso de semillas no certificadas.

### Condiciones de clima y suelo

Se deben considerar los siguientes factores para el desarrollo de la planta.

- **Precipitación:** entre 350 y 600 mm. La escasez de agua afecta a la formación y el llenado de vainas, mientras que el exceso afecta al crecimiento de la planta y favorece el ataque de enfermedades [2].
- **Altitud:** Crece en climas de 2000 a 2900 msnm [2].
- **Fotoperiodo:** requiere entre 10 y 12 horas de luz diaria [2], [39].
- **Temperatura:** mínima entre 10 y 12 °C y máxima entre 30 y 32 °C [2].
- **Tipos de suelo:** prefiere suelos franco arenoso-limoso, aireados y con buen drenaje [2], [39].
- **pH del suelo:** entre 6.5 y 7.5; no tolera la salinidad [2], [39].

### Ciclo del cultivo

El ciclo de cultivo se evidencia en la **Tabla 8**, donde se describen las etapas fenológicas junto con sus respectivos coeficientes de cultivo (kc) y duración estimada en días.

**Tabla 8.** Ciclo de cultivo [2]

ETAPAS	KC	Duración de fases (días)
Fase inicial	0.47	25
Fase de desarrollo	0.8	40
Fase de maduración	1.13	70
Fase final	0.85	30

**El ciclo de cultivo dura entre 160 a 180 para la cosecha en grano tierno y de 180 a 195 días para la cosecha en grano seco**

#### 3.2.1.4 Riego

En condiciones secas, se recomienda un riego cada ocho días, especialmente durante las fases de floración y llenado de vainas y para la frecuencia de riegos se debe considerar: textura, drenaje de suelo, pendiente y profundidad [2].

El porcentaje de humedad del suelo adecuado para el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) durante la etapa de desarrollo (crecimiento vegetativo y floración), cultivado en un suelo franco arenoso, debe mantenerse dentro de un rango entre 60 y 70 % que garantice una buena disponibilidad de agua sin provocar encharcamientos ni estrés hídrico.

- **Suelo franco arenoso:** Este tipo de suelo tiene una buena infiltración, pero menor capacidad de retención de agua que los suelos arcillosos. Por lo tanto, requiere un riego más frecuente, pero con volúmenes más bajos.

#### Recomendación general de humedad para fréjol:

Según lo establecido en [31], [32] en la **Tabla 9** se determina el porcentaje de humedad ideal considerando el tipo de suelo y etapa de cultivo.

**Tabla 9.** Humedad ideal para el fréjol común [31], [32]

<b>Etapas</b>	<b>Humedad ideal</b>
Fase Inicial	70-80%
Fase Desarrollo	60-75%
Fase de maduración	75-85%
Fase final	50-60%

La elección de riego por goteo automatizado permitió aplicar el agua de forma eficiente y adaptada a las fases fenológicas del fréjol, especialmente en el inicio del período de desarrollo cual se reflejó en una adecuada uniformidad de humedad en el suelo franco arenoso del lugar.

### **3.2.2 Fase 2: Diseño e implementación**

Para el desarrollo del proyecto se ha tomado en cuenta lo siguiente:

- Se realizó una investigación en cuanto a dispositivos físicos y de software con el fin que sean adecuados para el funcionamiento del sistema.
- Se realizó el diseño del circuito considerando las especificaciones de la investigación.
- Selección de los equipos y materiales a utilizar para el sistema de riego inteligente.
- Implementación de Node-Red para guardar información.
- Implementación del sistema de riego inteligente.

#### **3.2.2.1 Diseño e implementación del sistema por goteo.**

En este apartado se proporciona información acerca de los componentes que han sido utilizados en la creación del sistema, incluyendo tubería y accesorios, sensores, base de datos y la tecnología de red.

##### **3.2.2.1.1 Elementos a usar en el sistema de riego por goteo.**

En la **Tabla 10**, se presenta una lista de los materiales y tuberías que se emplearon para el sistema de riego por goteo, la selección del sistema se realizó considerando los requerimientos técnicos de la **Tabla 2** y del usuario final.

**Tabla 10.** Materiales de sistema de riego por goteo

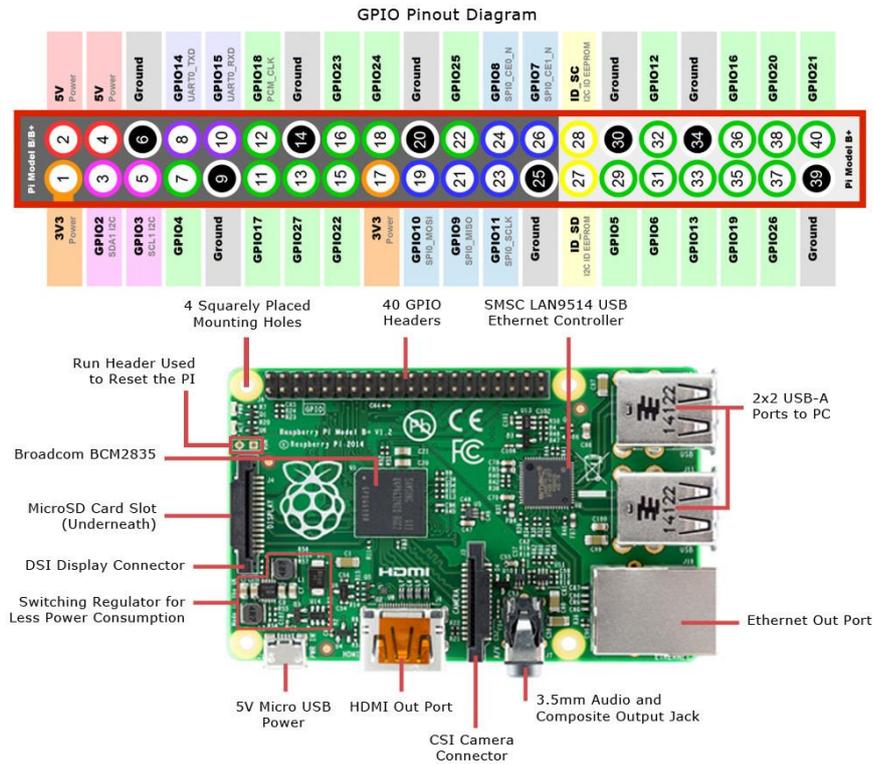
<b>MATERIALES DEL SISTEMA DE RIEGO/PLOMERIA</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>COMENTARIO</b>
<b>Head conector (Conector inicial) flex</b>	Material polietileno 1/2"	

MATERIALES DEL SISTEMA DE RIEGO/PLOMERIA		
DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA	COMENTARIO
Union flex	Material polietileno 1/2"	
Manguera	Material polietileno negra 1/2"	
Adaptador flex	Material polietileno 1/2"	
T	Material polietileno 2"	
Gotero ajustables 0.7 L/H	Material polietileno Gotero 0.7 L/H	
Uniones de rosca pvc	1/2	

### 3.2.2.1.2 Elementos electrónicos para el sistema

#### Raspberry Pi

Es considerado una mini computadora, como se observa en la **Figura 9**. A este dispositivo se le pueden conectar periféricos como teclado y mouse, lo que permite su uso como una PC completa, haciéndola versátil para diversas aplicaciones [22]. Funciona con el sistema operativo Raspbian y facilita la comunicación inalámbrica con sensores y otros dispositivos a través de tecnologías Wi-Fi y Bluetooth. Su fuente de alimentación es de 5 V, 2.5 A [23]



**Figura 9.** Esquema de Raspberry Pi 3B [23]

### Sensor de humedad Anticorrosivo HD-38

En la **Figura 10**, se observa el HD-38, es un módulo de sensor de humedad del suelo resistente a la corrosión, diseñado específicamente para supervisar los niveles de humedad en el suelo de las plantas [24], destacándose de los otros sensores por ofrecer la ventaja de contar con una sensibilidad ajustable a través de un potenciómetro, según lo descrito en [25].

