UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLOGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO CONTROLADO MEDIANTE UN MICROCONTROLADOR ARDUINO

Profesor Guía: Francisco Javier Barraza Araya

Noemí Andrea Varela Núñez

Copiapó, Chile 2025

UNIVERSIDAD DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLOGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO CONTROLADO MEDIANTE UN MICROCONTROLADOR ARDUINO

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero de Ejecución en Instrumentación y Automatización Industrial

Profesor Guía: Francisco Javier Barraza Araya

Noemí Andrea Varela Núñez

Copiapó, Chile 2025

DEDICATORIA

A mis abuelos que ya no están, pero me acompañan y guían en cada paso que doy siendo el motor de seguir superando etapas. Espero se sientan orgullosos de que otra etapa culmina de buena manera.

A mi padre que siempre me motivo y ayudo a seguir hasta lograrlo, que siempre se preocupó por cómo iba y dando ánimos cuando todo se volvía complicado. Este logro va dedicado a él que desde el minuto uno estuvo acompañando en lo que escogí.

A mi madre por siempre ayudarme y acompañarme en este proceso, preocupándose por cómo iba dando la motivación y comprensión cuando se volvía complicad. Este logro va dedicado a ella quien me enseño que todo esfuerzo tiene su recompensa.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres que cada vez que ocurría algún imprevisto me ayudaban a conseguir lo que faltaba, a responder las consultas que hacía y acompañarme durante todo el camino para llegar al último paso para terminar esta etapa.

A mi pareja que me ayudo y acompaño en cada momento que se dificulto, dándome ánimos a seguir por más complicado que se volviera, por estar para mi cuando era difícil seguir en esta etapa y buscar soluciones cuando ya no encontraba más respuestas.

ÍNDICE

CAPÍTULO I 1

INTRODUCCIÓN 1

1.1 Problemática del proyecto 1

1.2 Justificación 2

1.3 Alcance 2

1.4 Objetivo general 3

1.5 Objetivos específicos 3

CAPÍTULO II 4

MARCO TEÓRICO 4

2.1 Riego automatizado 4

2.1.1 Aspersión 4

2.1.2 Microaspersión 5

2.1.3 Goteo 6

2.1.4 Pivote central 6

2.2 Sensores 8

2.2.1 Tipos de principio de funcionamiento 8

2.2.2 Tipo de señal de salida 9

2.2.3 Tipo de variable que miden 9

2.3 Microcontroladores 11

2.3.1 Elementos internos. 11

2.3.2 Elementos externos. 11

2.3.3 Aplicaciones. 12

2.3.4 Tipos de microcontroladores. 12

2.4 IoT 13
2.4.1 Elementos fundamentales 13
2.4.2 Redes IoT 14
CAPÍTULO III 15
EVALUACIÓN DEL TERRENO Y CONECTIVIDAD. 15
3.1 Descripción general del terreno 15
3.2 Ubicación geográfica 15
3.3 Análisis dimensional del área de riego. 17
3.4 Características físicas y distribución. 18
3.5 Condiciones del suelo y comportamiento hídrico. 19
3.6 Condiciones de accesibilidad y ergonomía. 19
3.7 Disponibilidad y análisis del agua. 20
3.8 Conectividad eléctrica y operatividad del sistema. 20
CAPÍTULO IV 21
COMPONENTES REQUERIDOS PARA EL SISTEMA. 21
4.1 Elementos principales 21
4.2 Cotización 27
CAPÍTULO V 30
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA 30
5.1 Análisis de las plantas 30
5.1.1 Suculentas 30
5.1.2 Perennes 33
5.1.3 Trepadora: 35
5.2 Implementación sistema hídrico 36

CAPÍTULO VI 43
DESARROLLO OPERATIVO DEL SISTEMA 43
6.1 Programación de verificación 43
6.2 Programación final. 44
6.3 Estructura del programa 46
6.3.1 Inicio del sistema 46
6.3.2 Configuración inicial del sistema 47
6.3.3 Funcionamiento principal del sistema 48
6.3.4 Visualización de los datos en la pantalla LCD 49
CAPÍTULO VII 51
CONCLUSIÓN 51
Bibliografía 52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Aspersión 5
Figura N° 2.2: Microaspersor 5
Figura N° 2.3: Goteo 6
Figura N° 2.4: Pivote central 7
Figura N° 3.1: Georreferencia sistema piloto 16
Figura N° 3.2: Georreferencia de instalación futura 17
Figura N° 3.3:Distribución de las plantas 18
Figura N° 3.4: Vivero domiciliario 19
Figura N° 4.1: Arduino UNO 22
Figura N° 4.2: Protoboard 22
Figura N° 4.3:Sensor capacitivo v1.2 23
Figura N° 4.4: Cables Dupont macho-macho 24
Figura N° 4.5:Electroválvula solenoide 24
Figura N° 4.6: Relé 5v 25
Figura N° 4.7: Pantalla LCD 26
Figura N° 4.8: Kit de riego automatizado 26
Figura N° 5.1: Lengua de suegra 31
Figura N° 5.2: Pata de jaiba 31
Figura N° 5.3: Cola de delfín 32
Figura N° 5.4: Cola de burro 32
Figura N° 5.5: Madreperla 33
Figura N° 5.6: Mala madre 34

