



Universidad técnica Federico Santa María
Sede Concepción – Rey Balduino de Bélgica

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN

**AUTOMATIZACIÓN PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL RIEGO EN
CONDICIONES DE ESCASEZ HÍDRICA.**

Trabajo de Título para optar al Título de
Ingeniero de ejecución en Control e
Instrumentación Industrial.

Alumno: Martin Ignacio Candia Riquelme

Profesor Guía: Luis Gabriel Muñoz Quezada



RESUMEN

Keywords: Automatización, Eficiencia Hídrica, Crisis Hídrica, Riego de Precisión, Sensores.

Este informe propone el diseño de un sistema automatizado para mejorar el uso del agua en el cultivo de uvas, disminuyendo los efectos de la crisis hídrica en la región del Ñuble, Chile. La escasez de agua y la disminución de las precipitaciones afectan la sostenibilidad del sector agrícola, comprometiendo la calidad de los productos. El sistema utilizará sensores inalámbricos para monitorear la humedad del suelo, lo que permitirá implementar un riego de precisión basado en datos en tiempo real. Se integrará también un sistema automatizado de monitoreo para gestionar el riego de manera centralizada, permitiendo al cliente mejorar el proceso de riego, y también una mayor eficiencia en el uso del recurso hídrico.

El presente informe incluirá la selección de equipos compatibles para el funcionamiento del riego y a su vez un prototipo para su demostración. Esta propuesta busca no solo mejorar la gestión del agua, sino también asegurar la viabilidad del cultivo de uvas ante las crecientes restricciones hídricas.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	8
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
Alcances y restricciones.....	9
 CAPITULO N°1: ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA PROPUESTA.....	10
1.1 Aspectos Fundamentales De La Propuesta.....	12
1.2 Problemática.....	12
1.3 Introducción A La Crisis hídrica.....	13
1.4 Impacto De La Sequía En Ñuble.....	15
 CAPITULO N°2: RIEGO DE PRECISIÓN Y TECNOLOGÍAS ASOCIADAS	
2.1 Riego de precisión.....	17
2.2 Vinculación con la agricultura sostenible.....	17
2.3 Objetivos del riego de precisión.....	18
2.4 Tipos de riego de precisión.....	18
2.4.1 Riego por goteo.....	18
2.4.2 Riego subterráneo.....	19
2.4.3 Riego por aspersión.....	19
2.4.4 Riego por pulsos.....	20
2.5 Beneficios del riego de precisión.....	20
2.6 Tipos de suelo en la agricultura.....	21
2.6.1 Suelos Arcillosos.....	21
2.6.2 Suelos Calizos.....	22
2.6.3 Suelos Limosos.....	22
2.6.4 Suelos Arenosos.....	23



2.6.5 Suelos Francos.....	23
2.6.6 Suelos Salinos.....	24
2.7 Calculo de agua de la planta de la uva.....	25
2.8 Tecnologías de monitoreo y control.....	27
2.9 Importancia de la automatización en el riego.....	28
2.10 Tecnologías utilizadas en este proyecto.....	28

CAPITULO N°3: DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE RIEGO

3.1 Descripción del sistema.....	30
3.2 Ejemplos de componentes para el sistema.....	30
3.2.1 Sensor de Humedad de suelo DIY ESP32/Wifi.....	31
3.2.2 Microcontrolador Arduino R4 Wifi.....	31
3.2.3 Bomba sumergible.....	32
3.2.4 Modulo relé.....	32
3.2.5 Fuente de poder.....	33
3.2.6 Tuberías.....	33
3.2.7 Goteros.....	34
3.3 Planos del sistema de riego.....	35
3.4 Esquema de conexión del sistema.	38
3.5 Especificaciones Técnicas.....	39
3.6 Protocolo de comunicación.....	40
3.7 Funcionamiento del sistema.....	41

CAPITULO N°4: LOGICA DE PROGRAMACION DEL SISTEMA DE RIEGO

4.1 Programación del sensor de humedad (Esp32)	45
4.2 Programación de Microcontrolador Arduino R4 Wifi.....	49
4.3 Video de comprobación de la programación.....	51

CONCLUSIONES DEL PROYECTO.....	52
--------------------------------	----



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Indicador de Kc de plantas..... 25

Tabla 3.1: Especificaciones técnicas de componentes a utilizar..... 38



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Diario Oficial – Declaración de zona de escasez hídrica.....	12
Figura 1.2: Referencia del efecto de la crisis hídrica (Sequía).....	13
Figura 1.3: Posible foco afectado por la crisis hídrica.	14
Figura 1.4: Proyección de índice de calor en la Región del Ñuble.....	15
Figura 2.1: Riego por Goteo.	18
Figura 2.2: Riego subterráneo.	19
Figura 2.3: Riego por aspersión.	19
Figura 2.4: Riego por pulsos.	20
Figura 2.5: Suelo Arcilloso.	21
Figura 2.6: Suelo Calizo.....	22
Figura 2.7: Suelo Limoso	22
Figura 2.8: Suelo Arenoso.....	23
Figura 2.9: Suelo Franco	23
Figura 2.10: Suelo Salino.....	24
Figura 2.11: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.....	27
Figura 2.12: Riego eficiente.	28
Figura 3.1: Sensor inalámbrico DIY ESP32/Wifi.....	31
Figura 3.2: Microcontrolador Arduino R4 Wifi.	31
Figura 3.3: Bomba sumergible	32
Figura 3.4: Modulo Relé.....	32
Figura 3.5: Fuente de poder	33
Figura 3.6: Tuberías de riego	34
Figura 3.7: Modulo relé.	34
Figura 3.8: Sector a trabajar hectárea 5.000[m ²].....	35



Figura 3.9: Disposición de sensores en cada área..... 36

Figura 3.10: Disposición y alcance de cada sector de riego..... 37

Figura 3.11: Protocolo de comunicación Wifi. 40

Figura 3.12: Router Wifi..... 40

Figura 3.13: Envío de datos desde sensores a Router central. 41

Figura 3.14: Diagrama de flujo del sistema..... 42

Figura 4.1: Logotipo Aplicación Arduino IDE. 44

Figura 4.2: Programación Sensor de Humedad Parte 1. 45

Figura 4.3: Programación Sensor de Humedad Parte 2. 45

Figura 4.4: Programación Sensor de Humedad Parte 2. 45

Figura 4.5: Programación Sensor de Humedad Parte 3. 46

Figura 4.6: Programación Sensor de Humedad Parte 4. 47

Figura 4.7: Visualización página creada humedad 0%..... 47

Figura 4.8: Visualización página creada humedad 30%..... 48

Figura 4.9: Visualización página creada humedad 60%..... 48

Figura 4.10: Programación Microcontrolador Arduino Parte 1. 49

Figura 4.11: Programación Microcontrolador Arduino Parte 2. 50



SIGLAS, SÍMBOLOS Y UNIDADES DE MEDIDA

INIA: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Wi-Fi: Wireless Fidelity, tecnología de conexión inalámbrica.

IoT: Internet of Things o Internet de las cosas.

IP: Internet Protocol o Protocolo de Internet.

HTTP: Hypertext Transfer Protocol o Protocolo de Transferencia de Hipertexto.

pH: Potencial de hidrógeno, mide la acidez o alcalinidad de una sustancia.

LED: Light-Emitting Diode o Diodo emisor de luz.

SPDT: Single Pole Double Throw o Interruptor de un polo y dos tiros.

AC: Alternating Current o Corriente alterna.

DC: Direct Current o Corriente continua.

VCC: Voltage Common Collector, Tensión de alimentación en circuitos eléctricos.

GND: Ground, Tierra en circuitos eléctricos.

COM: Common, Terminal común en circuitos eléctricos.

NO: Normally Open o Normalmente abierto.

IN: Input o Entrada.

Cal: Símbolo del calcio.

ETc: Evapotranspiración del cultivo.

ETo: Evapotranspiración de referencia.

Kc: Coeficiente de cultivo.

L: Litro, unidad de volumen.

mm: Milímetro

m²: Metro cuadrado.

m: Metro.

V: Volt.



Universidad técnica Federico Santa María
Sede Concepción – Rey Balduino de Bélgica

A: Ampere.

PVC: Policloruro de vinilo, material plástico usado en tuberías.

GHz: Gigahercios.



INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es mejorar la sostenibilidad de la producción vitivinícola al controlar el uso del agua en el cultivo de uvas, una necesidad crítica ante la crisis hídrica y el agotamiento de pozos subterráneos. Estos desafíos han disminuido significativamente la disponibilidad de agua para riego, amenazando tanto la productividad de los cultivos como la calidad de los frutos. Para hacer frente a esta situación, se propone el diseño de un sistema automatizado que mejore el riego y minimice el desperdicio de agua, permitiendo que la viña se adapte a las limitaciones hídricas sin comprometer su producción.

El documento está dividido en cuatro capítulos. El primero presenta los aspectos fundamentales de la propuesta, se presenta la problemática y además incluye una introducción a la crisis hídrica, contextualizando la necesidad de este proyecto.

En el segundo capítulo se aborda el riego de precisión y las tecnologías asociadas, examinando sus beneficios para mejorar el uso del agua, aumentar la eficiencia en el riego y mejorar la calidad del producto final, todo ello en el contexto de la crisis hídrica actual.

El tercer capítulo se centra en el diseño del sistema automatizado de riego, detallando los componentes necesarios, como sensores y equipos, y explicando cómo estos elementos colaboran para garantizar un riego efectivo y eficiente en el cultivo de uvas.

En el cuarto capítulo se incluirá la programación del sistema, que permitirá la automatización completa del proceso de riego.

Finalmente, se presentan las conclusiones del proyecto, resaltando la relevancia del sistema automatizado de riego en la producción vitivinícola.



OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema automatizado que mejore el uso del agua en el cultivo, contribuyendo a disminuir los efectos de la crisis hídrica en la región. Este sistema utilizará sensores inalámbricos para monitorear la humedad del suelo de manera constante, lo que permitirá un riego más eficiente y ajustado a las condiciones reales del terreno.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar las tecnologías asociadas al riego automatizado y los aspectos fundamentales del riego de viñas.
- Seleccionar las tecnologías de sensores y actuadores, que permitan un sistema escalable y de rápida implementación.
- Proponer sistema de comunicación inalámbrico entre componentes y requisitos para su implementación.
- Programar el sistema de control integrando todos sus componentes.

ALCANCES Y RESTRICCIONES

ALCANCES:

- El proyecto se enfoca en un sector vitivinícola de la región del Ñuble, considerando sus particularidades climáticas y productivas.
- El proyecto se centrará en el diseño de un sistema con sensores y dispositivos que minimicen la interacción humana, priorizando la comodidad del propietario. No se contempla su implementación ni pruebas en terreno.

RESTRICCIONES:

- La precisión de los sensores de humedad podría variar según las características específicas del terreno, como el tipo de suelo y las condiciones ambientales.
- La solución diseñada podría requerir ajustes técnicos para ser implementada en sectores agrícolas, ya que cada zona presenta particularidades propias.
- El proyecto no incluye la implementación ni pruebas en terreno.



Universidad técnica Federico Santa María
Sede Concepción – Rey Balduino de Bélgica

CAPITULO N°1: ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA PROPUESTA



1.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA PROPUESTA

Este capítulo presentará los elementos principales del proyecto, proporcionando una visión detallada de su contexto. Se abordará la crisis hídrica, su impacto en la agricultura, esto específicamente en la región de Ñuble. Además, se analizarán las necesidades y desafíos generados por la sequía, con el propósito de identificar las áreas de oportunidad para implementar un sistema automatizado de riego eficiente.