#### Características Principales:

- Módulo de sensor de humedad del suelo HD-38 resistente a la corrosión con sonda metálica
- Sensibilidad del Sensor: de 3.3 V a 12V
- Consumo de 30 mA
- Salida A0: Ofrece una señal analógica que cambia según la humedad del suelo y se puede conectar directamente a un puerto analógico de microcontroladores.
- Salida D0: Es una salida digital que le permite configurar cuando la señal cambia de apagado a encendido utilizando un potenciómetro.



**Figura 10.** Sensor de humedad FC-38 [24]

### **Sensor de humedad y temperatura**

El sensor de humedad y temperatura DHT22, **Figura 11**, es una opción fácil de usar en la medición de la temperatura de manera digital [24].

#### **Características Principales**

- Rango de operación de humedad: 0-100%
- Rango de operación de temperatura: -40-80°C
- Alimentación: 3-5 V DC
- Corriente máxima: 2.5 mA
- Mejor precisión



**Figura 11.** Sensor de humedad y temperatura DHT22 [26]

### **Electroválvula**

Es un dispositivo electromecánico, **Figura 12**, empleado para regular la circulación de líquidos o gases, como agua, aire, gas, aceite y otros [14]. Operan mediante la aplicación de una corriente eléctrica que activa un solenoide, el cual a su vez mueve una parte interna de la válvula para abrir o cerrar el paso del fluido [24].



**Figura 12.** Válvula electromagnética [27]

### Características principales

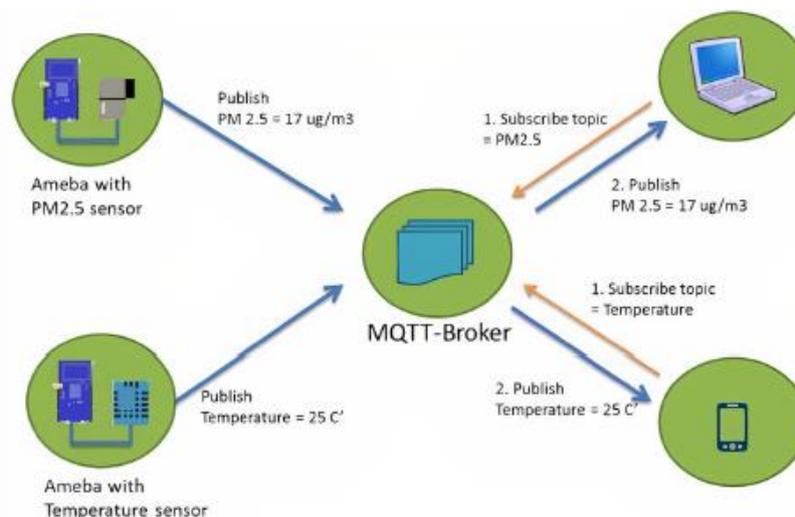
- Voltaje de funcionamiento: 3.6 – 6.5 V
- Material metálico
- Forma de trabajo: Válvula de apertura de pulso positivo, válvula de apagado de pulso negativo
- Vida útil: 30 millones de veces.

La configuración del sistema tuvo en cuenta las condiciones de pendiente del terreno, velocidad de infiltración del suelo (25 mm/día) y ubicación del cultivo. Se distribuyeron goteros ajustables de 0.7 L/h lo cual permitió ajustar la cantidad de agua en el proceso de riego.

#### 3.2.2.1.3 Comunicación en la red

Para establecer comunicación desde los sensores hacia la Raspberry Pi, se utilizó tecnología Wi-Fi mediante el protocolo de mensajería MQTT. Este protocolo ligero opera bajo un modelo de publicación/suscripción, lo cual facilita la transmisión de datos en entornos con recursos limitados [28].

El bróker MQTT actúa como el intermediario central, gestionando la entrega de mensajes entre dispositivos editores y suscriptores, lo cual permite una comunicación bidireccional, escalable y eficiente en sistemas IoT [29]. En la **Figura 13**, se muestra el diagrama representativo del protocolo MQTT.



**Figura 13.** Esquema de protocolo MQTT [1]

#### 3.2.2.1.4 Node-RED

Es una interfaz visual intuitiva que permite a los usuarios conectar dispositivos y plataformas a la nube de manera eficiente [29]. Sus nodos representan funciones específicas, las cuales

se pueden arrastrar y soltar logrando construir flujos de trabajo de forma fácil, es de libre acceso que permite el desarrollo de aplicaciones IoT [30].

En la **Tabla 11** se muestra una tabla comparativa entre Node-RED e InfluxDB, los cuales son herramientas necesarias para el almacenamiento y visualización de datos.

**Tabla 11.** Diferencias entre Node-RED e InfluxDB [30], [40]

<b>Criterio</b>	<b>Node-RED</b>	<b>InfluxDB</b>
Función principal	Automatización y visualización de flujos	Base de datos de series temporales
Instalable en Raspberry Pi	Fácil instalación	Sí
Dificultad de uso	Interfaz visual sin código e intuitivo	Medio
Visualización de datos	Incluye dashboard	Requiere de grafana
Almacenamiento de datos	No de forma directa sino que a través de archivos json o csv que guarda en la raspberry	Sí de forma directa
Compatibilidad con MQTT	Sí, por sus nodos	No directamente
Consumo de recursos	Bajo	Medio, funciona mejor en la versión 4 de Raspberry

Para el desarrollo del sistema inteligente, se optó por el uso de Node-RED debido a su versatilidad, facilidad de uso y capacidad de automatización ya que permite crear flujos lógicos de control, visualización de datos en tiempo real, comunicación con sensores mediante MQTT y activar las válvulas de riego de forma directa. A diferencia de InfluxDB, que está orientada especialmente al almacenamiento de datos.

### 3.2.2.1.5 Descripción de proceso

- **Descripción del proceso Tradicional**

El riego tradicional realizado por el agricultor consiste en recolectar agua en un recipiente de 5 litros y aplicarlo manualmente a cada planta. Este procedimiento se lleva a cabo aproximadamente cada tres días o cuando el agricultor considera que el suelo está seco. Generalmente, el proceso dura alrededor de 10 minutos y se realiza una sola vez al día entre las 10:00 y 11:00 de la mañana.

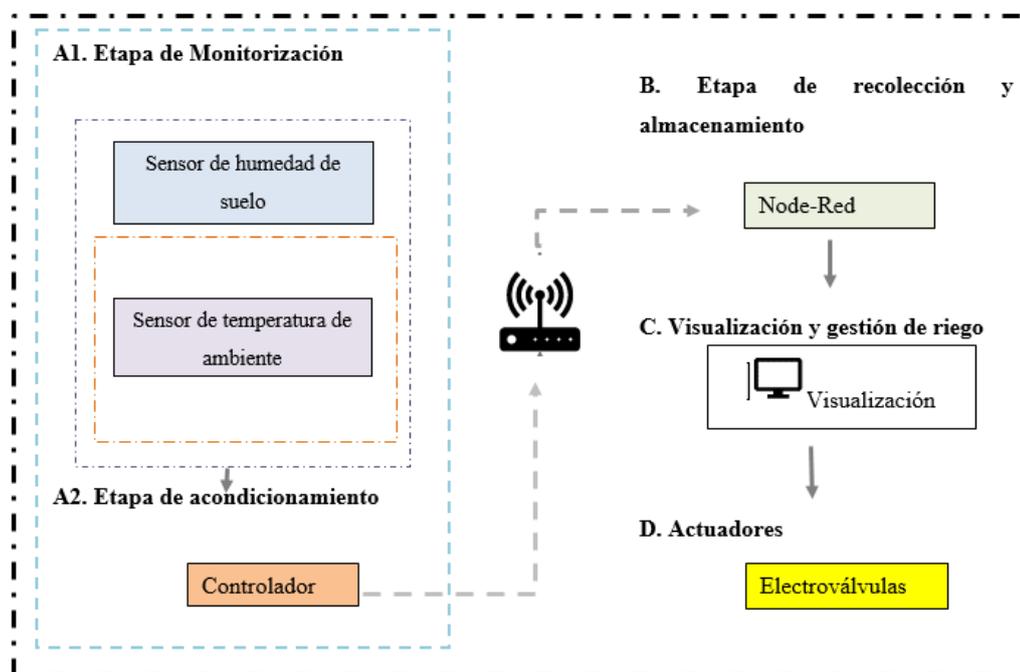


**Figura 14.** Diagrama del proceso del riego realizado por el agricultor

- **Descripción del proceso automatizado**

Para el riego automatizado se consideró la información obtenida en [2] y la **Tabla 9**, donde se especifica la humedad del suelo adecuada para el cultivo de fréjol común, según la etapa fenológica, el tipo de suelo y temperatura ambiental.