Figura N° 5.7: Potus 34
Figura N° 5.8: Flor de cera 35
Figura N° 5.9: Instalación de válvula 37
Figura N° 5.10: Conector para dos vías 38
Figura N° 5.11: Vía inferior 38
Figura N° 5.12: Fijación con grampa 39
Figura N° 5.13: Fijación con cáncamo 39
Figura N° 5.14: Ejemplares con goteo 40
Figura N° 5.15: Ejemplares con microaspersión 41
Figura N° 5.16: Ubicación sensor 41
Figura N° 6.1: Programación de verificación 43
Figura N° 6.2: Programación final 45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 4.1: Cotización sistema piloto 27

Tabla N° 4.2: Cotización Cabaña Guanaqueros 28

Tabla N° 5.1: Clasificación plantas 36

RESUMEN

El presente informe desarrolló e implementó un sistema de riego automatizado con el objetivo de optimizar el uso del recurso hídrico frente a la escasez de agua que afectaba a zonas rurales donde el suministro dependía de camiones aljibes. Para ello, se diseñó un sistema capaz de regular el riego de manera eficiente y automática basándose en las condiciones reales del suelo. Para verificar su funcionamiento, se ejecutó un sistema piloto en un domicilio ubicado en el sector El Palomar en Copiapó, utilizando una placa Arduino UN, un sensor capacitivo de humedad del suelo, un módulo relé y una electroválvula y un kit de riego. El sistema activó el riego únicamente cuando el nivel de humedad se encontrará bajo lo establecido. Los resultados demostraron una alta eficiencia en la regulación del recurso hídrico, evitando el riego excesivo y manteniendo niveles adecuados de humedad. Esto confirmó su viabilidad técnica y operativa, permitiendo proyectar su futura implementación en la zona rural de Guanaqueros.

El proyecto dividió en capítulos los cuales son:

- Capítulo I Introducción: Se indica los objetivos del proyecto, el alcance y la problemática.
- Capítulo II Marco Teórico: Se explica los conceptos técnicos sobre el sistema.
- Capitulo III Evaluación del Terreno y Conectividad: Se analiza el terreno de implementación y ubicación.
- Capítulo IV Componentes Requeridos del Sistema: Se describen los componentes utilizados y la cotización asociada a la implementación.
- Capítulo V Implementación del Sistema Automatizado: Se detalla el montaje, instalación y puesta en marcha del sistema.
- Capítulo VI Desarrollo Operativo del Sistema: Se diseña la programación: Se diseña la programación, lógica de control implementada.
- Capítulo VII Conclusiones: Se concluye la validación del sistema de riego, demostrando una solución tecnológica accesible.

ARDUINO – SISTEMA DE RIEGO – SENSORES DE HUMEDAD

ABSTRACT

The present report developed and implemented an automated irrigation system with the aim of optimizing water resource usage in response to water scarcity affecting rural areas where water supply depends on tanker trucks. To address this issue, a system capable of regulating irrigation efficiently and automatically based on real soil conditions was designed. To verify its operation, a pilot system was implemented at a residential location in the El Palomar sector of Copiapó, using an Arduino UNO board as the control unit, a capacitive soil moisture sensor, a relay module, a solenoid valve, and an irrigation kit. The system activated irrigation only when the soil moisture level fell below the established threshold. The results demonstrated high efficiency in water regulation, preventing excessive irrigation and maintaining adequate soil moisture levels. This confirmed the technical and operational viability of the system, allowing its future implementation to be projected in the rural area of Guanaqueros.

The project was structured into chapters as follows:

- **Chapter I Introduction:** Presents the project objectives, scope, and problem statement.
- **Chapter II Theoretical Framework:** Explains the technical concepts related to the system.
- **Chapter III Terrain and Connectivity Evaluation:** Analyzes the implementation site and its location.
- **Chapter IV Required System Components:** Describes the components used and the associated implementation cost.
- **Chapter V Automated System Implementation:** Details the assembly, installation, and commissioning of the system.
- **Chapter VI System Operational Development:** Describes the programming design and implemented control logic.
- **Chapter VII Conclusions:** Validates the irrigation system as an accessible technological solution.

ARDUINO – IRRIGATION SYSTEM – SOIL MOISTURE SENSOR

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta el contexto del proyecto, abordando el problema de la escasez hídrica en zonas rurales, los objetivos que guían el desarrollo del sistema de riego automatizado, el alcance y la justificación de la implementación del proyecto.

1.1 Problemática del proyecto

La raíz del problema que surge es la escasez hídrica que se encuentra en zonas rurales o apartadas de la ciudad, donde el acceso al agua es limitado y su uso debe ser cuidadosamente gestionado. En este caso implementar un sistema de riego automatizado beneficia a ocupar de manera eficiente este recurso, permitiendo suministrar únicamente la cantidad necesaria de agua para las plantas. Esto sería gracias a que el sistema de riego consta con sensores permitiendo obtener parámetros de humedad que se encuentren en el suelo, donde estos parámetros serán leídos y guardados en un microcontrolador Arduino UNO por consiguiente se emite una orden a una válvula a dar el paso del agua.