1.2 PROBLEMÁTICA

La región de Ñuble enfrenta una situación de crisis hídrica, que la ha llevado a ser declarada oficialmente como zona de escasez. Esta situación se debe principalmente a la prolongada falta de lluvias y a la disminución significativa del caudal de ríos cruciales, como el Chillán e Itata. Además, el acceso al agua subterránea se ve limitado por la profundidad a la que se encuentra, lo que complica aún más el suministro de este recurso vital.



Figura 1.1: Diario Oficial – Declaración de zona de escasez hídrica.

Fuente: <https://www.diariooficial.interior.gob.cl/publicaciones/2024/05/15/43851/01/2487665.pdf>

El cambio climático ha intensificado estos problemas, generando un impacto negativo no solo en la calidad de vida de las personas, sino también en el sector agrícola, que depende en gran medida del agua para mantener su producción. Ante este panorama, resulta fundamental implementar soluciones innovadoras y sostenibles que permitan



mejorar el uso del agua, promoviendo prácticas más eficientes que contribuyan a mitigar los efectos de la escasez hídrica en la región.

1.3 INTRODUCCION A LA CRISIS HIDRICA

La crisis hídrica en Chile ha empeorado significativamente en los últimos años debido a factores como la sequía prolongada, la escasez de precipitaciones y la sobreexplotación de los recursos hídricos.

Estos problemas han reducido la disponibilidad de agua tanto en fuentes superficiales, como los ríos, y las napas subterráneas, que no se recargan a la misma velocidad. Esto ha dificultado el acceso al agua, impactando gravemente a la agricultura y otras actividades productivas. En este contexto, la implementación de tecnologías que optimicen el uso eficiente del agua se vuelve crucial para mitigar los efectos de la escasez y garantizar la sostenibilidad de los sectores más afectados.



Figura 1.2: Referencia del efecto de la crisis hídrica (Sequía).

Fuente: <https://www.diarioconcepcion.cl/economia/2022/02/20/escasez-de-precipitaciones-agudiza-sequia-hidrologica-y-podria-detonar-sequia-agricola-en-el-centro-sur.html>

1.4 IMPACTO DE LA CRISIS HIDRICA EN LA AGRICULTURA

La crisis hídrica representa una amenaza significativa para la seguridad alimentaria, ya que la escasez de agua impacta directamente en la producción agrícola. La disminución del caudal de los ríos, y la dificultad para acceder a aguas subterráneas reducen la capacidad de riego, lo que lleva a menores rendimientos y, en algunos casos, a la pérdida total de cultivos.



Esto no solo afecta la disponibilidad de alimentos, sino que también puede provocar un alza en los precios, dificultando el acceso a productos básicos para la población. Si la situación persiste, el riesgo de desabastecimiento se incrementa, lo que podría derivar en una dependencia excesiva de las importaciones de alimentos, afectando la economía y la estabilidad social.



Figura 1.3: Posible foco afectado por la crisis hídrica.

Fuente: <https://www.soychile.cl/Chillan/Economia-y-Negocios/2023/01/30/797373/agricultores-nuble-aumento-san-carlos.html>

También, esto representa una amenaza para la estabilidad económica y social, ya que la agricultura no solo proporciona alimentos, sino que también es una fuente clave de empleo y sustento para muchas comunidades rurales. La escasez de agua limita la capacidad de los agricultores para mantener sus cultivos, lo que podría llevar a la pérdida de empleos, el cierre de negocios agrícolas y el desplazamiento de familias que dependen de esta actividad. Además, la disminución en la producción agrícola puede afectar las cadenas de suministro, generando un aumento en los precios de los alimentos y potencialmente desencadenando tensiones sociales.

Ante este complejo panorama, es fundamental adoptar soluciones tecnológicas que permitan un uso más eficiente del agua, no solo para asegurar la seguridad alimentaria, sino también para proteger la economía local. Implementar tecnologías de riego de precisión y sistemas automatizados que optimicen el uso del agua puede marcar una diferencia significativa, contribuyendo a mitigar los efectos de la crisis hídrica y promoviendo la sostenibilidad a largo plazo.



1.5 IMPACTO DE LA SEQUÍA EN ÑUBLE

La Región de Ñuble ha enfrentado una crisis hídrica creciente en los últimos años, esta situación ha afectado gravemente tanto el abastecimiento de agua potable como la agricultura, especialmente en cultivos que dependen del riego. La falta de agua ha generado pérdidas importantes en sectores como la fruticultura, donde especies como las cerezas y el maíz han sufrido daños considerables.

Como respuesta, se han implementado diversas medidas, tales como el racionamiento del agua y la construcción de plantas desalinizadoras, con el fin de mitigar los efectos de la escasez en las zonas urbanas y rurales.

A pesar de estos esfuerzos, la crisis hídrica alcanzó su punto más crítico en 2023, cuando la Región de Ñuble fue oficialmente declarada zona de escasez hídrica. Esta medida reflejó la magnitud del problema y la urgente necesidad de adoptar soluciones sostenibles para gestionar el agua de manera más eficiente y enfrentar los desafíos que presenta el cambio climático, garantizando así un futuro con acceso seguro a este recurso vital.

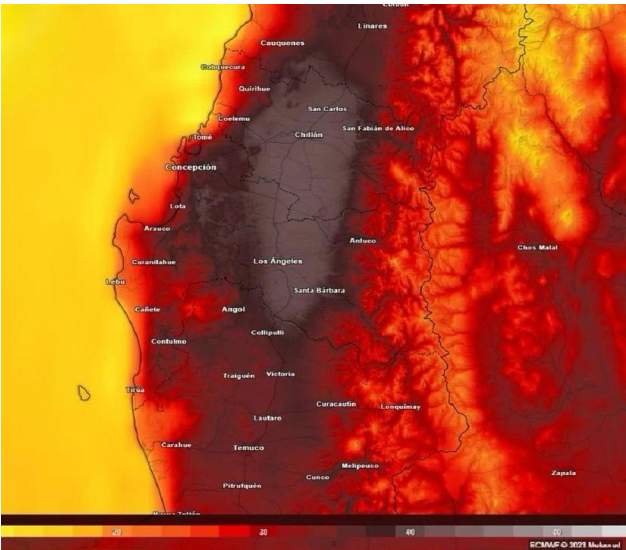


Figura 1.4: Proyección de índice de calor en la Región del Ñuble.

Fuente: <https://www.meteored.cl/noticias/pronostico/mas-de-40-c-alerta-por-calor-sofocante-en-las-regiones-de-nuble-y-biobio.html>



Universidad técnica Federico Santa María
Sede Concepción – Rey Balduino de Bélgica

CAPITULO N°2: RIEGO DE PRECISIÓN Y TECNOLOGÍAS ASOCIADAS



2.1 RIEGO DE PRECISION

El riego de precisión es una técnica avanzada de gestión hídrica que se basa en la aplicación controlada y específica de agua, en el momento y lugar adecuados, adaptándose a las necesidades exactas de cada planta o cultivo para garantizar un crecimiento óptimo. Este sistema se apoya en tecnologías avanzadas, como sensores de humedad del suelo, que proporcionan datos en tiempo real para ajustar de manera dinámica tanto la cantidad de agua aplicada como la frecuencia del riego, asegurando que los recursos sean utilizados de forma eficiente y sostenible.

2.2 VINCULACIÓN CON LA AGRICULTURA SOSTENIBLE.

El riego de precisión es esencial para hacer que la agricultura sea más sostenible, especialmente en regiones que enfrentan una crisis hídrica como lo es la región del Ñuble, ya que permite un uso mucho más eficiente del agua. En lugar de regar de manera uniforme y excesiva, el riego de precisión aplica agua en la cantidad exacta y en los lugares donde realmente se necesita, reduciendo el desperdicio y disminuyendo el consumo general de agua. Esto se consigue gracias a tecnologías como sensores de humedad, sistemas de control automatizados y dispositivos de monitorización que analizan las necesidades hídricas del suelo y las plantas en tiempo real.

En regiones afectadas por la escasez de agua, como es el caso de muchas zonas agrícolas de Chile, el riego de precisión permite maximizar el uso del recurso hídrico, asegurando que cada gota se utilice de la manera más efectiva posible. Esto contribuye a que la producción agrícola no sólo sea más eficiente, sino también más resiliente a los desafíos ambientales, ayudando a preservar las fuentes de agua a largo plazo y mejorando la sostenibilidad de la producción agrícola. Además, al reducir el riego excesivo, también se minimiza el riesgo de erosión del suelo y pérdida de nutrientes, lo que resulta beneficioso para mantener la calidad del suelo y garantizar la salud de los cultivos a lo largo del tiempo.



2.3 OBJETIVOS DEL RIEGO DE PRECISIÓN

El principal objetivo del riego de precisión es maximizar la eficiencia en el uso del agua, asegurando que cada planta reciba la cantidad exacta que necesita para su óptimo desarrollo, minimizando así el desperdicio de este recurso. Esto se logra al ajustar el consumo de agua mediante ajustes según las condiciones del suelo, la planta y el clima.

Además, mejora el rendimiento del cultivo al mantener el nivel adecuado de humedad, lo que se traduce en una mayor calidad de producción. También promueve una gestión inteligente del recurso hídrico a través de tecnologías avanzada, como sistemas de monitoreo en tiempo real.

2.4 TIPOS DE RIEGO DE PRECISION

Existen diversos tipos de riego de precisión, cada uno diseñado para adaptarse a las características específicas del terreno, el tipo de cultivo y las condiciones climáticas, permitiendo un manejo eficiente y sostenible del agua en la agricultura moderna.

2.4.1 RIEGO POR GOTEO

El riego por goteo es considerado uno de los sistemas más eficientes dentro de la agricultura de precisión. Su funcionamiento se basa en la aplicación directa de agua en pequeñas dosis, dirigidas específicamente a la base de cada planta a través de una red de tuberías y goteros. Este método permite un suministro constante y localizado del agua, lo que reduce significativamente las pérdidas por evaporación. Además, asegura que el agua se dirija de manera precisa hacia las raíces de las plantas, optimizando su absorción.



Figura 2.1: Riego por Goteo.

Fuente: <https://www.vigaferreteria.com/blog/tips-para-elegir-un-sistema-de-riego-eficiente/>



2.4.2 RIEGO SUBTERRÁNEO

El riego subterráneo es una modalidad avanzada del riego por goteo, en la cual las tuberías se colocan bajo la superficie del terreno. A través de este sistema, el agua se distribuye directamente en la zona donde se encuentran las raíces de las plantas, lo que disminuye considerablemente las pérdidas por evaporación. Este enfoque asegura que el agua llegue de manera eficiente a las raíces, optimizando su absorción y evitando el desperdicio.



Figura 2.2: Riego subterráneo.

Fuente: <https://bichosdecampo.com/la-sequia-impulso-el-interes-por-el-novedoso-riego-subterraneo-por-goteo-pero-cuanto-cuesta-independizarse-del-clima/>

2.4.3 RIEGO POR ASPERSIÓN

El riego por aspersión es un sistema que utiliza aspersores controlados para distribuir el agua de manera uniforme en el campo, simulando las condiciones de la lluvia. En su modalidad de alta precisión, se incorporan sensores y sistemas automatizados que ajustan tanto la cantidad de agua aplicada como el área de cobertura, en función de las condiciones del suelo y las necesidades específicas de los cultivos.



Figura 2.3: Riego por aspersión.

Fuente: <https://sustratouniversal.es/blog/cual-es-el-mejor-sistema-de-riego-para-un-huerto/>



2.4.4 RIEGO POR PULSOS

El riego por pulsos es un método que consiste en la aplicación intermitente de agua durante breves periodos, alternando entre pulsos de riego y periodos de descanso. Esta técnica mejora la absorción del agua por el suelo, evitando encharcamientos y favoreciendo la infiltración. Puede implementarse con aspersores, activando el riego en intervalos cortos, lo que permite una distribución controlada del agua. El sistema se gestiona mediante válvulas automatizadas y sensores que regulan el caudal, optimizando así el uso del recurso hídrico. Esta metodología es efectiva para promover un desarrollo saludable de las plantas al mantener condiciones adecuadas en el sustrato.