En la **Figura 15**, se muestra la descripción del proceso que realiza el sistema automatizado. Para el diseño del prototipo de riego automatizado se basó en el análisis de parámetros ambientales y del suelo, ya que estas variables son fundamentales para determinar la necesidad del riego.



**Figura 15.** Esquema general del sistema de riego inteligente

**A1. Etapa de monitorización:** Incluye sensores de humedad del suelo y temperatura ambiental.

**A2. Etapa de acondicionamiento:** es el encargado de procesar la información de las señales recibidas de los sensores.

**B. Etapa de recolección y almacenamiento:** Encargado de recolectar y almacenar los valores enviados, para posteriormente visualizarlos a través de Node-Red

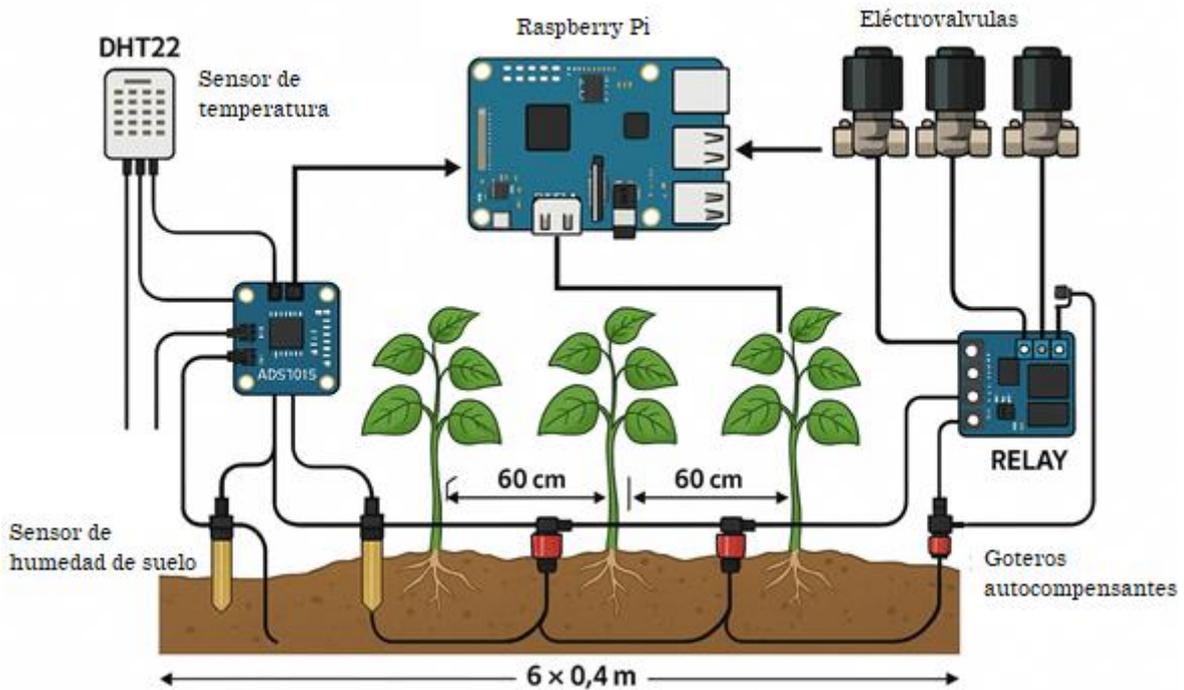
**C. Etapa de visualización y gestión:** Compuesto por Node-Red el cual permite visualizar la interfaz gráfica por medio de una pantalla.

**D. Actuadores:** Las electroválvulas se activan o desactivan de acuerdo con las condiciones establecidas por el sistema.

En la **Figura 16**, muestra la interconexión del sistema de riego automatizado, se observa el uso de sensores de humedad instalados en la zona radicular de las plantas, los cuales envían señales eléctricas que son procesadas por la Raspberry Pi. La comunicación entre sensores

y la Raspberry Pi se realiza mediante el protocolo MQTT con Wi-Fi, lo cual garantiza una transmisión de datos rápidos y confiables.

Tras cada ciclo de muestreo, se ejecuta un algoritmo de control basado en los umbrales programados los rangos óptimos establecidos para la etapa de desarrollo del fréjol el cual se observa en la **Tabla 12**. Cuando la humedad del suelo baja del umbral inferior, el sistema activa automáticamente las electroválvulas para iniciar el riego, deteniéndolo una vez que se alcanza el nivel establecido.

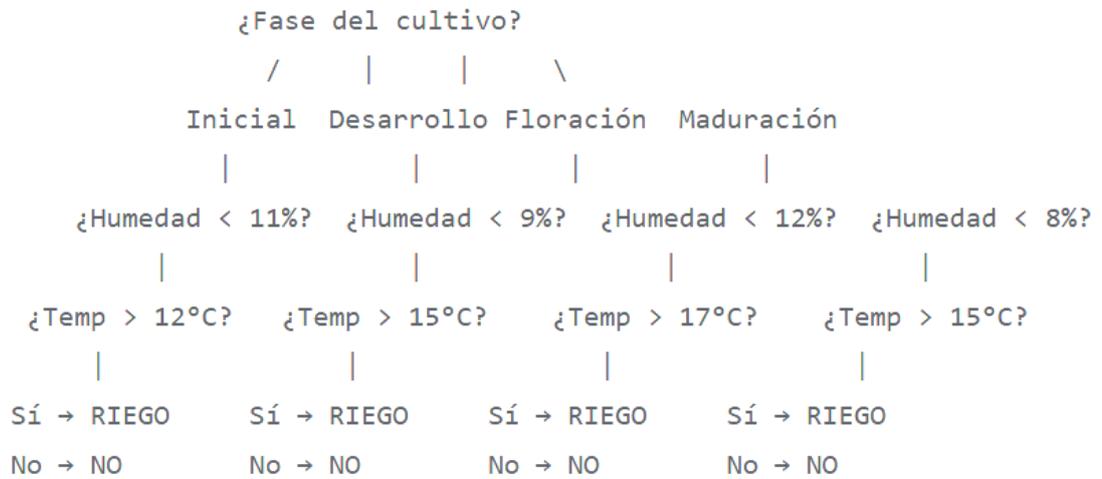


**Figura 16.** Esquema del sistema de riego automatizado para el cultivo de fréjol común

**Tabla 12.** Factores para el riego

Cultivo	Fase de crecimiento	Tipo de suelo	Humedad de suelo
<b>Fréjol común</b>	Etapa de desarrollo	Franco arenoso	60-75%

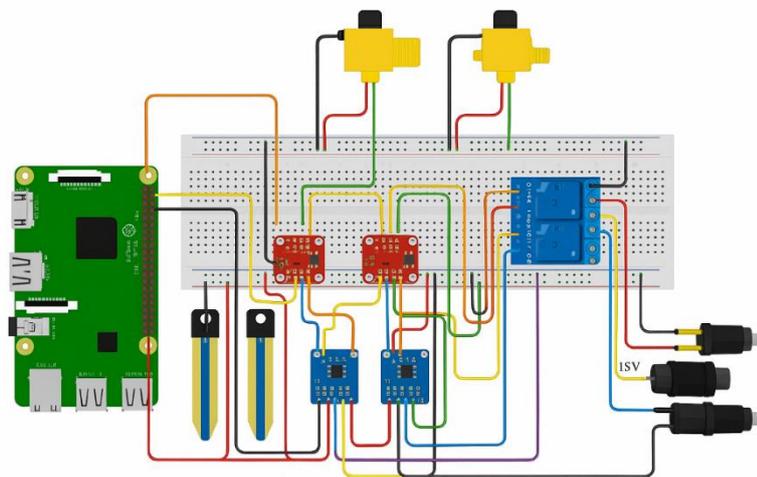
El sistema automatizado emplea una lógica basada en reglas fijas implementada mediante sentencias condicionales (if anidados), donde se compara la humedad del suelo medida y la temperatura con los valores establecidos como óptimos. Si se detectan que los valores están fuera del rango deseado, se activan o desactivan las electroválvulas. En la **Figura 17** se presenta el diagrama de decisión utilizado, el cual contempla las etapas de cultivo y sus respectivos rangos de humedad óptima según lo establecido en [33].