Los principales beneficios aparte del uso eficiente del recurso hídrico, nos permite analizar las condiciones reales del suelo y las plantas. A diferencia del riego manual que suele provocar un suministro excesivo de agua generando una saturación en el suelo, el riego automatizado evita el sobre riego favoreciendo una adecuada absorción de nutrientes y un crecimiento saludable de las plantas.

El proyecto desarrolla inicialmente como sistema piloto en un domicilio ubicado en la población El Palomar, debido a su disponibilidad de energía eléctrica y condiciones técnicas favorables. Permitiendo analizar y realizar pruebas de funcionamiento, generando una confiabilidad en el sistema para realizarlo en el sector rural mostrando evidencia audiovisual y datos reales obtenidos.

1.2 Justificación

La implementación de un sistema de riego automatizado permite optimizar el uso del recurso hídrico y mejorar el desarrollo de las plantas. En los riegos manuales es común que exista un desperdicio de agua debido al sobre riego, lo que puede provocar saturación del suelo e impedir que las plantas absorban los nutrientes de manera adecuada. Además, el riego manual puede generar incomodidad física para las personas, especialmente cuando las plantas se encuentran con difícil acceso, lo que favorece posturas inadecuadas y posibles molestias musculares. En este sentido, la automatización del riego no solo contribuye a un uso más eficiente del agua, sino también en reducir la exposición de las personas a posturas forzadas, promoviendo un manejo más seguro y cómodo del área del cultivo.

1.3 Alcance

El alcance del proyecto contempla su futura instalación en la cuarta región, específicamente en una zona rural del pueblo costero de Guanaqueros. La cabaña donde se implementará el sistema se encuentra a las afueras del centro urbano, lo que genera una escasez hídrica alta, el suministro en este sector es por camiones aljibe. Por esta razón, el proyecto considera en primera instancia el desarrollo de un sistema piloto que permite obtener datos reales de funcionamiento y demostrar los beneficios del riego automatizado junto con la inversión inicial requerida. Todo esto tiene como propósito entregar confiabilidad y seguridad en el cuidado de las plantas del entorno.

1.4 Objetivo general

Implementar un sistema automatizado de riego para vivero o huerto domiciliario controlado con un microcontrolador Arduino UNO.

1.5 Objetivos específicos

- Evaluar el estado del terreno y la red de comunicación.
- Seleccionar los elementos electrónicos necesarios para el sistema.
- Crear la estructura física y lógica del sistema, abarcando la programación e incorporación de los sensores y actuadores.
- Desarrollar el sistema en situaciones reales para confirmar su operatividad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se abordan los conceptos técnicos para comprender el funcionamiento del sistema propuesto. El principio de funcionamiento de los sistemas de riego automatizados, el uso de los sensores y los microcontroladores.

2.1 Riego automatizado

Es un sistema de riego inteligente capaz de controlar distintos factores que afecten la salud del jardín como la cantidad de agua que se deposita, el horario en que se riega, la duración y tiempo entre cada riego y el nivel de humedad. Estas funciones pueden sincronizarse para que el sistema opere de manera completamente independiente y precisa. (IRC, s.f.)

Hay distintas técnicas del riego automatizado, para determinar qué tipo de riego es factible para el sistema se realizan estudios en el terreno para garantizar que tipo de técnica se adapte mejor en el huerto. Las técnicas de riego automatizado son las siguientes:

2.1.1 Aspersión

Sistema de riego a presión (Figura N° 2.1) que implica una lluvia uniforme cuyo objetivo es la infiltración en el mismo punto donde caen las gotas, se puede irrigar extensiones más amplias. Además, permite controlar la intensidad y la frecuencia del riego.

Hay dos tipos de riegos por aspersión en sistemas convencionales (sistemas fijos y sistemas semifijos) y sistemas automecanizados.

(Agro, 2022)

Figura N° 2.1: Aspersión.

Fuente: Igua.

2.1.2 Microaspersión

Es una variante del riego por aspersión (Figura N° 2.2) que utiliza emisores para distribuir el agua en forma de pequeñas gotas sobre áreas específicas. Permite un riego localizado, lo que ayuda a mantener una humedad adecuada en el suelo. (Hernández, 2024)

Figura N° 2.2: Microaspersor.

Fuente: Vecteezy.

2.1.3 Goteo

Es un tipo de riego tecnificado que consiste en suministrar el agua en forma de gotas (Figura N° 2.3) que acceden a la zona radicular de cada planta. También permite el suministro de nutrientes a los cultivos como fertilizantes.

(Agua, 2022)

Figura N° 2.3: Goteo.

Fuente: Rootsmacaronesia.