Figura 2.4: Riego por pulsos.

Fuente: <https://infortambo.cl/es/contenidos/una-palanca-clave>

Cabe destacar que el proyecto en cuestión se realiza mediante un sistema de riego por goteo, el cual distribuye el agua directamente a las raíces de las plantas, reduciendo pérdidas y optimizando el uso del agua. Esta técnica es ideal para enfrentar la escasez de agua en el terreno.

2.5 BENEFICIOS DEL RIEGO DE PRECISIÓN

El riego de precisión tiene como objetivo mejorar el uso del agua en los cultivos, contribuyendo a la sostenibilidad mediante diversas estrategias:

- **Aplicación localizada:** Permite dirigir el agua solo a las zonas que realmente la necesitan, utilizando sistemas como el riego por goteo o aspersores controlados.
- **Monitoreo de la humedad del suelo:** Emplea sensores que miden la humedad en tiempo real, activando el riego únicamente cuando las condiciones lo requieren, evitando riegos innecesarios.



- **Adaptación a la variabilidad del terreno:** Ajusta la cantidad de agua aplicada según las características y necesidades específicas de distintas áreas del campo.
- **Minimización de pérdidas por evaporación y escurrentía:** Diseñado para reducir las pérdidas de agua al aplicar el riego directamente en las raíces, lo que limita la evaporación y el escurrimiento de agua superficial.
- **Reducción de desperdicios de agua:** Al aplicar agua de forma puntual y precisa, se minimiza el uso excesivo, reduciendo los ciclos de riego innecesarios y evitando desperdicios.
- **Mejora del recurso hídrico:** Al ajustar las cantidades de agua según las necesidades específicas de cada área del campo, se hace un uso más eficiente del recurso disponible, ayudando a conservar este bien vital.
- **Aprovechamiento del agua de lluvia:** Al reducir el riego excesivo, el suelo puede absorber mejor el agua de lluvia, lo que maximiza su efecto positivo sobre las plantas y disminuye la necesidad de riego adicional.

2.6 TIPOS DE SUELO EN LA AGRICULTURA

Uno de los factores fundamentales que se deben revisar al diseñar o implementar un sistema de regadío automatizado es el tipo de suelo donde se va a trabajar, para ello, se definen los tipos de suelo más comunes dentro del país:

- 2.6.1 SUELOS ARCILLOSOS:** Estos suelos tienen una alta proporción de arcilla, lo que puede hacer que retengan mucha agua y nutrientes, pero también pueden tener problemas de drenaje. Son pesados y tienden a compactarse fácilmente, lo que podría ser contraproducente para las vides si no se gestionan adecuadamente.



Figura 2.5: Suelo Arcilloso.

Fuente: https://es.pngtree.com/freebackground/the-distressed-texture-of-cracked-clay-soil-implications-for-drought-and-environmental-challenges_15196315.html



2.6.2 SUELOS CALIZOS: Estos suelos tienen una alta concentración de carbonato de calcio (cal), lo que les da una reacción alcalina (pH elevado). Son relativamente comunes en regiones mediterráneas. Los suelos calizos pueden ser poco adecuados para algunas variedades de vid que prefieren suelos más ácidos, pero algunas cepas pueden adaptarse bien.



Figura 2.6: Suelo Calizo.

Fuente: <https://depositphotos.com/es/photo/background-from-soils-32198063.html>

2.6.3 SUELOS LIMOSOS: Los suelos limosos tienen una textura intermedia entre arcilla y arena, y pueden ser más fáciles de trabajar que los arcillosos, pero también tienden a retener agua. Si bien son buenos para muchas plantas, los suelos limosos no tienen la capacidad de drenaje tan eficiente como los suelos arenosos.

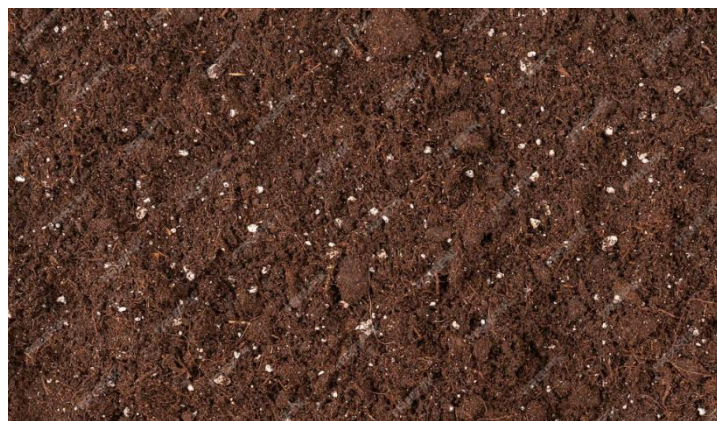


Figura 2.7: Suelo Limoso.

Fuente: https://www.freepik.es/fotos-premium/detalle-textura-suelo-jardineria-vista-superior-diseno-suelos-fertilidad-tierra_16543735.htm



- 2.6.4 SUELOS ARENOSOS:** Los suelos arenosos son muy bien drenados y fáciles de trabajar, pero tienen baja capacidad de retención de nutrientes y agua. Las vides pueden prosperar en suelos arenosos si se gestionan adecuadamente las necesidades de riego y fertilización.



Figura 2.8: Suelo Arenoso.

Fuente: https://www.freepik.es/imagen-ia-premium/textura-suelo-arenoso-fondo-suelo-textura-fondo-terreno-arenoso_174368860.htm

- 2.6.5 SUELOS FRANCOS:** Los suelos francos son ideales para muchas plantas, ya que tienen una textura equilibrada entre arena, arcilla y limo, lo que les da una buena capacidad de retención de agua y nutrientes, así como un drenaje adecuado.



Figura 2.9: Suelo Franco.

Fuente: https://www.freepik.es/fotos-premium/suelo-franco-fertil-adecuado-siembra-fondo-textura-suelo_3861268.htm



2.6.6 SUELOS SALINOS: Los suelos salinos contienen altas concentraciones de sales solubles, lo cual es desfavorable para la mayoría de las plantas, incluyendo las vides. El exceso de sal puede inhibir el crecimiento de las raíces y afectar la salud de la planta.



Figura 2.10: Suelo Salino.

Fuente: https://www.portalambiental.com.mx/sites/default/files/styles/full_content/public/media/image/2019/06/desertificacion_dan_gold.jpg?itok=5rE0SNRI

El presente informe está enfocado en el suelo franco, uno de los tipos de suelo más comunes en la agricultura en varias zonas de la región del Ñuble. Este suelo ofrece un equilibrio ideal entre arena, limo y arcilla, lo que le proporciona una excelente retención de agua y un drenaje eficiente. Gracias a sus propiedades, las raíces de las plantas pueden acceder al agua de manera constante, evitando tanto el exceso como la falta de humedad, lo que favorece un desarrollo saludable del cultivo. Además, su estructura permite una adecuada aireación, lo que facilita el crecimiento radicular y la absorción de nutrientes esenciales.



2.7 CALCULO DE AGUA DE LA PLANTA DE LA UVA.

Para calcular la cantidad de agua necesaria para la planta, utilizamos la fórmula de la evapotranspiración, la cual consiste en:

$$ET_c = ETo \cdot Kc$$

Donde:

Etc: Evapotranspiración del Cultivo (Representa el consumo de agua del cultivo específico)

Eto: Evapotranspiración de referencia

Kc: Coeficiente de Cultivo

El valor de la evapotranspiración de referencia (ETo) se obtiene en base a las condiciones climáticas de la zona, considerando factores como la temperatura, la radiación solar, y la humedad relativa, para este informe este valor será tomado desde la página <http://www.agrometeorologia.cl/evapotranspiracion/#>, ya que el cálculo de la evapotranspiración de referencia (Eto) es muy extenso de calcular y resulta más práctico tomar este valor ya listo para trabajarlo, cabe destacar que en esta página tenemos la evapotranspiración de referencia actualizada día por día, por su parte, el coeficiente Kc varía según la etapa de crecimiento de la planta, “Ver Tabla N°1”

Tomando el valor de la Eto en la página de agrometeorología actualizada al día 07/03/2025 y el valor de kc desde la tabla la ecuación nos quedaría:

$$ET_c = 3,9 \cdot 0,75$$

$$ET_c = 2,925 \text{ (mm/día)}$$

Una vez calculada la Etc, se puede determinar la cantidad de agua que debe aplicarse en el área de riego para cubrir las necesidades de todo el sector. Para ello, es necesario multiplicar el Etc por la superficie de suelo (en metros cuadrados), la fórmula en cuestión es la siguiente:

$$\text{Agua (L/día)} = ET_c \text{ (mm/día)} \cdot \text{Área (m}^2\text{)}$$

Donde:

Etc: Evapotranspiración del Cultivo (Representa el consumo de agua del cultivo específico).

Área: Cantidad de superficie donde se trabajará en metros cuadrados (m²).



En la siguiente tabla se pueden observar los coeficientes de cultivo de la vid (Kc):

Cultivo	Inicial	Desarrollo del cultivo	Mediados del periodo	Finales del periodo	Cosecha	Periodo vegetativo
Bananas (Tropicales)	0.4-0.5	0.7-0.8	1.0-1.1	0.9-1.0	0.75-0.85	0.7-0.8
Bananas (Subtropicales)	0.5-0.6	0.8-0.9	1.0-1.2	1.0-1.15	1.0-1.15	0.85-0.95
Frejol (Verde)	0.3-0.4	0.65-0.75	0.95-1.05	0.9-0.95	0.85-0.95	0.85-0.9
Frejol (Seco)	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	1.05-1.2	0.25-0.35	0.25-0.3
Coliflor	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.1	0.9-1.0	0.65-0.7	0.7-0.8
Algodón	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.25	0.8-0.9	0.65-0.7	0.55-0.75
Vid	0.35-0.55	0.6-0.8	0.7-0.9	0.6-0.8	0.55-0.7	0.55-0.75
Maní	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.1	0.75-0.8	0.55-0.6	0.75-0.9
Maíz (Dulce)	0.3-0.5	0.7-0.9	1.05-1.2	1.0-1.15	0.95-1.1	0.8-0.95
Maíz (Grano)	0.3-0.5	0.7-0.85	1.05-1.2	0.8-0.95	0.55-0.6	0.7-0.9
Cebolla (Seca)	0.4-0.6	0.7-0.8	0.95-1.1	0.85-0.9	0.75-0.85	0.8-0.9
Cebolla (Verde)	0.4-0.6	0.6-0.75	0.95-1.05	0.95-1.1	0.95-1.1	0.65-0.8
Arveja (fresca)	0.4-0.5	0.7-0.85	1.05-1.2	0.85-1.0	0.95-1.1	0.85-0.95
Pimiento (fresco)	0.3-0.4	0.6-0.75	0.95-1.1	0.85-1.0	0.95-1.1	0.85-0.95
Papa	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.2	0.85-0.9	0.7-0.8	0.75-0.9
Arroz	1.1-1.15	1.1-1.15	1.1-1.3	1.0-1.15	0.95-1.1	1.05-1.2

Tabla 2.1: Indicador de Kc de plantas.
Fuente: <http://www.biblioteca.inia.cl>



Aunque el cálculo del agua necesaria para el riego se basa en la evapotranspiración del cultivo (Etc), no siempre es la opción más eficiente, ya que factores ambientales como la alta radiación solar y las temperaturas elevadas pueden aumentar la evaporación, provocando la pérdida de agua antes de que las plantas la absorban. Para mejorar el uso del recurso hídrico, el sistema de riego propuesto utiliza sensores de humedad del suelo que permiten medir constantemente los niveles de humedad.