**Figura 17.** Árbol de decisión para establecer el riego

### 3.2.2.2 Construcción del prototipo

Para el desarrollo se realizó la construcción del dispositivo para el sistema de riego automatizado.



**Figura 18.** Diseño gráfico del dispositivo del sistema de riego.

### 3.2.2.3 Implementación del prototipo

Se establecieron dos columnas dentro del área: en la cual una será tomada para que el agricultor realice el riego tradicional y otra en la que se ejecuta el riego automatizado, teniendo en cuenta que para ambos casos se han instalados 2 sensores de humedad en cada columna.

La etapa de cultivo considerada corresponde a la etapa de desarrollo, tomando en cuenta el ciclo del cultivo de la **Tabla 8** y el riego recomendado de la **Tabla 9**.

En la **Figura 19**, se observan dos tipos de métodos de riego, que corresponde al tradicional y automatizado. El riego tradicional se caracteriza porque el agricultor realiza el proceso de riego de forma manual, sin considerar parámetros de humedad del suelo. En cambio, el sistema automatizado utiliza sensores y controladores para activar las electroválvulas, lo cual permite controlar el riego en función de datos en tiempo real.



**Figura 19.** Método de riego tradicional y automatizado

En la **Figura 20** se observa los nodos correspondientes a las señales recibidas por los sensores del sistema. Estos nodos representan los puntos de recolección y transmisión de datos, como la humedad del suelo. Cada nodo actúa como intermediario en la red de comunicación permitiendo enviar señales de manera continua al dispositivo de control, facilitando el monitoreo en tiempo real y toma de decisiones para automatizar el riego.



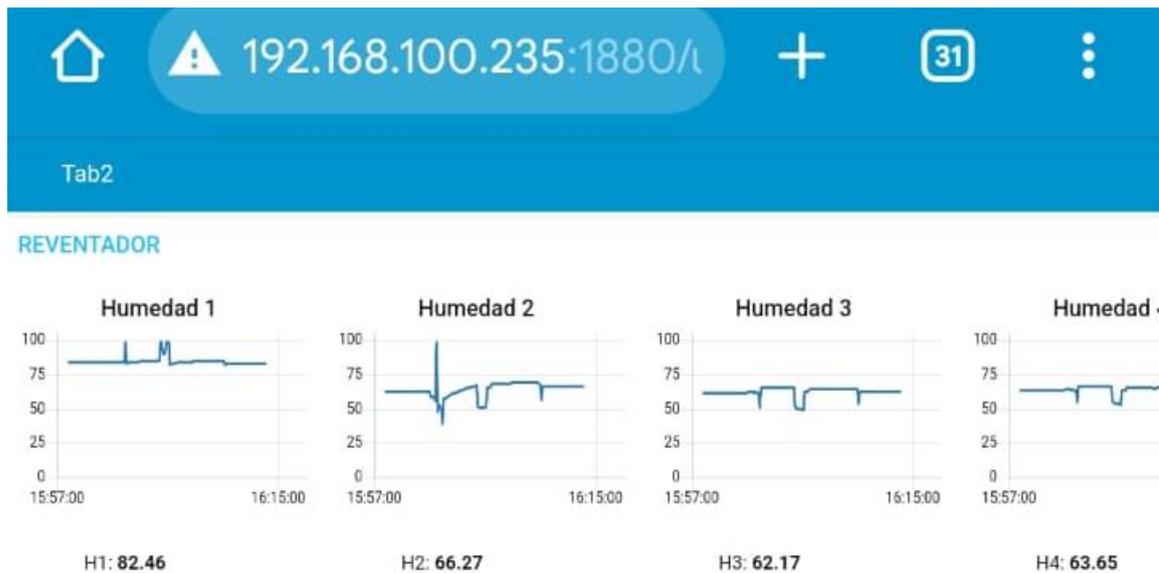
**Figura 20.** Visualización de Node-RED del monitoreo de humedad.

### 3.2.2.4 Verificación del funcionamiento

En la **Figura 20** y **Figura 21** se observa las pantallas de visualización que reflejan la información obtenida en tiempo real por los sensores. Estas interfaces permiten monitorear el estado de humedad de suelo permitiendo así tomar decisiones para el riego. A través de estos gráficos se puede determinar si los valores se encuentran dentro de los rangos óptimos definidos para el cultivo.

En la **Figura 22** se observa el proceso automatizado de decisión, en el cual si la humedad de suelo baja de acuerdo con el rango establecido en la programación, el sistema general la señal de activación de riego, esta acción es ejecutada por el controlador que interpreta la información y activa las electroválvulas correspondientes.

En la **Figura 23** se muestra el sistema de riego automatizado el cual se encuentra en funcionamiento ya que se observa el área dónde se encuentran las plantas corresponde a la zona húmeda, lo cual indica que el sistema está operando con el fin de suministrar agua de forma localizada y controlada.



**Figura 21.** Visualización de los datos de los sensores a través de Node-RED.

```

Sensor de Humedad 1: 83.50%
Sensor de Humedad 2: 69.92%
Sensor de Humedad 3: 65.12%
Sensor de Humedad 4: 66.00%
Sensor de Humedad 5: 64.56%
Humedad Sensor 5 ha bajado de 58%. Activando válvula 5.
Sensor de Humedad 5: 64.46%

Caudal y Volumen de Agua:
- Sensor 1: 0 pulsos, 0.00 L, Volumen Total Sensor 1: 0.00 L
- Sensor 2: 0 pulsos, 0.00 L, Volumen Total Sensor 2: 0.00 L

```

**Figura 22.** Pantalla de visualización de humedad y activación de válvula de riego.



**Figura 23.** Vista del sistema de riego en operación con el cultivo del frejol común

### 3.2.3 Fase 3: Evaluación del sistema

Una vez que se ha verificado su funcionamiento se consideró lo siguiente:

- En la tercera y última fase del proyecto se va a evaluar el funcionamiento del sistema, con pruebas de campo.
- Recolectar información relevante para el análisis y discusión de los resultados, los cuales serán comparados con aquellos obtenidos mediante el método tradicional utilizado por los agricultores.
- Elaboración de trabajo escrito.

#### Consumo de agua

Con el fin de evidenciar si existe mejora y sus ventajas, es necesario realizar la comparación entre ambos sistemas. El objetivo es demostrar y medir el cambio existente para el consumo del recurso, teniendo como indicador consumo de riego en el cultivo y tiempo de riego.

#### 3.2.3.1 Sistema Tradicional

En el sistema tradicional según lo observado en el proceso descrito en la **Figura 14**, el riego fue realizado manualmente por el agricultor. Los datos fueron recolectados durante 15 días en la etapa de desarrollo, los cuales se evidencian en la **Tabla 13**.

**Tabla 13.** Datos obtenidos del riego realizado por el agricultor.

N° Observaciones	Humedad de suelo inicial	Humedad de suelo	de Temperatura	Consumo de agua ( $m^3$ )	Tiempo de riego minutos
1	52%	65%	21°	5	12
2	70%	88,3%	23°	-	-
3	68%	86.5%	18°	-	-
4	60%	74,7%	20°	-	-
5	58%	72,7%	23°	4	10
6	50%	65,1%	27°	-	-
7	48%	63,2%	25°	3	7
8	61%	78,2%	23°	-	-
9	60%	74,6%	26°	-	-
10	57%	72.8%	22°	5	12
11	55%	69.5%	24°	-	-
12	56%	71,2%	19°	-	-
13	51%	69,6%	21°	2	5
14	63%	79,8%	20°	-	-
15	53%	66.5%	26°	-	-

#### 3.2.3.2 Sistema Automatizado

La automatización permite reducir el consumo de agua y el tiempo dedicado al riego en comparación con el método tradicional. Durante la implementación se registraron datos de

humedad, temperatura, volumen de agua aplicado y duración del riego, como se muestra en la **Tabla 14**.