2.1.4 Pivote central

Es un método de irrigación que involucra una extensa estructura de acero con aspersores individuales adjuntos (Figura N° 2.4). La línea principal del sistema rota alrededor de un punto central denominado “punto de pivote”. Este método es eficiente y altamente efectivo para asegurar que los cultivos reciban la humedad adecuada, es comúnmente utilizado para abarcar grandes extensiones de tierra.

(Hunter, 2023)

Figura N° 2.4: Pivote central.

Fuente: Hunterirrigation.

Ventajas de implementar un riego automático:

- Fácil instalación.
- Compatibilidad con emisores de riego.
- Optimizar tiempo y esfuerzo.
- Control de frecuencia en el riego.
- Optimización del uso del agua.
- Salud y rendimiento de los cultivos.
- Mantenimiento fácil.
- Riego programado.

La tecnología claves que implementan el sistema de riego automatizado son sensores de humedad del suelo, temporizadores automáticos y controladores automáticos. Monitorean las condiciones del suelo y el clima maximizando la eficiencia del agua.

2.2 Sensores

Es un dispositivo que detecta y responde a algún estímulo del entorno físico. Este estímulo puede ser luz, calor, humedad o cualquier otro fenómeno ambiental. La salida suele ser una señal que se convierte en una pantalla legible al usuario o se transmite electrónicamente a través de una red para su lectura. (Sheldon, 2022)

Los sensores tienen un rol fundamental en el internet de las cosas (IoT), permitiendo recopilar y procesar los datos sobre un entorno específico, facilitando su monitoreo, gestión y control. Se utilizan en hogares, exteriores, automóviles y otros ámbitos.

Existen distintas formas de clasificar los tipos de sensores según su principio de funcionamiento, tipo de señal de salida, rango de valores de salida, nivel de integración, tipo de variable medida, entre otros.

2.2.1 Tipos de principio de funcionamiento

En esta categoría existen dos tipos de sensores los cuales son activos o pasivos.

- **Activos:** requiere una fuente de alimentación externa para responder a las señales ambientales y generar una señal de salida. Ejemplo: sensores utilizados en satélites meteorológicos.

- **Pasivos:** no requieren de una fuente de alimentación externa para detectar estímulos ambientales. Se alimenta utilizando fuentes como la luz o la energía térmica. Ejemplo un termómetro de mercurio.

Hay algunos tipos como los sensores de luz infrarroja y los sísmicos que están disponibles tanto en pasivos como activos, dependerá en el entorno que se instalara lo que determina cual es el más adecuado. (Sheldon, 2022)

2.2.2 Tipo de señal de salida

Otra forma de clasifica los sensores es dependiendo el tipo de señal de salida que generan, pueden ser analógicos o digitales.

- **Analógicos:** produce una señal de salida continua que varía en proporción directa a la variable que está midiendo. Puede tomar cualquier valor dentro de un rango en específico y representar mediante una forma de onda continua. Ejemplo los termopares.

- **Digítales:** produce una señal de salida discreta que representa valores específicos. Solo puede tomar valores discretos, generalmente en forma de códigos binarios. Ejemplo sensores de proximidad. (Alex, 2024)

2.2.3 Tipo de variable que miden

Se pueden clasificar según la variable que miden, es una de las formas donde su clasificación es más generalizada. Los sensores puedes ser clasificados como:

- **Sensores de frecuencia de luz:** perciben impulsos lumínicos y decodificar la intensidad de frecuencia, dando como resultado un parámetro que puede contrastarse en una escala ayudando a detectar el color. Suelen ser denominados sensores de color.

- **Sensores de presión:** determinan el nivel de presión que ejerce un fluido dentro de un espacio definido.

- **Sensores de distancia:** permite medir cuánto espacio separa un punto de otro.

- **Sensores de humedad:** permiten medir la temperatura y la cantidad de humedad relativa en el aire.

- **Sensores de luz:** capaz de percibir la luz ambiental y reaccionar a ella con un impulso eléctrico que varía dependiendo de la intensidad de la luz que ha detectado.

- **Sensores magnéticos:** pueden detectar campos magnéticos dentro de un área sensible, convirtiendo dichos datos en impulsos eléctricos.

- **Sensores ópticos:** permiten "ver" determinados objetos y transformar esta respuesta visual a un impulso eléctrico. No poseen una visión convencional, si no que perciben un haz de luz constante que al ser interrumpido genera un estímulo medible.

- **Sensores de proximidad:** ayudan a detectar la presencia de un objeto y su cercanía con el punto de referencia.

- **Sensores de sonido:** reciben ondas acústicas en el ambiente producto de las ondas mecánicas que se generan a partir de las oscilaciones. Convierte estas perturbaciones en impulsos eléctricos.

- **Sensores de posición:** permiten medir la posición lineal o angular de un objeto con respecto a un plano, para transformarla en una señal eléctrica que puede ser interpretada por un sistema mayor.

- **Sensores de temperatura:** ayudan a medir la diferencia calórica que existe entre un punto de referencia y el campo que se está midiendo.