Es importante destacar que el umbral de humedad óptimo varía según el tipo de cultivo. En este proyecto, se ejemplifica con la vid, una especie con necesidades hídricas específicas. Por ello, el sistema ajusta el riego de manera automática según su umbral particular, garantizando que el agua se aplique solo cuando sea realmente necesario y evitando el desperdicio del recurso.

Según estudios del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), el umbral de riego en la uva se ha determinado a partir de mediciones del estado hídrico del suelo y la planta. Tal que, para este proyecto se ajusta el umbral a un 30% de humedad del suelo, asegurando un control más eficiente del riego y un mejor aprovechamiento del recurso hídrico.



Figura 2.11: Referencia a suelo con humedad adecuada.

Fuente: <https://www.istockphoto.com/es/search/2/image-film?phrase=tierra+humedada>

Este ajuste permite mejorar el sistema de riego automatizado, evitando tanto el estrés hídrico en la vid como el exceso de humedad en el suelo, lo que puede afectar la calidad del cultivo.

2.8 TECNOLOGÍAS DE MONITOREO Y CONTROL

El riego de precisión se basa en el uso de tecnologías avanzadas que monitorean constantemente las condiciones del suelo para aplicar agua de manera más eficiente. Los sensores de humedad juegan un papel crucial, proporcionando datos en tiempo real sobre el contenido de agua en diferentes áreas del campo. Estos datos son analizados y procesados para activar el sistema de riego solo cuando es necesario, lo que evita el riego excesivo y el desperdicio de agua. Los sistemas automatizados de control del riego, que operan de manera programada, se coordinan con estos sensores para gestionar el flujo y la distribución del agua en cada área según el requerimiento específico.

2.9 IMPORTANCIA DE LA AUTOMATIZACION EN EL RIEGO

Un sistema automatizado permite una respuesta rápida y adecuada a las necesidades del suelo, ajustándose a los cambios en la humedad en función del clima y de las necesidades del cultivo. Al eliminar la intervención manual, la automatización permite que el sistema de riego sea más eficiente, activándose en los momentos necesarios y en la cantidad de humedad precisa. Esto asegura un uso sostenible del agua y permite una respuesta inmediata a las variaciones ambientales, maximizando la eficiencia hídrica.



Figura 2.12: Riego eficiente.

Fuente: <https://armandohuertos.com/2024/07/riega-de-forma-adecuada/>

2.10 HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL RIEGO

Las tecnologías aplicadas en el riego de precisión juegan un papel clave en la mejora del uso del agua y la eficiencia en la producción agrícola. Estas herramientas permiten un monitoreo constante de las condiciones del suelo y el clima, facilitando la toma de decisiones automatizada para una gestión hídrica más eficiente.

Entre las principales tecnologías utilizadas en sistemas de riego de precisión se encuentran los sensores de humedad del suelo, que permiten evaluar en tiempo real la disponibilidad de agua en el sustrato; también los mecanismos de comunicación inalámbrica, que facilitan la conectividad entre los distintos dispositivos del sistema.

Gracias a estos avances, el riego de precisión no solo mejora el uso eficiente del recurso hídrico, sino que también contribuye a la sostenibilidad agrícola, minimizando el desperdicio de agua y garantizando un suministro adecuado para los cultivos.



Universidad técnica Federico Santa María
Sede Concepción – Rey Balduino de Bélgica

CAPITULO N°3: DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE RIEGO



3.1 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA

Este capítulo detalla el diseño del sistema automatizado de riego, el cual está configurado para ajustar el suministro de agua de acuerdo con los requerimientos específicos de las plantas. El proyecto abarca un sector destinado a vides, permitiendo mejorar el uso de recursos hídricos en cada área según las necesidades particulares de cada planta. Además, el sistema ha sido diseñado de manera escalable, permitiendo su implementación en superficies de mayor tamaño o en diferentes tipos de cultivos con mínimas adaptaciones.

3.2 EJEMPLOS DE COMPONENTES PARA EL SISTEMA

El sistema automatizado de riego está compuesto por diversos elementos diseñados para una gestión eficiente del agua. La selección de estos componentes se basa en su compatibilidad y capacidad para mejorar el riego, permitiendo un control automatizado que se ajusta a las condiciones del suelo y las necesidades del cultivo.

Cada componente desempeña una función clave dentro del sistema, desde la detección de la humedad hasta la distribución del agua. Sensores, bombas y controlador operan de manera coordinada para activar el riego solo cuando es necesario y en la cantidad justa, evitando desperdicios y promoviendo un uso eficiente del recurso hídrico.

Además, el diseño del sistema se adapta a las características del terreno, permitiendo ajustar la ubicación y configuración de los dispositivos para lograr una cobertura uniforme. De este modo, se busca que cada sector reciba el agua de manera equitativa, favoreciendo el desarrollo del cultivo.

A continuación, se presentan algunos de los componentes seleccionados para el prototipo, los cuales han sido elegidos por su compatibilidad y características específicas que responden a las necesidades del proyecto. Su integración sencilla y adaptabilidad a diferentes condiciones aseguran un funcionamiento autónomo y eficiente del sistema de riego.



3.2.1 SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO DIY-ESP32/WIFI: El sensor de humedad de suelo DIY-ESP32/WiFi mide con precisión la humedad del sustrato y transmite los datos en tiempo real mediante conectividad inalámbrica. Su diseño compacto y eficiente permite una fácil integración en sistemas de riego automatizados, facilitando el monitoreo y control remoto del suelo.

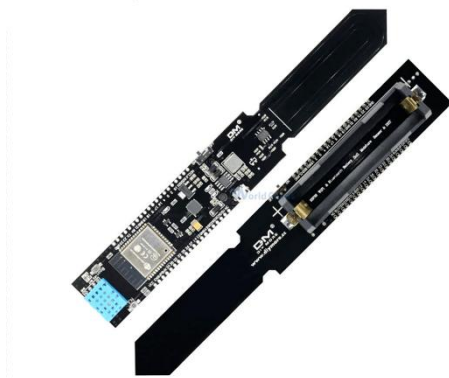


Figura 3.1: Sensor inalámbrico DIY ESP32/Wifi.

Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/4000022347625.html>

3.2.2 MICROCONTROLADOR ARDUINO R4 WIFI: Es un microcontrolador versátil con conectividad Wi-Fi y Bluetooth integradas. Permite una comunicación inalámbrica eficiente entre sensores y sistemas de control, facilitando el monitoreo de dispositivos. Su accesibilidad y flexibilidad lo hacen ideal para proyectos de automatización y aplicaciones IOT (internet of things).



Figura 3.2: Microcontrolador Arduino R4 Wifi.

Fuente: <https://arduino.cl/producto/arduino-uno-r4-wifi/>



3.2.3 BOMBA SUMERGIBLE: Su bajo voltaje proporciona un funcionamiento seguro y eficiente, permitiendo una distribución continua y controlada del agua, especialmente en aplicaciones agrícolas. Se instalará en un estanque de agua, y su diseño compacto facilita su integración en diversas configuraciones, ofreciendo una solución práctica y confiable para mantener un suministro de agua constante.



Figura 3.3: Bomba sumergible.

Fuente: <https://www.mercadolibre.cl/mini-bomba-de-agua-sin-escobillas-de-elevacion-dc24v-55m/p/MLC2001051604>

3.2.4 MÓDULO DE RELÉ: El módulo de relé permite activar y desactivar cargas eléctricas de forma segura y precisa. Su diseño robusto garantiza un aislamiento eficiente entre el circuito de control y la carga, ofreciendo protección ante sobrecargas eléctricas. Es compatible con microcontroladores como Arduino y ESP32, facilitando el control automatizado de dispositivos eléctricos en diversos entornos.

- Voltaje de operación: 12V
- Tipo de relé: SPDT (Single Pole Double Throw)
- Indicador LED para mostrar el estado de activación
- Interfaz de control: Compatible con señales de 3.3V y 5V, permitiendo su uso con ESP32 y Arduino



Figura 3.4: Módulo relé.

Fuente: https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-1470775485-modulo-rele-de-1-canal-12v-_JM



3.2.5 FUENTE DE PODER: La fuente de poder proporciona una alimentación estable y confiable para dispositivos electrónicos y sistemas automatizados. Su capacidad de corriente permite alimentar de forma segura componentes como bombas sumergibles, módulos de relé y otros equipos utilizados en proyectos de automatización. Su diseño compacto y eficiente facilita su integración en distintas aplicaciones, garantizando un suministro constante de energía y protegiendo los dispositivos conectados contra picos de voltaje y sobrecargas eléctricas.

- Voltaje de entrada: 220V AC
- Voltaje de salida: 5V/12V DC
- Corriente de salida: 5A o más
- Protección contra sobrecarga y cortocircuito: Sí



Figura 3.5: Fuente de poder.

Figura: <https://www.teknokont.com/products/fuente-switching-c-cargador-12vdc-2a>

3.2.6 TUBERÍAS: La tubería principal, puede ser de PVC, es la encargada de transportar el agua desde la fuente, ya sea una bomba o un estanque, hasta las áreas de riego del proyecto. Esta tubería principal actúa como la columna vertebral del sistema, garantizando un caudal constante y una presión adecuada para un funcionamiento eficiente.



A lo largo de su recorrido, la tubería principal se conecta mediante conectores y tees a las tuberías secundarias, elaboradas en polietileno flexible. Estas tuberías secundarias permiten una fácil instalación de goteros asegurando que el agua llegue de manera localizada y uniforme a cada planta.



Figura 3.6: Tuberías de riego.

Fuente: <https://prakor.com/tipos-de-tuberias-para-un-sistema-de-riego-por-goteo-agricola/>

3.2.7 GOTEROS: Los goteros son componentes esenciales en el sistema de riego por goteo, ya que permiten la entrega precisa y controlada del agua directamente en la base de cada planta. En este proyecto, se utilizan goteros, los cuales mantienen un caudal constante, independientemente de las variaciones de presión en el sistema. Esto es especialmente útil en terrenos irregulares o sistemas con largas líneas de riego.



Figura 3.7: Gotero para riego

Fuente: <https://www.diplas.cl/products/gotero-autocompensado-4-l-h-nano-pc>



3.3 PLANO DEL SISTEMA DE RIEGO

Para el diseño de este sistema de riego, se trabajará sobre una superficie de media hectárea, equivalente a 5.000 metros cuadrados, distribuida en un terreno rectangular con dimensiones de 50 metros de ancho por 100 metros de largo. Con el objetivo de mejorar la precisión en la detección de humedad y ajustar la distribución del riego, el terreno se dividirá en 4 sectores de aproximadamente 1.250 metros cuadrados cada uno, con dimensiones de 25 metros de ancho por 50 metros de largo.