**Tabla 14.** Datos del sistema automatizado

Nº Observaciones	Humedad inicial del suelo.	Humedad de suelo	Temperatura	Consumo de agua ( $m^3$ )	Tiempo de riego minutos
1	62.3%	68.1%	21°	2.4	12
2	66.7%	72.5%	23°	2.8	14
3	64.2%	69%	18°	1.6	8
4	66.2%	68.8%	20°	2.0	10
5	64.3%	66.4%	17°	1.4	7
6	61.0%	70.1%	27°	4.0	20
7	62.4%	68.4%	25°	3.2	16
8	65.8%	68.3%	23°	3.0	15
9	64.4%	68%	26°	3.8	19
10	65.3%	67.9%	22°	2.6	13
11	62.1%	68.8%	24°	3.4	17
12	64.2%	65%	19°	1.8	9
13	66%	68.7%	21°	2.4	12
14	65.8%	67.8%	20°	2.2	11
15	61.5%	70%	26°	4.0	20

### 3.2.4 Hipótesis

¿La implementación de un sistema de riego automatizado permitirá ahorrar el recurso del agua, en comparación con un método de riego tradicional?

### 3.2.5 Población y muestra

#### 3.2.5.1 Población

La población está conformada por los datos de la variable dependiente cantidad de agua que se utiliza en el riego de las plantas, la cuál será medida en función de la frecuencia de riego necesaria según las condiciones establecidas en el proyecto.

#### 3.2.5.2 Muestra

La muestra es tomada de forma aleatoria de la población.

### 3.2.6 Operacionalización de las variables

#### 3.2.6.1 Variables Dependientes

**Tabla 15.** Variables Dependiente

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<b>Cantidad de agua</b>	Agua que se consume en riego del cultivo	Metros cúbicos	Observación Sensores
<b>Tiempo</b>	Tiempo dedicado por el agricultor a un proceso de riego	Horas	

**3.2.6.2 Variables Independientes****Tabla 16.** Variable Independiente

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN
<b>Tipo de sistema</b>	Forma en que se realiza el riego: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Método tradicional ejercido por el personal agricultor.</li> <li>• Método automático con el dispositivo propuesto</li> </ul>	Nominal-Tipo	Observación

## CAPÍTULO IV.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para verificar el funcionamiento del prototipo, este fue puesto a prueba durante dos semanas, los datos se muestran en la **Tabla 13** y **Tabla 14**. Las pruebas se enfocaron en medir la cantidad de agua consumida y el tiempo de riego aplicado en riego tradicional y riego automatizado.

#### 4.1 Análisis de resultados

En esta sección se realiza el estudio de los resultados generales para comprobar si existe ahorro de los recursos de cantidad de agua y tiempo de riego en el sistema automatizado comparado con el sistema tradicional. En el sistema tradicional, el agricultor recolecta el agua en un recipiente de 5 litros para el riego de las plantas y el automatizado se gestiona en función de los datos de humedad y temperatura. Los datos obtenidos son independientes ya que son diferentes sistemas de riego.

El primer análisis realizado fue el descriptivo, tanto para el sistema tradicional como para sistema automatizado, con el fin de conocer la media, mediana, varianza y más parámetros necesarios de las variables cantidad de agua y tiempo de riego, como se muestra en la **Tabla 17**.

**Tabla 17.** Análisis descriptivo del sistema tradicional y automatizado.

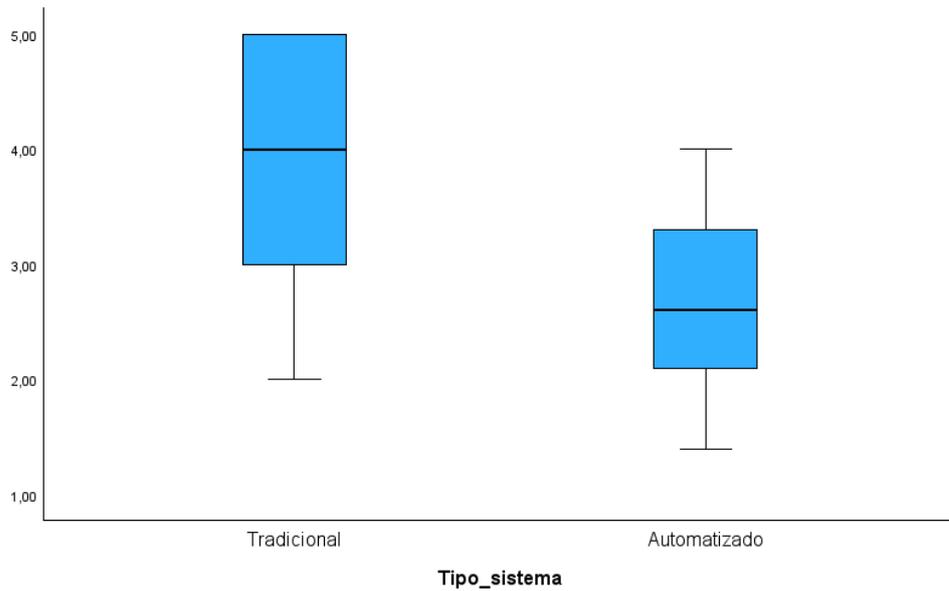
Variable de estudio:	Descriptivo				
	Cantidad de agua en ( $m^3$ )		Tiempo de riego (minutos)		
Tipo de sistema	Tradicional	Automatizado	Tradicional	Automatizado	
N	Válido	5	15	5	15
	Perdidos	10	0	10	0
Media	3,80	2,71	9,2	13,53	
95% Intervalo de confianza para la media	[2,18 - 5,24]	[2,24 - 3,18]	[5,33-13,06]	[11,18 - 15,88]	
Desviación estándar	1,30	0,85	3,11	4,24	
Varianza	1,70	0,72	9,7	17,98	
Mediana	4,00	2,60	10,0	13,0	
Rango	3,00	2,60	7,0	13,0	
Rango intercuartil	2,50	1,40	6,0	7,0	

Los resultados obtenidos muestran un consumo promedio de cantidad de agua para el sistema tradicional de  $3,80 m^3$  con un tiempo medio de 9,2 minutos, mientras que el automatizado tiene un consumo de agua de  $2,71 m^3$  con un tiempo medio de 13,53 minutos.

##### 4.1.1 Interpretación gráfica con diagramas de caja.

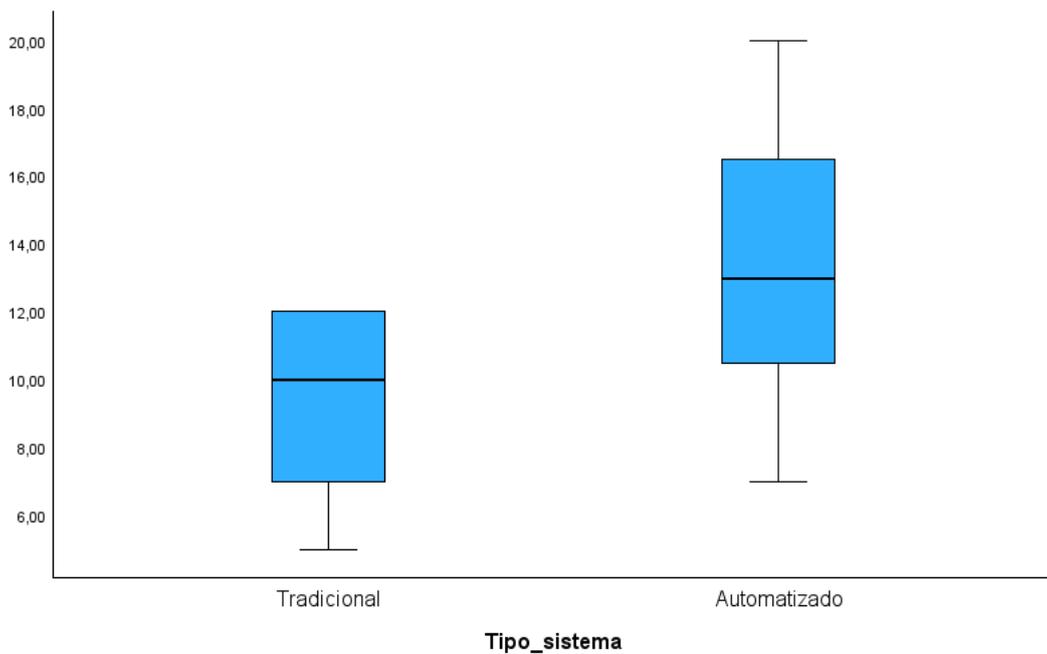
Los diagramas de caja son un método utilizado para representar gráficamente la distribución de un conjunto de datos. Mostrando valores atípicos, medianas, máximos y mínimos.