- **Sensores de velocidad:** ayudan a detectar el lapso de tiempo que existe entre los cambios de posición de un objeto. Miden la velocidad de un cuerpo en relación a un punto de referencia. (Robotics, 2022)

2.3 Microcontroladores

Es un pequeño dispositivo electrónico que integra un procesador, memoria y periféricos de entrada/salida en un solo chip. Ejecutan programas almacenados en su memoria para controlar diferentes dispositivos y sistemas. (Incel, 2024)

2.3.1 Elementos internos.

Los elementos internos de un microcontrolador son las partes integradas dentro del chip que permiten su funcionamiento:

- Unidad Central de Procesamiento (CPU): es el núcleo y el encargado de llevar a cabo las operaciones definidas por el programa almacenado en la memoria.
- Memoria: cuenta con dos tipos de memoria, la memoria RAM y la memoria ROM, cada una de ellas encargada de una tarea en específico.
- RAM: almacena temporalmente los datos con los que trabaja el programa.
- ROM: se utiliza para almacenar de manera permanente el programa que debe ejecutar el microcontrolador.
- Oscilador: produce impulsos a una frecuencia determinada para sincronizar todas las funciones internas.

2.3.2 Elementos externos.

Elementos externos del microcontrolador son componentes y dispositivos que se conectan desde afuera de su encapsulado y permiten la comunicación con el entorno externo:

- Interfaz de comunicación: posibilitan la conexión y la comunicación con otros dispositivos, como UART, SPI, I2C, USB, etc.
- Periféricos de entrada/salida (E/S): permiten la interacción del microcontrolador con el mundo exterior.

- ❖ Temporizadores y contadores: se utilizan para medir el tiempo y contar eventos.
- ❖ Convertidores analógico-digitales (ADC) y digitales-analógicos (DAC): facilitan la transformación de señales analógicas a digitales y resultan fundamentales en aplicaciones que involucran la medición de sensores y el control de actuadores. (Europea, 2024)

2.3.3 Aplicaciones.

Algunas aplicaciones de los microcontroladores pueden ser en:

- Sistemas de automoción y transporte.
- Dispositivos para viviendas y edificios inteligentes.
- Automatización y fabricación industrial.
- Equipamiento médico y sanitario.
- Agricultura y vigilancia medioambiental.

2.3.4 Tipos de microcontroladores.

Existen varios tipos de microcontroladores, cada uno adecuados para diferentes aplicaciones y niveles de complejidad:

- ❖ Microcontrolador de 8 Bits: son los más básicos y se utilizan en aplicaciones simples como controles remotos y juguetes electrónicos.
- ❖ Microcontrolador de 16 Bits: ofrecen más potencia y capacidad de procesamiento, ya que se usan en aplicaciones más complejas como sistemas de audio y control de electrodomésticos.
- ❖ Microcontrolador de 32 Bits: son más avanzados y potentes, adecuado para aplicaciones que requieren procesamiento intensivo de datos, como sistemas automotrices y dispositivos IoT.

(Electrónica, 2022)

2.4 IoT

Es una red de dispositivos interconectados que intercambian datos con otros dispositivos IoT y la nube. Los dispositivos IoT suelen incorporar tecnologías como sensores y software y pueden incluir maquinas mecánicas y digitales, así como objetos de consumo.

Los sistemas IoT funcionan recopilando datos de sensores integrados en dispositivos IoT, que luego se transmiten a través de una puerta de enlace IoT para su análisis por una aplicación o sistema de servidor.

2.4.1 Elementos fundamentales

Para que un ecosistema IoT funcione debe incorporar los siguientes cuatro elementos:

Sensores o dispositivos: consta de dispositivos inteligentes conectados a internet que utilizan sistemas integrados (procesadores, sensores y hardware de comunicación) para recopilar, enviar y actuar sobre los datos adquiridos de sus entornos.

Conectividad: pueden comunicarse entre sí a través de una red en internet. Estos dispositivos comparten datos de sensores conectándose a una puerta de enlace IoT, que actúa como centro de distribución central donde los dispositivos pueden enviar datos. Antes de compartir los datos, estos también pueden enviarse a un dispositivo periférico donde se analizan localmente.

Análisis de datos: solo se utilizan los datos relevantes para identificar patrones, ofrecer recomendaciones e identificar posibles problemas antes de que se agraven. El análisis local de datos reduce el volumen de datos enviados a la nube, lo que minimiza el consumo de ancho de banda.

El IoT también puede utilizar inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (ML) para hacer que los procesos de recopilación de datos sean más fáciles y dinámicos.