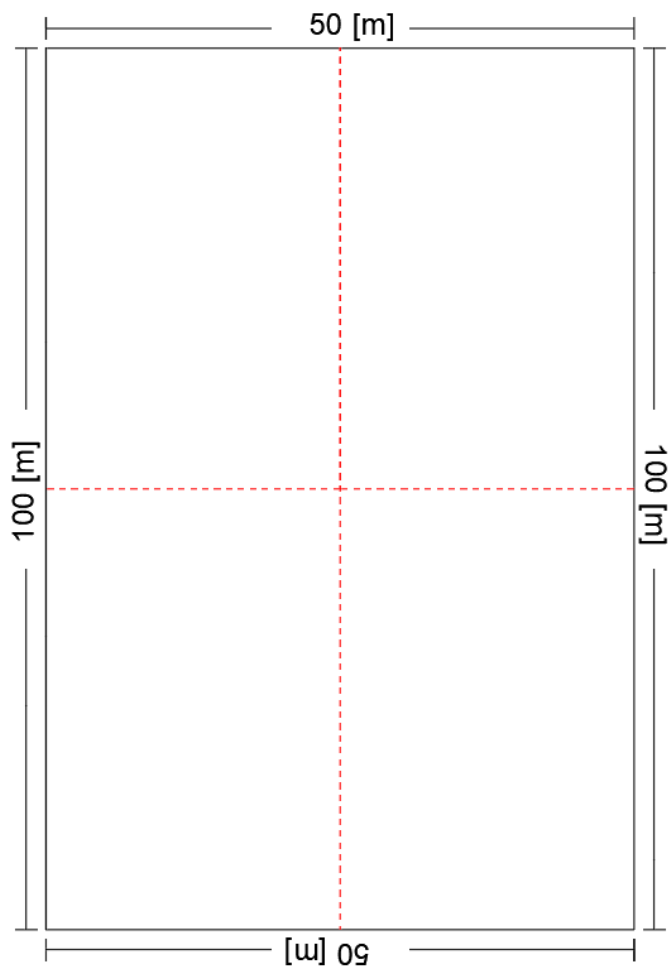


Figura 3.8: Sector a trabajar hectárea 5.000[m²].

Fuente: Elaboración del autor

En esta etapa de diseño, cada sector contará con un sensor de humedad, asumiendo que el terreno es uniforme. Este sensor permitirá monitorear la humedad y mejorar el riego según las necesidades de la vid. Aunque se contempla un solo sensor por sector en esta fase, si se detectan variabilidades en la humedad del suelo, se podrán agregar más sensores para mejorar la precisión. La cantidad y ubicación de los sensores se ajustarán según las condiciones específicas de cada sector, permitiendo la expansión del sistema según sea necesario.

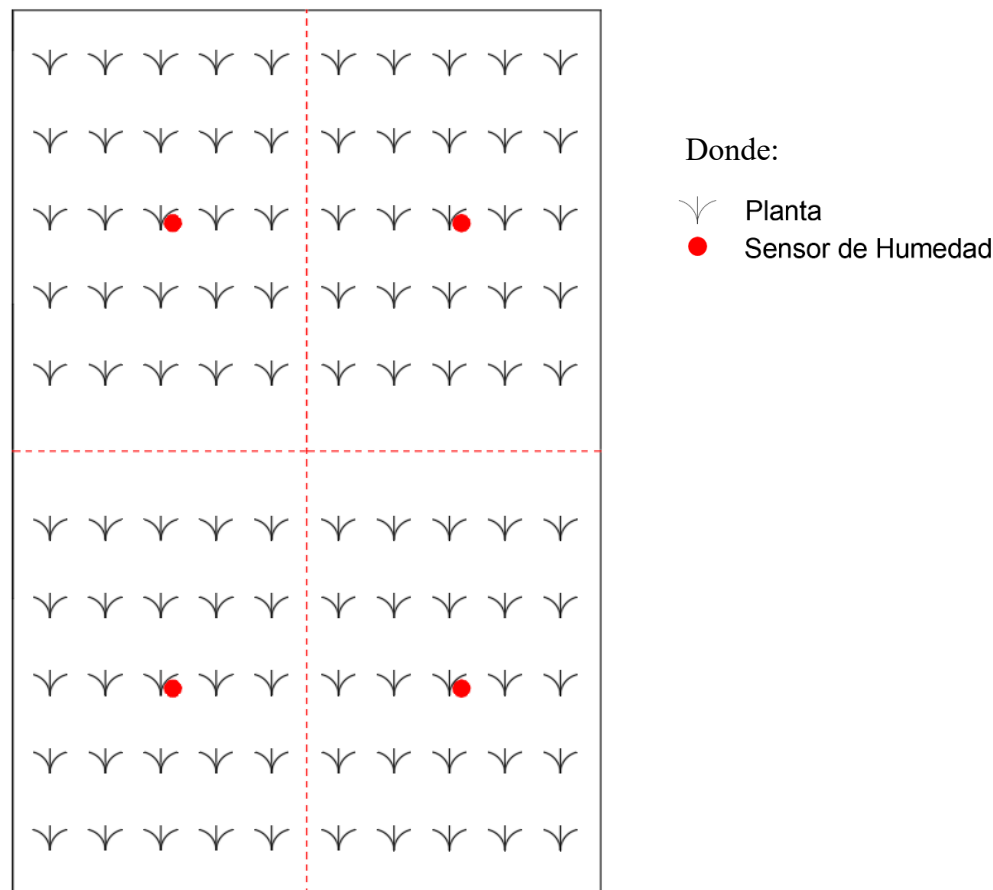


Figura 3.9: Disposición de sensores en cada área.

Fuente: Elaboración del autor

De acuerdo con las recomendaciones del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), se asumen las siguientes distancias de plantación para la vid:

- Sobre hilera (distancia entre plantas en la misma hilera): 0.8 metros.
- Entre hileras (para permitir el paso de maquinaria): 1.8 a 2.5 metros.

Este diseño garantiza una distribución eficiente del agua, aplicándola únicamente cuando sea necesario y optimizando al máximo el uso del recurso hídrico. El sistema utiliza sensores de humedad que monitorean continuamente las condiciones del suelo en cada sector, permitiendo ajustar el riego de forma automática. Esto evita el exceso de agua y asegura un desarrollo óptimo de la vid.

El sistema cuenta con un punto central que facilita la gestión integral de la energía, el agua y el abastecimiento, asegurando un suministro eficiente y uniforme en todos los sectores del terreno.



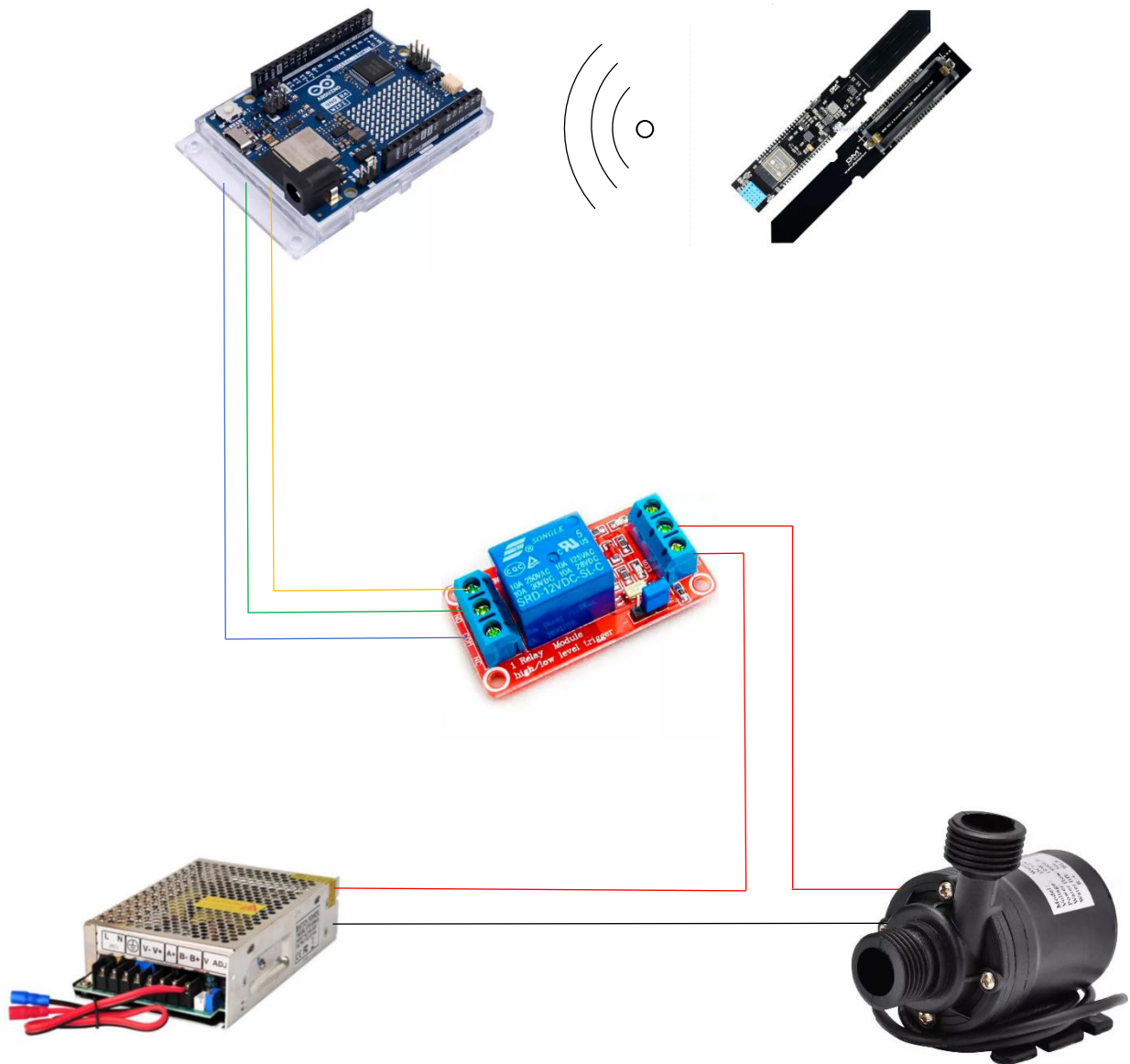
La siguiente imagen de este diseño de sistema de riego permite visualizar la disposición y alcance de cada sector de riego, asegurando una cobertura uniforme y eficiente.



Figura 3.10: Disposición y alcance de cada sector de riego.

Fuente: Elaboración del autor

3.4 ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL SISTEMA.



Nota:

Desde el Arduino al relé, se conecta lo siguiente:

- Cable VCC, Ejemplificado como color amarillo. Hacia VCC de relé.
- Cable GND, Ejemplificado con color verde. Hacia GND de relé.
- Cable de Pin a trabajar (pulso), Ejemplificado con color azul. Hacia IN de relé

Por la otra parte del relé, se conecta el cable positivo (rojo) de la fuente de poder hacia el punto Común (COM). Junto con esto, el cable positivo de la bomba se conecta al contacto Normalmente Abierto (NO) y el cable negativo (negro) de la fuente y el de la bomba se conectan directamente.



3.5 ESPECIFICACIONES TECNICAS

Componente	Función	Alimentación	Conectividad	Rango de Operación	Tipo de Comunicación	Instalación	Observaciones
Sensor de humedad ESP32	Medir la humedad del suelo	Batería 18650 (3.7V)	Wifi/Bluetooth	20% - 80% humedad	Wifi	Física	Compatible con Arduino
Bomba de agua sumergible	Proveer agua al sistema de riego	12V DC	Conexión directa	Inmersión en agua	Relé controlado por ESP32	Física	Instalar en lugar accesible.
Relé	Controlar la bomba sumergible	12V DC	Conexión directa	-	Digital (on/off)	Física	Asegurar aislamiento adecuado
Fuente de alimentación	Suministrar energía al sistema	220V AC a 5/12V DC	Cableado	-	-	Física	Verificar polaridad al conectar
Arduino R4 Wifi	Controlar el sistema de riego	5V DC (USB o fuente externa)	Wifi	-	Wifi, Conexión directa	Física	Programable vía IDE Arduino

Tabla 3.1: Especificaciones técnicas de componentes a utilizar.

Fuente: Elaboración del autor



3.6 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

En este proyecto de sistema de riego se utilizará un protocolo de comunicación inalámbrica WiFi, seleccionado estratégicamente para adaptarse a las características y dimensiones de cada área del proyecto.



Figura 3.11: Protocolo de comunicación Wifi.