En la **Figura 24**, se muestra el diagrama de caja en el que se interpreta que en el sistema de riego automatizado consume menos agua en comparación con el tradicional.



**Figura 24.** Diagrama de caja de variable cantidad de agua en sistema tradicional y automatizado.

En la **Figura 25** según el diagrama de caja se interpreta que en el sistema de riego tradicional requiere menos tiempo de riego que el automatizado porque el agricultor controla manualmente la duración del proceso.



**Figura 25.** Diagrama de caja de variable Tiempo de riego en sistema tradicional y automatizado.

### 4.1.2 Pruebas de normalidad

Para demostrar estadísticamente si los datos tienen una distribución normal o no, se aplicó la prueba de normalidad para aplicar pruebas paramétricas o no paramétricas respectivamente.

Las hipótesis para la prueba de normalidad son las siguientes:

#### **H<sub>0</sub>: Hipótesis nula**

Los datos tienen una distribución normal

#### **H<sub>1</sub>: Hipotesis alternativa**

Los datos no tienen una distribución normal

En la **Tabla 18**, se muestra la prueba de normalidad el cual indica que las variables de cantidad de agua y tiempo de riego, presentan una distribución normal, sig. > 0.05, por lo cual se utiliza el análisis de pruebas paramétricas T de Student.

**Tabla 18.** Prueba de normalidad de la variable cantidad de agua y tiempo de riego de los Sistemas de riego tradicional y automatizado.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
Cantidad de agua ( $m^3$ ) Tradicional	0,221	5	0,200*	0,902	5	0,421
Cantidad de agua ( $m^3$ ) Automatizado	0,108	15	0,200*	0,954	15	0,594
Tiempo de riego (minutos) Tradicional	0,216	5	0,200*	0,885	5	0,332
Tiempo de riego (minutos) Automatizado	0,108	15	0,200*	0,954	15	0,594

### 4.1.3 Análisis T de Student de muestras independientes.

En la **Tabla 19**, se indica las hipótesis establecidas para las variables mencionadas.

**Tabla 19.** Hipótesis definidas

Análisis	Variable	<b>H<sub>0</sub>: Hipótesis Nula</b> $\mu_1 = \mu_2$	<b>H<sub>1</sub>: Hipótesis Alternativa</b> $\mu_1 \neq \mu_2$
T de Student	Cantidad de agua	No existe diferencia significativa en el consumo de agua entre el sistema de riego automatizado y el sistema de riego tradicional	El sistema de riego automatizado consume significativamente menos agua que el sistema de riego tradicional.

Análisis	Variable	<b>H<sub>0</sub>: Hipótesis Nula</b> $\mu_1 = \mu_2$	<b>H<sub>1</sub>: Hipótesis Alternativa</b> $\mu_1 \neq \mu_2$
	Tiempo de riego	No existe diferencia significativa en el tiempo de riego entre el sistema de riego automatizado y el sistema de riego tradicional	El sistema de riego automatizado consume significativamente menos tiempo que el sistema de riego tradicional.

En la **Tabla 20**, se muestra el análisis de la prueba T de Students para las variables paramétricas lo cual permite hacer la comparación de la media de los grupos para conocer si existe una diferencia significativa entre ellos.

**Tabla 20.** Análisis T de Student Comparación de Medias

	Análisis T de Student					
	Prueba Levene		Estadístico t:	p-valor	Gl	Diferencia de medias
	F	P				
Cantidad de agua ( $m^3$ )	1,897	0,185	2,187	0,042	18	1,09
Tiempo de riego (minutos)	0,812	0,379	-2.089	0,026	18	-4,33

Los resultados obtenidos en la fase experimental demuestran que el sistema de riego automatizado presenta un ahorro de aproximadamente  $1m^3$  de agua en  $15m^2$  de terreno alcanzando un ahorro total aproximado de  $22m^3$  para el terreno de  $336m^2$  logrando un mejor desempeño en términos de eficiencia hídrica, al reducir significativamente el consumo de agua en comparación con el sistema tradicional. Aunque el tiempo de riego fue mayor en el sistema automatizado, se concluye que se debe a su funcionamiento basado en datos y condiciones del suelo, lo que permite un riego más preciso y acorde a las necesidades reales del cultivo. Las pruebas estadísticas confirman que existen diferencias significativas que valida la efectividad del prototipo implementado como una herramienta de apoyo para una agricultura sostenible y tecnificada.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Con el estudio previo se identificaron y analizaron diversas técnicas de riego modernas, como: riego por goteo, microaspersión y sistemas automatizados, por lo tanto, este análisis permitió definir parámetros fundamentales para el desarrollo del sistema, tales como humedad óptima del suelo, textura de suelo, tipo de cultivo, estos conocimientos sirvieron de base para el diseño del prototipo.
- La implementación del prototipo demostró un funcionamiento correcto durante el período de pruebas, teniendo en cuenta el tipo de suelo, tipo de cultivo y etapa fenológica, en donde la integración de sensores de humedad del suelo y temperatura permitió un control automatizado del riego, activando las electroválvulas cuando las condiciones lo requerían.
- Se comprobó estadísticamente mediante prueba T-Student que el sistema automatizado logra una reducción significativa en el consumo de agua en comparación con el sistema tradicional, a diferencia del tiempo de riego, el sistema automatizado presentó un mayor tiempo de riego que el tradicional, indicando así un riego preciso y controlado.

#### 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar la implementación en un terreno amplio para conocer el rendimiento del sistema en condiciones más exigentes para validar su comportamiento a escala real y cuantificar de forma precisa los beneficios en ahorro de tiempo y agua.
- Ampliar la investigación de campo y bibliográfica para incluir diferentes tecnologías como riego subterráneo controlado por sensores, soluciones basadas en inteligencia artificial, lo cual permitiría una evolución del diseño del sistema hacia métodos más precisos, sostenibles y adaptables a diferentes tipos de cultivo y zonas agroecológicas. También incorporar parámetros como evapotranspiración, salinidad del suelo para una mayor exactitud en la programación del riego.
- Se sugiere mejorar el algoritmo de control, incorporando técnicas de aprendizaje supervisado, lógica difusa o control predictivo más avanzados, capaces de considerar múltiples variables (radiación solar, velocidad del viento, etapa de cultivo, entre otros) para optimizar el riego, también implementar un sistema de alertas y monitoreo de fallos para detectar problemas en sensores o electroválvulas considerando que es una zona al aire libre en donde podrían ingresar los insectos o daños ambientales.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Cáceres, <<Desarrollo de un prototipo de un sistema de riego automatizado para el procesamiento, monitoreo y análisis de datos utilizando lógica difusa en tiempo real e IOT para optimizar el uso de agua aplicada en el cultivo.>> Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2021.
- [2] E. Basantes, <<Manejo de cultivos Andinos del Ecuador,>> Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE, 2015, vol.145.
- [3] AgroSpray, <<Agricultura 5.0: Innovación y Tecnología Transformando el sector Agrícola,>> AgroSpray Blog, 14 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://agrospray.com.ar/blog/agricultura-5-0/>. [Último acceso: 7 agosto 2024]
- [4] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), <<Boletín técnico: Información agroambiental y tecnificación agropecuaria.>> Quito, Ecuador, boletín técnico, nov. 2020.
- [5] V. H. Cadena, <<Hablemos de riego con los agricultores,>> Primera edición Ibarra, Ecuador: GRAFICOLOR OFFSET, 2014.
- [6] V. H. Cadena, <<Hablemos de riego,>> Segunda edición Quito, Ecuador: Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador (CONGOPE), 2016.
- [7] T. E. Gualpa, <<Gestión de sistema de riego inteligente para el cuidado del parque Palomino Flores de la ciudad de Baños de Agua Santa.>> Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2020.
- [8] B. Tapia, <<Diseño, Instalación y mantenimiento de sistemas de riego,>> presentación, curso de capacitación en sistemas de riego, CODADEPRO, [online], febrero 2025.
- [9] BASCOMEX, << ¿Qué es un sistema de riego inteligente?,>> 31 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bascomex.com/blogs/news/que-es-un-sistema-de-riego-inteligente>.
- [10] E. Collado y Y. Sáez, <<Sistema de Riego Inteligente para Optimizar el Consumo de Agua en Cultivos en Panamá,>> 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: “Global Partnerships for Development and Engineering Education”, Boca Raton, FL, Estados Unidos, 19–21 de julio de 2017