Interfaz gráfica de usuario (IU): se utiliza habitualmente para gestionar dispositivos IoT. (Yasar, 2025)

2.4.2 Redes IoT

Ejemplos de redes IoT en acción:

- Hogares inteligentes: se pueden usar para monitorear y controlar la iluminación, climatización, sistemas de seguridad, electrodomésticos, entre otros.
- Redes inteligentes: combinadas con IA y tecnología de analíticas avanzadas, las redes inteligentes usan soluciones de IoT para facilitar la integración de tecnología con el fin de ayudar a los consumidores a mejorar el racionamiento y comprender su uso de energía.
- Ciudades inteligentes: usando sensores, medidores y otros dispositivos de IoT, los planificadores urbanos pueden monitorear y recopilar datos para abordar los problemas de manera proactiva.
- Autos conectados: los sistemas avanzados de asistencia a conductores (ADAS) que usan tecnología IoT ayuda a evitar colisiones, planificar rutas, entrar en espacios estrechos y mucho más.
- IoT en comercio minorista: cámaras inteligentes activadas por movimiento, estanterías inteligentes, beacons y tecnología de RFID pueden ayudar a los compradores a localizar artículos a través de una app móvil, esas cosas facilitan compartir la información sobre stock e incluso le envían al cliente promociones en contexto mientras está buscando en la tienda.
- Telemedicina: relojes inteligentes y dispensadores de medicación ayudan a los profesionales a monitorear a los pacientes de forma remota.
- Gestión del tránsito: a través de una red de sensores, cámaras y otros dispositivos se pueden usar para reducir la congestión del tránsito y ayudar a brindar opciones viables de nuevas rutas.

(SAP, s.f.)

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DEL TERRENO Y CONECTIVIDAD.

Este capítulo describe las características del terreno donde se realizó la implementación del sistema piloto, considerando aspectos geográficos, climáticos y distribución de las plantas evaluando la conectividad eléctrica y disponibilidad de agua. Asimismo, se incluye la proyección de la futura implementación del sistema en una zona rural con mayores limitaciones de abastecimiento.

3.1 Descripción general del terreno

El análisis del terreno se desarrolló como una etapa fundamental para la correcta implementación del sistema de riego, ya que permitió evaluar las condiciones físicas, técnicas y operativas necesarias para su funcionamiento. El sistema se implementó inicialmente como un proyecto piloto en un antejardín perteneciente a una vivienda ubicada en el sector El Palomar en la ciudad de Copiapó, seleccionado por presentar condiciones favorables para la realización de pruebas controladas.

El terreno correspondió a un espacio destinado al cultivo de distintas especies, con una distribución relativamente concentradas. Esta característica facilitó la cobertura del sistema de riego y permite evaluar el desempeño en un entorno real.

3.2 Ubicación geográfica

El sistema piloto que se ubicó en el domicilio ubicado en el pasaje Salitrera Bellavista (Figura N° 3.1) que presentó características climáticas propias de una zona semiárida, donde el uso eficiente del recurso hídrico es relevante. La elección permitió desarrollar el sistema en un entorno representativo, pero con acceso a servicios básicos como red

eléctrica y red de agua potable, lo que facilitó la ejecución de pruebas controladas y la validación del funcionamiento del sistema.

La cercanía del área de implementación a la vivienda permitió realizar un monitoreo constante del sistema, como también ajustes en los parámetros de funcionamiento. Además, la accesibilidad del terreno favoreciendo la instalación de los componentes y la obtención de datos reales de desempeño, sin interferencias externas que pudieran afectar los resultados.

Figura N° 3.1: Georreferencia sistema piloto.

Fuente: My Maps.

La futura instalación del sistema de riego automatizado se proyecta en la Región de Coquimbo, específicamente en la localidad costera Guanaqueros (Figura N° 3.2). Este sector fue seleccionado debido a que la cabaña donde se pretende implementar el sistema se encuentra alejado del centro del pueblo y no consta con agua potable generando una mayor dificultad para el riego del entorno, ya que el suministro de agua es limitado y depende de fuentes externas.

Debido a esta situación se vuelve necesario el desarrollo de soluciones que permitan optimizar el uso del recurso hídrico mediante un sistema de riego que permita el control eficiente del agua, asegurando el correcto cuidado de las plantas y una administración responsable del recurso.

Figura N° 3.2: Georreferencia de instalación futura.

Fuente: My Maps.

3.3 Análisis dimensional del área de riego.

Para poder identificar las dimensiones de la plantación se consideraron las dimensiones totales del terreno, las cuales correspondieron aproximadamente a 25 metros de largo y 20 metros de ancho. Posteriormente se realizó una representación mediante la herramienta My Maps, donde la segmentación marcada de color negro (Figura N° 3.3) simboliza el área destinada al sembradío de las plantas ubicadas en la cabaña.

A partir de esta representación se determinó que la plantación presenta aproximadamente 100 metros lineales, considerando que son 50 metros al costado inferior y 30 metros al costado superior del perímetro, además de una cantidad adicional de plantas

ubicadas en el sector adyacente de la cabaña. Esta información permitió dimensionar de manera adecuada la longitud del sistema de riego y determinar la longitud necesaria de mangueras.

Figura N° 3.3:Distribución de las plantas.

Fuente: My Maps.

3.4 Características físicas y distribución.

El terreno presenta una superficie regular lo que facilitó la instalación del sistema de riego y la disposición de los componentes. La distribución de las plantas se concentra mayoritariamente en un mismo sector (Figura N°3.4), lo que permitió abarcar una mayor cantidad de especies en una sola red de riego optimizando la eficiencia del sistema.