Fuente: <https://www.pngegg.com/es/png-wgsbi>

Se implementa el protocolo Wifi 2.4Ghz, aprovechando que tanto el Arduino R4 Wifi como el sensor inalámbrico basado en ESP32 incluyen conectividad Wifi-integrada. Este protocolo ofrece una alta velocidad de transmisión de datos, ideal para el monitoreo en tiempo real. Su cobertura, de hasta 45 metros en interiores y hasta 90 metros en exteriores sin obstáculos, es suficiente para el tamaño de cada área este sector, permitiendo una conexión directa y estable sin necesidad de amplificadores o equipos adicionales.

El router, ubicado en el centro del área, facilitará la conexión de los sensores al WiFi mediante los módulos ESP32. De esta manera, los sensores podrán enviar los datos de manera eficiente y en tiempo real al sistema de control, asegurando un funcionamiento óptimo del sistema de riego automatizado.

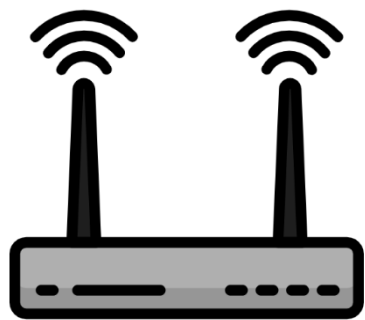


Figura 3.12: Router Wi-Fi.

Fuente: <https://www.stockio.com/free-icon/techie-icons-modem>



Este posicionamiento permite una cobertura óptima para la transmisión de datos en tiempo real. Los sensores, distribuidos en el área de riego, podrán conectarse fácilmente al router, garantizando un monitoreo eficiente del sistema.

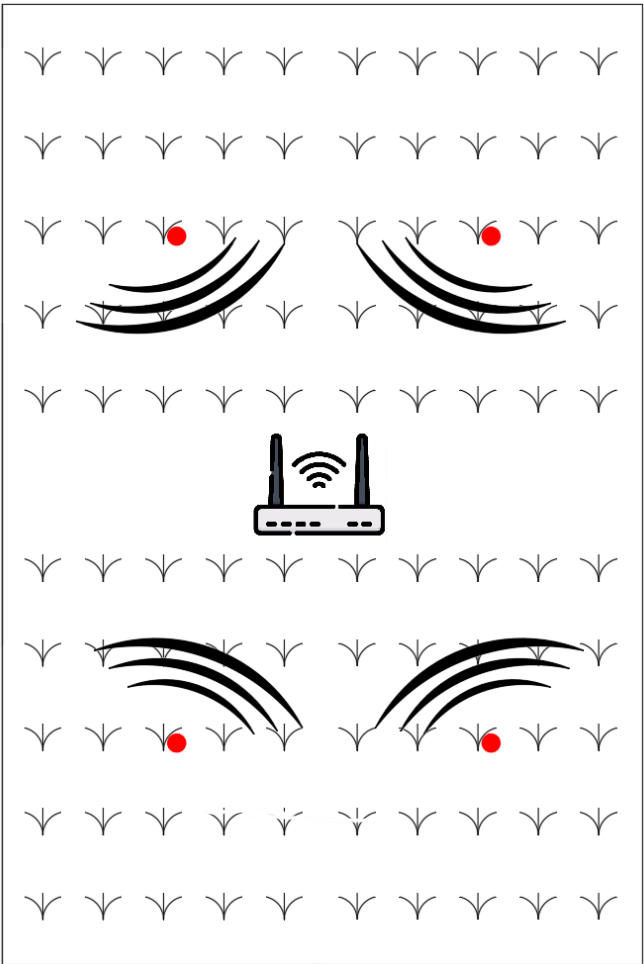


Figura 3.13: Envío de datos desde sensores a Router central.

Fuente: Elaboración del autor

3.7 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema de riego automatizado se basa en sensores inalámbricos que miden la humedad del suelo y permiten un control preciso del riego. Estos sensores, utilizan tecnología WiFi para la transmisión de datos.

El sensor de humedad envía la información al receptor ESP32 del microcontrolador. Este microcontrolador, al recibir la lectura de humedad, compara el valor con el umbral predefinido.

Si la humedad del suelo se encuentra por debajo del umbral establecido, el microcontrolador activa el sistema de riego. Para ello, envía una señal al módulo de relé, que controla la bomba de agua. De este modo, se optimiza el uso del agua y se garantiza un riego eficiente y localizado.

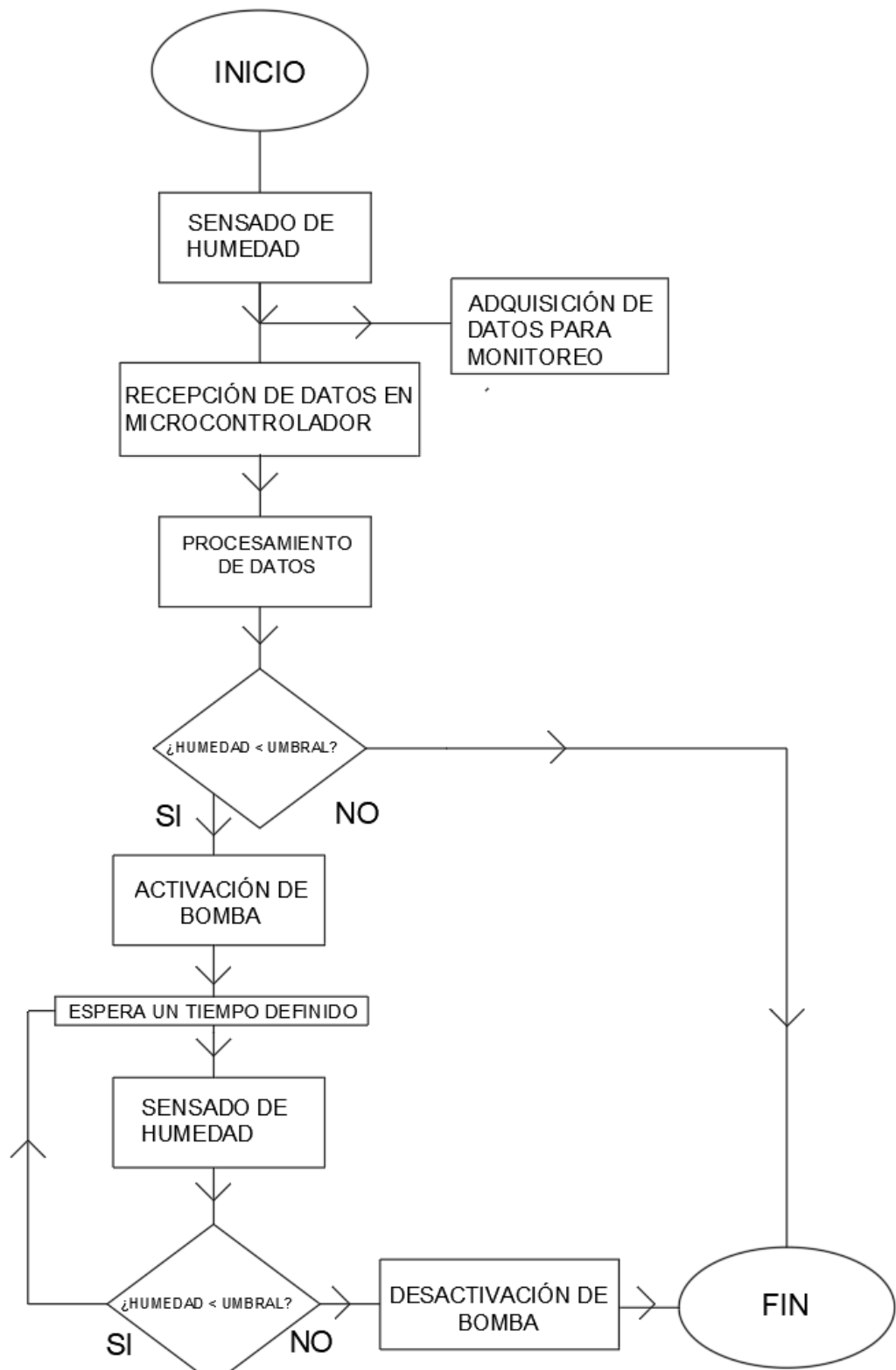


Figura 3.14: Diagrama de flujo del sistema.

Fuente: Elaboración del autor



Universidad técnica Federico Santa María
Sede Concepción – Rey Balduino de Bélgica

CAPITULO N°4: LOGICA DE PROGRAMACION DEL SISTEMA DE RIEGO



En este capítulo se presenta la programación desarrollada para el sistema de riego, detallando la lógica de control. El código permite la conexión y monitoreo de los sensores de humedad, así como la automatización del riego mediante la activación de la bomba de agua según las condiciones del suelo. Se aborda la configuración del microcontrolador y el manejo del protocolo de comunicación inalámbrica Wifi para garantizar un funcionamiento eficiente y preciso del sistema.

Debido a la accesibilidad de los equipos y las condiciones específicas del sector, la validación de la lógica de programación se realizó únicamente para un sector, lo que permitió comprobar el funcionamiento del código, la conexión con los sensores y la automatización del riego a través de la red WiFi. No obstante, la programación desarrollada es adaptable, ya que mantiene el mismo principio de funcionamiento y podría ajustarse en un futuro para cubrir mayores distancias.

Para la programación de este sistema, se trabajó en el programa Arduino IDE de escritorio en su versión 2.3.4.



Figura 4.1: Logotipo Aplicación Arduino IDE.

Fuente: <https://iconduck.com/icons/151740/arduino-ide>

Para facilitar la comprensión del código, se utilizan comentarios de texto precedidos por el símbolo “//”. Estos comentarios no afectan la ejecución del programa, sino que proporcionan una descripción clara y detallada de la función de cada línea de código, permitiendo así una mejor interpretación de la lógica de programación.

Cabe mencionar que el sistema de riego automatizado utiliza dos códigos de programación, uno para el sensor de humedad y otro para el microcontrolador Arduino. El sensor mide la humedad y envía los datos por WiFi. El microcontrolador recibe esta información, evalúa el umbral de humedad y activa la bomba de agua según sea necesario. Además, los datos se visualizan en una página web para permitir el monitoreo en tiempo real.



4.1 PROGRAMACIÓN DE SENSOR DE HUMEDAD (ESP32)

En esta primera parte, se puede ver que el sensor se conecta a una red local Wifi, para ello, debemos especificar el nombre y contraseña de la red a la que nos conectaremos tal cual como lo hacemos desde cualquier dispositivo, continuando, vemos que usamos el pin N°32, debemos fijarnos en el Pin data del ESP32 a que pin está asociado. Luego vemos órdenes para la detección y lectura de humedad, cabe destacar que en la linea “ int humedad =map(SensorValue, 0, 4095,200,-30);” se modificó específicamente en los valores 200 y -30, esto con motivo de calibrar el sensor ya que los valores no cuadraban, ya que su ficha técnica indica valores entre 20 y 80.

```
#include <WiFi.h> // Importa la librería para manejar la conexión WiFi en el ESP32
#include <WebServer.h> // Importa la librería para crear un servidor web en el ESP32

const char* ssid = "CandiaRiquelme"; // Nombre de la red WiFi a la que se conectará el ESP32
const char* password = "wifi12345"; // Contraseña de la red WiFi

const int SOIL_SENSOR_PIN = 32; // Define el pin 32 como entrada para el sensor de humedad

WebServer server(80); // Crea un servidor web que escuchará en el puerto 80

// Función para leer la humedad del suelo
int leerHumedad() {
    int sensorValue = analogRead(SOIL_SENSOR_PIN); // Lee el valor analógico del sensor en el pin 32
    int humedad = map(sensorValue, 0, 4095, 200, -30); // Mapea el valor leído a un rango de humedad de 200 a -30
    humedad = constrain(humedad, 0, 100); // Restringe el valor de humedad entre 0% y 100%
    return humedad; // Devuelve el valor de la humedad
}
```

Figura 4.2: Programación Sensor de Humedad Parte 1.