- [11] F. A. López, J. C. García, y M. T. García, <<Domótica aplicada a la agricultura: automatización del riego por goteo,>> Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, vol. 16, no. 2, pp. 135-144, 2019.
- [12] OpenAI, <<Componentes de un sistema de domótica,>> imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT, May 2025. [En línea]. Disponible en: <https://chat.openai.com>. [Último acceso: 2 mayo 2025]
- [13] SD Industrial, <<Sensores: Qué son, cómo funcionan, características y tipos.>> [En línea]. Disponible en: <https://sdindustrial.com.mx/blog/sensores/>.
- [14] Tameson, << ¿Qué es un actuador? - Tipos y Aplicaciones,>> [En línea]. Disponible en: <https://tameson.es/pages/actuador>. [Último acceso: 20 agosto 2024]
- [15] KeyTrends, << ¿Qué es un algoritmo de inteligencia artificial? >>, Academia KeyTrends, [En línea]. Disponible en: <https://keytrends.ai/es/academy/glosario/inteligencia-artificial/algoritmo-de-inteligencia-artificial>. [Último acceso: 28 enero 2025].
- [16] S. M. Kerner y F. Tabsharani, <<Types of AI Algorithms and How They Work,>> TechTarget, 16 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/tip/Types-of-AI-algorithms-and-how-they-work>. [Último acceso: 28 enero 2025].
- [17] A. Sharma and V. Pareek, <<Machine learning applications for precision agriculture: A review,>> Access, vol. 8, pp. 69749–69768, 2020.
- [18] CEUPE, <<Lógica difusa en la inteligencia artificial,>> CEUPE - Centro Europeo de Postgrado, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.ceupe.com/blog/logica-difusa-en-la-inteligencia-artificial.html> [Último acceso: 20 febrero 2025].
- [19] U.S. Army Corps of Engineers, <<Hargreaves Method,>> Hydrologic Engineering Center, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/evaporation-and-transpiration/hargreaves-method> [Último acceso: 20 febrero 2020].
- [20] Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural El Reventador, <<Registro Oficial N.º 193>>. Gonzalo Pizarro, Sucumbíos, Ecuador, 27 de oct. de 2000.
- [21] PictureThis, <<Cómo identificar Frijol (Phaseolus vulgaris)>>, PictureThis, [En línea]. Disponible en: <https://www.picturethisai.com/es/identify/Phaseolus-vulgaris.html>. [Último acceso: 20 febrero 2025].

- [22] IONOS <<Un vistazo a proyectos basados en Raspberry Pi,>> [En línea]. Disponible en: <https://www.ionos.com/es-us/digitalguide/servidores/know-how/un-vistazo-a-proyectos-basados-en-raspberry-pi/>. [Último acceso: 20 febrero 2025].
- [23] Getting Started with Your Raspberry Pi, <<Raspberry Pi Documentation,>> [En línea]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/getting-started.html>. [Último acceso: 22 febrero 2025].
- [24] W. Moreira y G. Rocano. <<Desarrollo de un sistema de riego inteligente para un cultivo de rosas basados en IoT.>> Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador, 2023.
- [25] Grupo ElectroStore, <<Módulo Sensor de Humedad de Suelo HD-38-Higrómetro Anticorrosivo,>> [En línea]. Disponible en <https://gruoelectrostore.com/shop/sensores/temperatura/modulo-sensor-de-humedad-de-suelo-hd-38-higrometro-anticorrosivo/>. [Último acceso: 22 febrero 2025]
- [26] Naylamp Mechatronics, <<Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302),>> [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>. [Último Acceso: 20 febrero 2025].
- [27] Didácticas Electrónicas I+D, <<Electroválvula metálica 211B,>> <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/valve-211b-met-electrovalvula-metalica-211b-15082#attr=>. [Último acceso: 21 febrero 2025]
- [28] Grupo Novelec, << ¿Qué es MQTT y qué aporta al IoT?,>> Blog Grupo Novelec, [En línea]. Disponible en: <https://blog.gruponovelec.com/blog/que-es-mqtt-y-que-aporta-al-iot-2/>. [Último acceso: 21 febrero 2025].
- [29] B. Peñaranda. <<Desarrollo de un sistema IOT para el monitoreo remoto de variables en un huerto agrícola.>> Universidad Salesiana. Cuenca-Ecuador. 2024
- [30] J. Salazar e Y.Silvestre. “Internet de las cosas.” [en línea]. Disponible en: <http://www.techpedia.eu>.
- [31] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, << Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage

Paper No. 56. Rome, Italy>> FAO, 1998. [Online]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e00.htm>

- [32] K. E. Saxton and W. J. Rawls, << Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions,>> Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 70, no. 5, pp. 1569–1578, 2006.
- [33] S. P. Singh, <<Production and Improvement of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.).>> Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1999.
- [34] R. Chiquito y C. Paguay <<Diseño de un prototipo de sistema de riego automatizado mediante una red de sensores que mida la humedad del suelo en los campos agrícolas y permita controlar el consumo del agua,>> tesis, Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador, 2020
- [35] C. Cohen, A. Burbano, R. Salgado y R. Merlano, <<Control de riego en cultivos de ahuyama en Sicelejo, Sucre (Colombia) gestionados a través del Internet de las Cosas,>> Scielo, Información tecnológica, vol.31 no.5 La serena oct. 2020.
- [36] C. Camacho, <<ALTERNATIVAS NO PARAMÉTRICAS AL ANÁLISIS DE LA VARIANZA>> Disponible en: <https://personal.us/vararey/no-parametricas-varianza.pdf>. [Último acceso: 18 mayo 2025]
- [37] M. Molina <<Análisis de normalidad. Una imagen vale más que mil palabras.>> [En línea]. Disponible en: <https://anestesiari.org/2022/analisis-de-normalidad-una-imagen-vale-mas-que-mil-palabras/>. [Último acceso: 18 mayo 2025].
- [38] J. Gaibor. <<DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HIDRICOS PARA EL CULTIVO DE FRÉJOL (*Phaseolusvulgaris*) var. Calima EN BASE AL TANQUE DE EVAPORACION TIPO A, Y FÓRMULAS EMPIRICAS (FAO), EN MACAJÍ, CANTON RIOBAMBA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.>> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba 2019
- [39] R. Guamán, C. Andrade, y J. Álava, <<Guía para el cultivo de fréjol en el litoral ecuatoriano>>, Guayaquil, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Boliche, Programa de Oleaginosas, 2004. (Boletín Divulgativo No. 316).
- [40] A. Alfaro, << ¿Qué es InfluxDB?, Alfaiot, [En línea]. Disponible en: <https://alfaiot.com/iot/influxdb/>. [Último acceso: 20 junio 2025]

## ANEXOS

### ANEXO A. Carta de apoyo del presidente del GAD de la parroquia El Reventador

El Reventador, 05 de julio de 2024

Ing.  
Deysi Inca Balseca, MSc.  
DIRECTORA DE CARRERA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNACH.