Esta disposición favoreció la ubicación estratégica del sensor de humedad del suelo, permitiendo obtener mediciones representativas del estado hídrico del terreno y asegurando una correcta toma de decisiones por parte del sistema automatizado.

Figura N° 3.4: Vivero domiciliario.

Fuente: Propia.

3.5 Condiciones del suelo y comportamiento hídrico.

El suelo del terreno presentó características adecuadas para la implementación del sistema de riego automatizado permitiendo una adecuada infiltración del agua y evitando acumulaciones excesivas. Estas condiciones resultaron fundamentales para el correcto funcionamiento del sensor capacitivo de humedad del suelo entregando información confiable.

La medición constante de la humedad del suelo permitió ajustar el riego de acuerdo a las necesidades reales de las plantas evitando el riego excesivo y contribuyendo a una gestión eficiente del recurso del agua.

3.6 Condiciones de accesibilidad y ergonomía.

El área seleccionada correspondió a un sector de difícil acceso para el riego manual ya que se encuentra ubicado el espacio para resguardar el vehículo y con plantas colgantes. Debido a esta condición obliga a las personas adoptar posturas incomodad durante el riego lo que puede generar molestias físicas y un control deficiente del riego.

La implementación del sistema de riego permitió reducir la intervención manual mejorando su ergonomía de la persona que riega las plantas y asegurar un suministro de agua adecuado incluso en zonas de acceso limitado.

3.7 Disponibilidad y análisis del agua.

El terreno piloto contó con acceso a red de agua lo que permitió alimentar el sistema de riego de forma continua. El punto de conexión seleccionado permitió trabajar de forma segura y controlada, facilitando la instalación de la electroválvula y la distribución del agua hacia el sistema de riego.

El análisis del recurso hídrico resulto fundamental para evaluar la eficiencia del sistema permitiendo demostrar que fue posible mantener niveles adecuados de humedad.

3.8 Conectividad eléctrica y operatividad del sistema.

La disponibilidad de red eléctrica en el terreno permitió alimentar de manera estable el microcontrolador Arduino UNO y los componentes asociados asegurando un funcionamiento continuo del sistema. Esta conectividad resulto clave para la validación del sistema piloto.

La estabilidad del suministro garantizó el correcto funcionamiento de la programación y de los dispositivos de control evitando interrupciones que pudieran afectar el desempeño del sistema.

CAPÍTULO IV

COMPONENTES REQUERIDOS PARA EL SISTEMA.

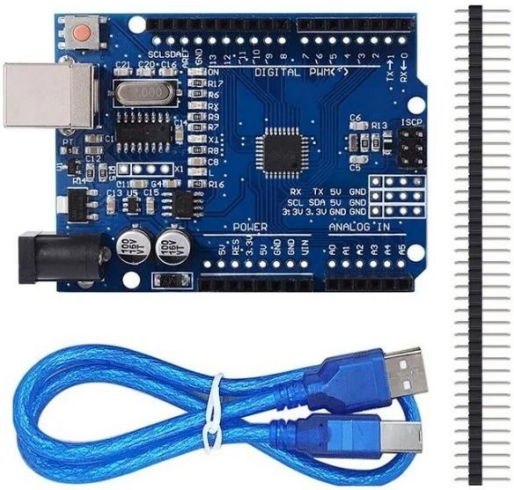
En este capítulo se detallan los componentes necesarios para conformar el sistema de riego automatizado, explicando además la función que cumple cada componente y la justificación de su selección. También se presenta la cotización asociada al proyecto piloto y su proyección.

4.1 Elementos principales

Para llevar a cabo el sistema de riego automatizado fue necesario seleccionar los componentes electrónicos requeridos para el correcto funcionamiento. Uno de los elementos fundamentales es el microcontrolador, el cual se encarga de ejecutar la lógica de control del sistema. En este proyecto se utilizó un Arduino UNO (Figura N° 4.1), debido a su facilidad de programación, estabilidad de operación y ampla compatibilidad de los componentes.

La placa Arduino UNO permite asignar y coordinar las tareas del sistema. Además, consta con su propio cable de comunicación USB que facilita tanto la cargar del programa como la alimentación eléctrica durante el funcionamiento del sistema.

Figura N° 4.1: Arduino UNO.

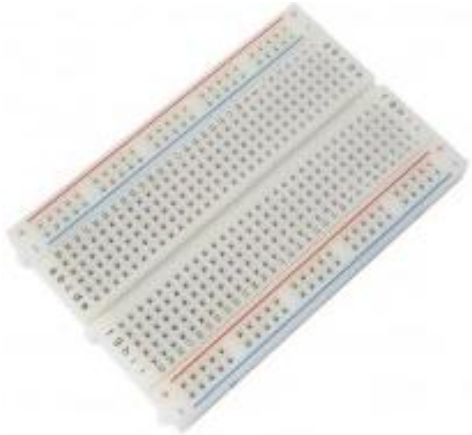


. Fuente: Afel.

Para la organización y montaje de los componentes electrónicos, así como para la fijación del Arduino se utilizó un protoboard de tamaño mediano, este elemento permitió de manera más ordenada y compacta, facilitando la distribución de las conexiones eléctricas y mejorando la percepción visual del sistema.