Fuente: Elaboración del autor

Continuando, podemos ver la estructura para ver si nuestro esp32 está conectado a la red Wifi, en el monitor serial se indicará si la conexión fue exitosa o no, en caso de no ser exitosa se mostrará el mensaje “No se pudo conectar al wifi. Conectando sin reinicio...”.

```
void setup() {
    Serial.begin(115200); // Inicia la comunicación serie a una velocidad de 115200 baudios

    WiFi.begin(ssid, password); // Inicia la conexión WiFi con las credenciales dadas
    unsigned long startAttemptTime = millis(); // Guarda el tiempo en milisegundos en que comenzó el intento de conexión
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis() - startAttemptTime < 10000) { // Espera 10 segundos para conectar
        delay(500); // Pausa de 500ms entre intentos
        Serial.print("."); // Imprime un punto en la consola indicando que sigue intentando conectar
    }

    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) { // Si la conexión fue exitosa
        Serial.println("\nConectado a WiFi"); // Muestra en la consola que la conexión fue exitosa
        Serial.println(WiFi.localIP()); // Imprime la dirección IP del ESP32 en la red
    } else {
        Serial.println("\nNo se pudo conectar al WiFi. Continuando sin reinicio..."); // Mensaje si no se conecta en 10s
    }
}
```

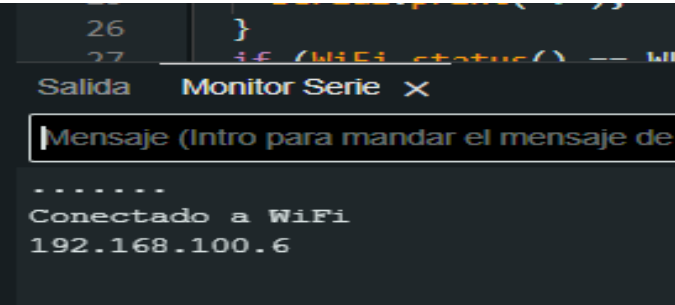


Figura 4.3 y 4.4: Programación Sensor de Humedad Parte 2.

Fuente: Elaboración del autor



Acá se convierte al ESP32 en un servidor web capaz de responder a solicitudes de navegadores dentro de la misma red. Cuando un usuario ingresa la dirección IP del ESP32 en su navegador, el dispositivo responde enviando una página web que muestra el nivel de humedad del suelo junto con un gráfico en tiempo real.

```
// Configuración del servidor web para responder a solicitudes en "/"
server.on("/", HTTP_GET, []() { // Cuando un cliente accede a "/", se ejecuta esta función
  String html = R"rawliteral( // Define el código HTML que se enviará como respuesta
    <html>
    <head>
      <title>Monitoreo de Humedad</title> // Título de la página web
      <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js"></script> // Importa la librería Chart.js para gráficos
      <style>
        body {
          display: flex; // Organiza el contenido en una columna centrada
          flex-direction: column;
          align-items: center;
          justify-content: center;
          font-family: Arial, sans-serif; // Usa fuente Arial
        }
        h1 {
          margin: 10px;
          text-align: center;
        }
        canvas {
          max-width: 90%; // El gráfico no ocupará más del 90% del ancho de la pantalla
          height: auto;
        }
      </style>
    </head>
    <body>
      <h1>&#128166;&#127793; Humedad del suelo: <span id="humedad" style="font-size: inherit;">--</span>&#127793;&#128166;</h1>
      <canvas id="grafico"></canvas> // Contenedor del gráfico
      <script>
        const ctx = document.getElementById('grafico').getContext('2d'); // Obtiene el contexto del canvas
        const data = { labels: [], datasets: [ { // Configura los datos del gráfico
          label: 'Humedad del Suelo (%)',
          data: [],
          borderColor: 'cyan',
          backgroundColor: 'rgba(0, 255, 255, 0.2)',
          borderWidth: 2,
          tension: 0.4
        } ] };
        const options = { responsive: true, scales: { y: { beginAtZero: true, max: 100 } } }; // Configura la escala del gráfico
        const grafico = new Chart(ctx, { type: 'line', data, options }); // Crea el gráfico de líneas

        async function actualizarDatos() {
          try {
            const response = await fetch('/data'); // Solicita los datos al servidor
            const json = await response.json(); // Convierte la respuesta en JSON
            const humedad = json.humedad; // Extrae el valor de la humedad

            // Actualiza el valor en la página web
            const humedadSpan = document.getElementById('humedad');
            humedadSpan.innerText = humedad;

            // Cambia el color del texto si la humedad es menor o igual a 30%
            humedadSpan.style.color = humedad <= 30 ? 'red' : 'black';

            // Agrega un nuevo punto de datos al gráfico
            const timestamp = new Date().toLocaleTimeString(); // Obtiene la hora actual
            if (data.labels.length > 15) { // Mantiene máximo 15 datos en el gráfico
              data.labels.shift();
              data.datasets[0].data.shift();
            }
            data.labels.push(timestamp); // Agrega el nuevo tiempo al eje X
            data.datasets[0].data.push(humedad); // Agrega la nueva humedad al eje Y
            grafico.update(); // Actualiza el gráfico
          } catch (error) {
            console.error("Error al obtener datos:", error); // Muestra error en la consola si falla la petición
          }
        }

        setInterval(actualizarDatos, 10000); // Llama a la función cada 10 segundos

        actualizarDatos(); // Llama a la función una vez al cargar la página
      </script>
    </body>
  </html>
)rawliteral";
  server.send(200, "text/html", html); // Envía el código HTML al navegador del cliente
});
```

Figura 4.5: Programación Sensor de Humedad Parte 3.

Fuente: Elaboración del autor



En esta última parte, configuramos para que cuando alguien (como el navegador) accede a “(IP monitor serial) /data”, el ESP32 mide la humedad, la convierte y la envía como respuesta.

Esta información puede ser usada por la página web o cualquier otro dispositivo que necesite los datos.

```
// Configuración del servidor web para responder con los datos de humedad
server.on("/data", HTTP_GET, []() { // Cuando un cliente accede a "/data"
    int humedad = leerHumedad(); // Obtiene la humedad actual
    String json = "{ \"humedad\": " + String(humedad) + " }"; // Crea un objeto JSON con la humedad
    server.send(200, "application/json", json); // Envía la respuesta con la humedad en formato JSON
});

server.begin(); // Inicia el servidor web
}

void loop() {
    server.handleClient(); // Atiende las solicitudes de los clientes
    delay(1000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente iteración
}
```

Figura 4.6: Programación Sensor de Humedad Parte 4.

Fuente: Elaboración del autor

Con este código se creará una página web que muestra en tiempo real el valor de la humedad del suelo, medido por el sensor conectado al ESP32. La página incluirá un gráfico interactivo que se actualiza cada 10 segundos, mostrando las variaciones de la humedad a lo largo del tiempo. Además, el valor de la humedad se presenta de manera destacada, cambiando de color a rojo cuando la humedad es baja ($\leq 30\%$). La página se podrá visualizar accediendo a la dirección IP del ESP32 a través de un navegador web.

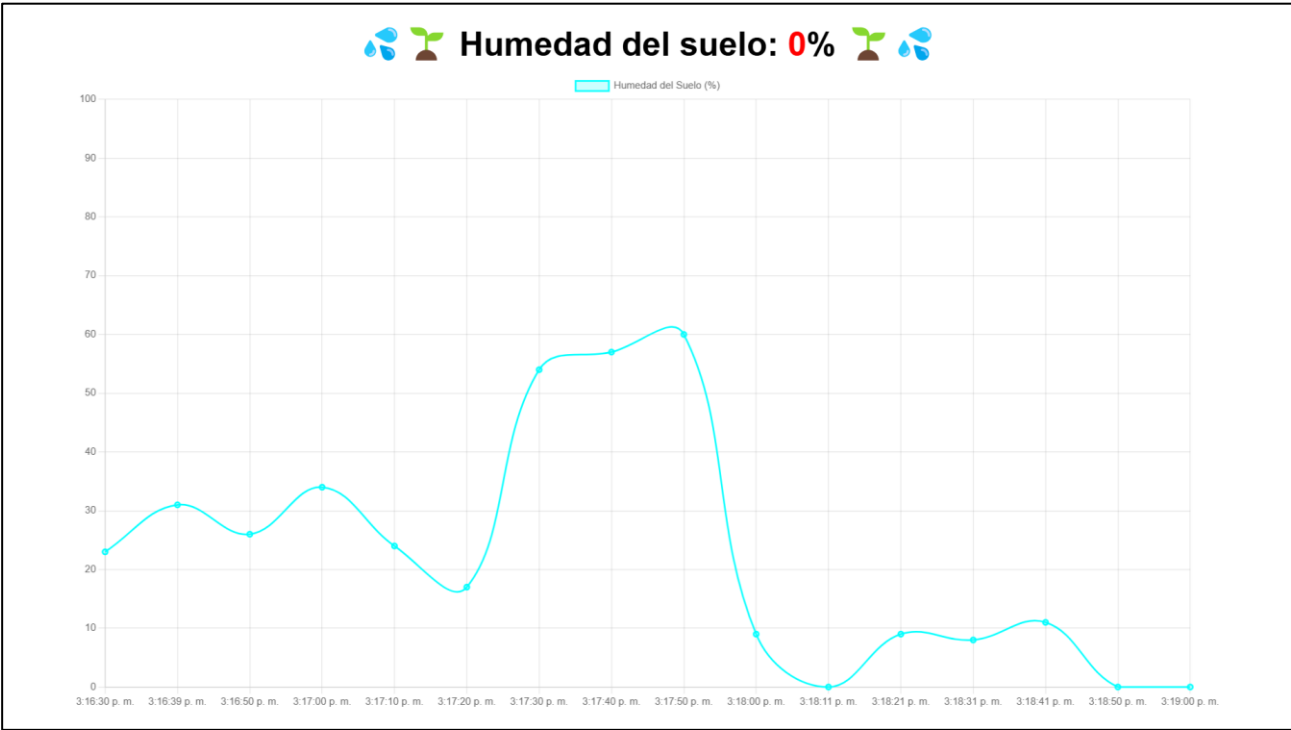


Figura 4.7: Visualización página creada humedad actual 0%.