Por medio de la presente, me permito expresar mi más sincero apoyo al proyecto de investigación de **Johana Abigail Quishpi Condo**, con C.I: **2101182430** titulado "Sistema inteligente basado en agricultura 5.0 para automatizar el proceso de riego en la parroquia El Reventador, cantón Gonzalo Pizarro, provincia de Sucumbíos".

El proyecto no solo representa un avance significativo en la aplicación de tecnologías innovadoras en el campo de la agricultura, sino que también aborda una necesidad crucial en la parroquia El Reventador. La implementación de un sistema de riego automatizado basado en los principios de la agricultura 5.0 permitirá optimizar el uso de recursos hídricos y contribuir al desarrollo sostenible de la comunidad.

Estoy convencido de que su enfoque innovador y su esfuerzo constante llevarán al éxito de esta iniciativa, beneficiando a la comunidad local.

Por estas razones, expreso mi pleno respaldo a Johana Quishpi y su proyecto de investigación. Estoy disponible para ofrecer cualquier información adicional que pueda ser requerida y colaborar en lo que sea necesario para la realización exitosa de este proyecto.

Agradezco de antemano la atención a esta carta y quedo a su disposición para cualquier consulta adicional.

Atentamente:



Tnlgo. Herrera Espinoza Byron Homar  
GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO  
PARROQUIAL RURAL EL REVENTADOR  
RUC: 1768088370001

## ANEXO B. Entrevista



### UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE TELECOMUNICACIONES

Entrevista dirigida a la agricultora del invernadero en la parroquia El Reventador, cantón Gonzalo Pizarro, provincia de Sucumbíos.

**Tema:** Sistema inteligente basado en agricultura 5.0 para automatizar el proceso de riego en la parroquia El Reventador, cantón Gonzalo Pizarro, provincia de Sucumbíos.

**Fecha:** 12 de septiembre del 2024

**Nombres:** Sra. Lilia Campoverde y Sr. Rafael Arango

**Objetivo:** Obtener información del método de riego y tipo de con el fin de considerar los parámetros necesarios para el desarrollo del sistema inteligente.

**1. ¿Cuál es el cultivo que siembra con frecuencia?**

Tomate, pepino, pimiento, lechuga, frejol común, cebollín, hierbita.

**2. ¿Cómo realiza el proceso de siembra del cultivo de frejol?**

Se hace un orificio en el suelo y se planta dos semillas que previamente estaban remojadas en creolina durante 12 horas, las semillas se plantan a una distancia de 60 cm entre planta, de ahí se riega agua que a la vista el suelo esté húmedo.

**3. ¿Podría mencionar el tipo de riego que usted utiliza actualmente y cuál es la fuente de agua que ocupa?**

En el invernadero existe riego por goteo, en la marquesina improvisada que se han creado cuentan con mangueras para realizar el riego.

El agua proviene de una vertiente y viaja a través de una tubería que termina en tanques de 500 litros que está conectado a llaves de paso que contiene las cintas de riego en el caso del invernadero, para la marquesina improvisada utiliza manguera para el riego, no cuenta con tanques de almacenamiento.

**4. ¿Cómo realiza el proceso de riego para el cultivo?**

En el invernadero se abre la llave de paso y empieza el proceso de riego el cual demora 30 minutos en vaciar el tanque, en la marquesina improvisada se debe trasladar con la manguera y empezar a realizar el riego lo cual lo realiza a la raíz para que no maltrate en este caso la lechuga, planta pequeña de pepino y tomate.

**5. ¿Con qué frecuencia riega el cultivo y cuánto tiempo le toma?**

Solo se realiza el riego durante la mañana y la tarde, se evita el riego cuando hay mucho sol porque se puede quemar la planta.

El riego solo lo hace hasta mojar la tierra porque esta se seca mucho, se demora hasta 2 horas en todo el terreno, va a depender de la zona que riega.

**6. ¿Cuál es el tiempo que demora en salir la cosecha?**

Depende el cultivo porque la hierbita sale en dos meses más o menos.

**7. ¿Cómo se prepara al suelo para la nueva siembra?**

Se prepara la tierra con abono de pollo y cal y esta se revuelve muy bien para la nueva siembra, pero se debe cambiar el cultivo para que la tierra no se enferme.

**¡Gracias por su colaboración!**

# ANEXO C. Análisis de laboratorio de pH



## INFORME DE RESULTADOS

INF LASA-11-03-25 -2085  
ORDEN DE TRABAJO No. 25-1314-1

### INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE

SOLICITADO POR: QUISHPI CONDO JOHANA ABIGAIL		DIRECCIÓN: LAGO AGRIO
TELÉFONO: 0980418960	TIPO DE MUESTRA: SUELO	PROCEDENCIA: INVERNADERO SECTOR EL REVENTADOR
IDENTIFICACIÓN: SUELO		
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: 13/02/2025		

### INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: -	INGRESO AL LABORATORIO: 20/02/2025
FECHA DE ANÁLISIS: 20/02-11/03/2025	FECHA DE ENTREGA: 11/03/2025	NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)
CÓDIGO DE MUESTRA: 25-3550	CÓDIGO INICIAL: -	REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO MATRIZ

### ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	pH a 25°C	Unidades pH	6,26	± 0,17 Unidades de pH	PEE.LASA.FQ.03 EPA 9045 D

M.Sc. Giovanni Jibaja  
ASISTENTE TÉCNICO

Elaborado por: Giovanni Jibaja  
Prohibida la reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.  
Lasa se responsabiliza exclusivamente del resultado correspondiente a la muestra sometida a ensayo y que ha sido recibida en el laboratorio; por el contrario, no se responsabiliza de la información proporcionada por el cliente asociada a la muestra, así como sus datos descriptivos.  
Los criterios de conformidad serán emitidos solamente si el cliente lo solicita por escrito.  
El laboratorio se compromete con la Imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (la aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en [www.laboratoriolasa.com](http://www.laboratoriolasa.com)).

Matriz Quito: Juan Ignacio Pareja Oe5-97 y Simón Cárdenas  
Telf.: 593 2290815 Guayaquil - Cuenca - Zamora - Manta  
[www.laboratoriolasa.com](http://www.laboratoriolasa.com)

Monitoreo Ambiental Telf.: 099 831 8837  
Control de Calidad Telf.: 099 597 1 561  
Notificación Sanitaria Telf.: 099 923 6287

@LaboratorioLASA @laboratoriolasa  
 Laboratorio Lasa

1 de 1

Laboratorio Lasa S.A. QUITO, Ecuador. C.V. 1923

## ANEXO D. CERTIFICADO



El Reventador 28 de mayo de 2025

### CERTIFICACIÓN

Yo, Tnlgo. Byron Homar Herrera Espinoza con C.I: 1768088370, en calidad de Presidente del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural El Reventador, ubicado en la vía Lago Agrio-Quito Km. 87 Calle Alonso Cruz esquina “s/n” CERTIFICO que la estudiante Johana Abigail Quishpi Condo con C.I: 2101182430, de la carrera de Telecomunicaciones en la Universidad Nacional de Chimborazo, ha desarrollado e implementado el proyecto de investigación titulado: **“SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN AGRICULTURA 5.0 PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE RIEGO EN LA PARROQUIA EL REVENTADOR, CANTÓN GONZALO PIZARRO, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS”**. Este trabajo fue ejecutado en el ámbito territorial de nuestra jurisdicción, trabajando directamente con agricultores de la zona. El Gobierno Autónomo Descentralizado estuvo al tanto del desarrollo del mismo y reconoce la labor realizada en beneficio de los actores locales del sector agrícola.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo la interesada hacer uso del presente documento en lo que se estime necesario.

Atentamente,



Tnlgo. Byron Homar Herrera Espinoza  
**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PARROQUIAL  
RURAL EL REVENTADOR**  
**RUC: 1768088370001**

---

Dirección: vía Lago Agrio – Quito Km. 87 Calle Alonso Cruz esquina “s/n” **Telefax:** 063020189  
**SUCUMBÍOS – ECUADOR**  
**Email:** [gadelreventador2023@gmail.com](mailto:gadelreventador2023@gmail.com) [byron.herrera12@hotmail.com](mailto:byron.herrera12@hotmail.com) **Celular:** 0986899380