Fuente: Elaboración del autor

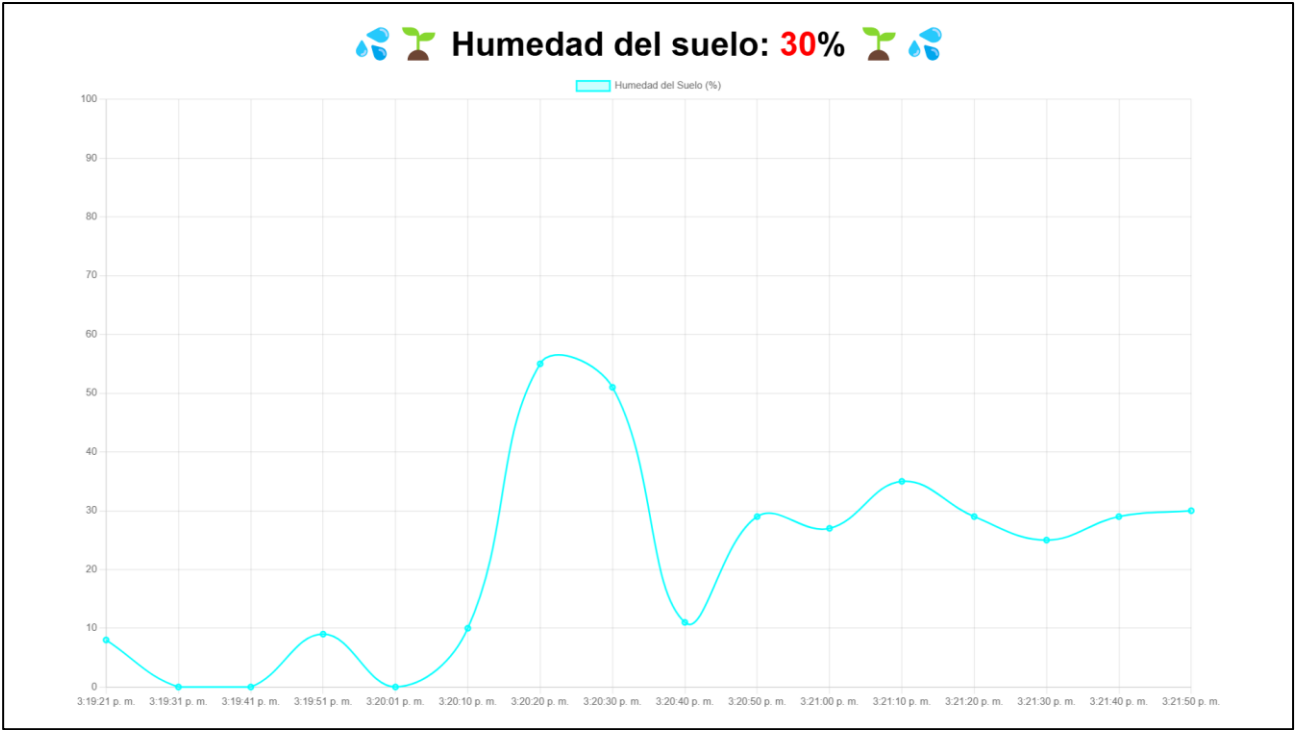


Figura 4.8: Visualización página creada humedad actual 30%.

Fuente: Elaboración del autor

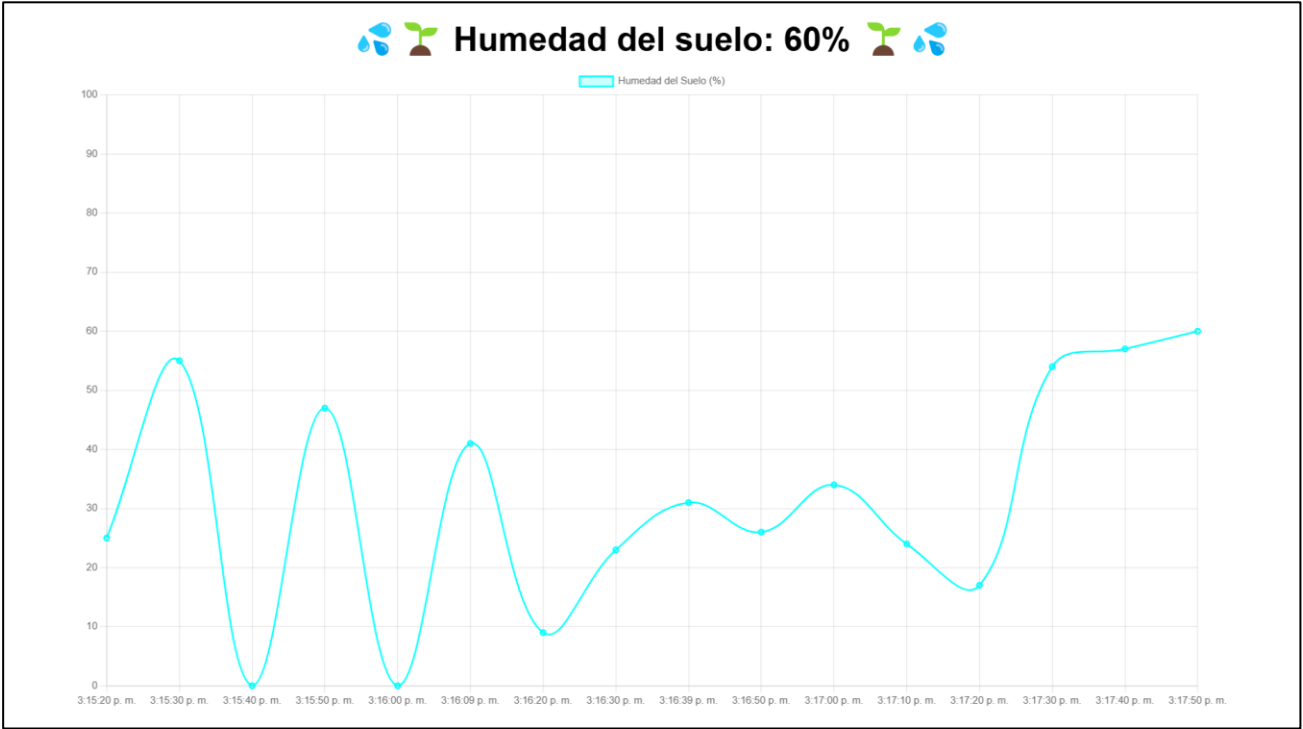


Figura 4.9: Visualización página creada humedad actual 60%.

Fuente: Elaboración del autor



4.2 PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADOR ARDUINO R4 WIFI

Para comenzar con la conexión, es necesario ingresar el nombre de la red Wi-Fi junto con su contraseña, tal como lo haríamos al conectarnos desde otro dispositivo. Este paso es esencial para acceder a los datos que se están trabajando en la red. A continuación, se debe ingresar la dirección IP proporcionada por el sensor inalámbrico. Esta IP se obtiene desde el monitor serial de la programación del sensor.

```
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>

const char* ssid = "CandiaRiquelme";      // Nombre de la red WiFi
const char* password = "wifi12345";        // Contraseña de la red WiFi
const char* esp32_ip = "192.168.100.6";    // Dirección IP del ESP32
const int relePin = 5;                     // Pin del relé

const int HUMEDAD_MINIMA = 30; // Encender la bomba si la humedad baja de este valor
const int HUMEDAD_MAXIMA = 35; // Apagar la bomba si la humedad llega a este valor

bool bombaEncendida = false; // Estado de la bomba
WiFiClient client;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(relePin, OUTPUT);
  digitalWrite(relePin, HIGH); // Apaga la bomba al inicio

  // Conectar a WiFi
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Conectando a WiFi...");
  }
  Serial.println("Conectado a WiFi");
}
```

Figura 4.10: Programación Microcontrolador Arduino Parte 1.

Fuente: Elaboración del autor

El siguiente fragmento de código muestra la conexión a la red Wi-Fi y establece una comunicación con el servidor para obtener datos de humedad. Primero verifica si el dispositivo está conectado a la red Wi-Fi y luego intenta conectarse al servidor especificado por la dirección IP. Si la conexión es exitosa, el dispositivo envía una solicitud HTTP para obtener los datos de humedad. La respuesta se recibe, y el valor de humedad se extrae de ella.



Dependiendo del valor de humedad obtenido, el sistema controla una bomba de agua conectada a un relé. Si la humedad es inferior a un umbral mínimo, la bomba se activa; si la humedad excede el umbral, la bomba se apaga. Si no se puede conectar al servidor o si la conexión Wi-Fi se pierde, se intenta reconectar.

```
void loop() {
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    if (client.connect(esp32_ip, 80)) {
      // Realizar la solicitud de datos
      client.print(String("GET /data HTTP/1.1\r\n") +
        "Host: " + esp32_ip + "\r\n" +
        "Connection: close\r\n\r\n");

      // Leer la respuesta del servidor
      String jsonResponse = "";
      while (client.connected() || client.available()) {
        if (client.available()) {
          jsonResponse = client.readStringUntil('\n');
        }
      }
      client.stop(); // Cerrar conexión

      // Extraer el valor de humedad
      if (jsonResponse.startsWith("{") {
        int humedadIndex = jsonResponse.indexOf(":");
        int humedad = jsonResponse.substring(humedadIndex + 1, jsonResponse.indexOf("}")).toInt();
        Serial.println("Humedad actual: " + String(humedad) + "%");

        // Control inmediato de la bomba
        if (humedad < HUMEDAD_MINIMA && !bombaEncendida) {
          digitalWrite(relePin, LOW); // Activa la bomba
          bombaEncendida = true;
          Serial.println("Bomba encendida INMEDIATAMENTE");
        }
        else if (humedad >= HUMEDAD_MAXIMA && bombaEncendida) {
          digitalWrite(relePin, HIGH); // Apaga la bomba
          bombaEncendida = false;
          Serial.println("Bomba apagada INMEDIATAMENTE");
        }
      }
    } else {
      Serial.println("Error al conectar con el servidor");
    }
  } else {
    Serial.println("WiFi desconectado. Intentando reconectar...");
    WiFi.begin(ssid, password);
  }
}
```

Figura 4.11: Programación Microcontrolador Arduino Parte 2.

Fuente: Elaboración del autor



4.3 VIDEO DE COMPROBACIÓN DE LA PROGRAMACION

Se presenta el video de comprobación del prototipo de sistema de riego, subido a la plataforma YouTube para facilitar su visualización y evaluación del funcionamiento en tiempo real.

Link:

<https://youtu.be/ITKuSfZ6fw>



Universidad técnica Federico Santa María
Sede Concepción – Rey Balduino de Bélgica

CONCLUSIONES DEL PROYECTO



- El sistema de riego propuesto ofrece una solución escalable para mejorar el uso del agua en la agricultura, destacándose por su capacidad de adaptarse a diferentes cultivos y condiciones ambientales mediante sensores de humedad y tecnología inalámbrica. Esta tecnología tiene un gran potencial para ser implementada en áreas afectadas por la escasez de agua, promoviendo un uso más racional y eficiente del recurso hídrico.
- La automatización del riego no solo minimiza la intervención humana, sino que también reduce el consumo de agua como lo es en el caso de este proyecto.
- El diseño del prototipo permite que el sistema sea fácilmente ampliable a superficies más grandes o adaptado a otros cultivos con diferentes requerimientos hídricos. Esta flexibilidad asegura que el sistema pueda evolucionar y seguir siendo útil conforme cambian las necesidades del sector agrícola.
- Gracias a la recolección de datos en tiempo real a través de los sensores de humedad, los agricultores pueden monitorear constantemente las condiciones del suelo. Esto les permite tomar mejores decisiones, ajustando aún más el uso del agua y favoreciendo un mejor control sobre la salud y el crecimiento de los cultivos.



REFERENCIAS LINKOGRAFICAS:

- <https://www.diariooficial.interior.gob.cl/publicaciones/2024/05/15/43851/01/2487665.pdf>
- <https://actualidadjuridica.doe.cl/mop-declara-zona-de-escasez-hidrica-la-region-de-nuble/>
- <https://wikifarmer.com/library/es/article/riego-de-uvas-y-manejo-del-agua>
- <https://www.revistacampo.es/portada-app/riego-de-la-vidnecesidades-y-criterios/>
- https://www.inforiego.org/opencms/opencms/info_tecnica/6_agronomia/index.html
- <https://agrometeorologia.cl/>
- <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/3adc02ae-9f6c-4b58-b276-3d4136ac8f91/content>
- <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/07/05/33887>
- [https://wiki.pengtools.com/index.php?title=Electrical Submersible Pump](https://wiki.pengtools.com/index.php?title=Electrical_Submersible_Pump)
- <https://comunidad.movistar.es/t5/Blog-Movisfera/A-qu%C3%A9-distancia-llega-el-WiFi-Bluetooth-NFC-o-los-infrarrojos/ba-p/4661297>
- <https://www.arduino.cc/reference/es/>