El uso del protoboard (Figura N° 4.2) permitió también agrupar de manera eficiente las líneas de alimentación y tierra (GND) de cada componente, asegurando una correcta distribución de los voltajes y reduciendo el riego de conexiones incorrectas.

Figura N° 4.2: Protoboard.



Fuente: Altronics.

El sensor utilizado en el sistema corresponde al modelo “Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2” (Figura N°4.3), el cual permitió determinar la humedad presente en el suelo entregando información sobre el porcentaje de agua que se encuentra. Este sensor funciona bajo el principio de la capacitancia detectando variaciones eléctricas producidas por la cantidad de humedad existente en la tierra lo que permite obtener mediciones de forma indirecta y confiable.

Al ser conectado al microcontrolador Arduino UNO, los datos entregados por el sensor son procesados y visualizados, lo que permite al sistema tomar decisiones respecto a la activación o desactivación del riego.

Uno de los beneficios de este tipo de sensor es que posee un diseño anticorrosivo, lo que otorga una mayor durabilidad. Esta característica lo convirtió en una alternativa más confiable y viable al momento de la implementación del sistema.

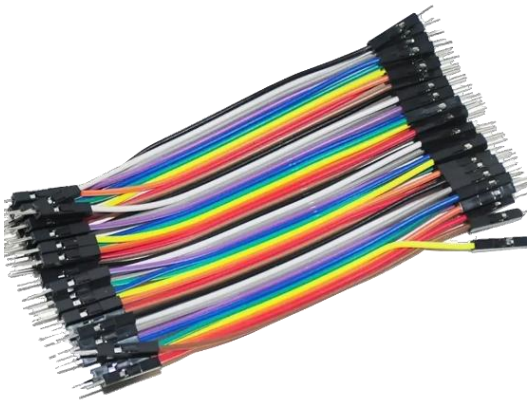
Figura N° 4.3:Sensor capacitivo v1.2.

Fuente: Altronics.

Para la conexión del sensor y demás componentes al microcontrolador se utilizaron cables Dupont (Figura N°4.4) de dos medidas, 10 cm y 20 cm de largo, según las necesidades dentro del sistema se emplearon cables de tipo macho – macho y macho – hembra, lo que permitió realizar la conexión adecuada entre el sensor, el protoboard, el relé, la electroválvula y el Arduino UNO.

El uso de este tipo de cables facilito el montaje del circuito, lo cual permitió una correcta organización de las conexiones. Asimismo, aseguro una adecuada transmisión de señales y alimentación eléctrica entre los distintos componentes.

Figura N° 4.4: Cables Dupont macho-macho.

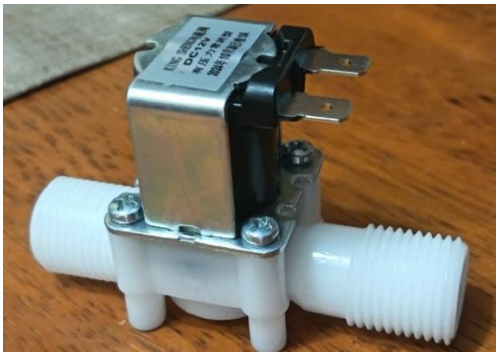


Fuente: MCI Electronics.

Uno de los componentes fundamentales para el funcionamiento del sistema es la electroválvula solenoide de 12v (Figura N° 4.5), la cual cumple la función de permitir o interrumpir el paso del flujo de agua hacia el sistema de riego. Este tipo de electroválvula es normalmente cerrada lo que significa que en ausencia de energía eléctrica el flujo del agua permanece bloqueado.

Cuando la electroválvula se energiza mediante la señal de control enviada por el Arduino UNO a través del módulo relé, esta se abre y permite el paso del agua hacia la red de riego posibilitando así la activación automática del sistema. Este mecanismo garantiza un control preciso del suministro hídrico contribuyendo a un uso eficiente del recurso y evitando el riego innecesario.

Figura N° 4.5:Electroválvula solenoide.



Fuente: Propia.

Debido a que la electroválvula opera un voltaje superior al que puede entregar el Arduino fue necesario aplicar un relé (Figura N° 4.6) que cumple la función de actuar como un interruptor para dar el paso de la electroválvula, permitiendo abrir o cerrar el circuito de alimentación sin que exista un contacto directo entre ambos sistemas. Esto asegurando que el microcontrolador no sufra posibles sobrecargas o cortocircuitos.

Figura N° 4.6: Relé 5v.

Fuente: Altronics.

Adicionalmente se incorporó una pantalla LCD (Figura N°4.7) al sistema, donde permite visualizar en tiempo real el porcentaje de humedad presente en el suelo. El valor es entregado por el sensor e indicara el estado de funcionamiento de la electroválvula, informando si esta se encuentra abierta o cerrada dependiendo del parámetro de porcentaje que se le designo a la planta.

La integración de la pantalla LCD facilita el monitoreo del sistema sin la necesidad de utilizar un computador externo, permitiendo al usuario conocer de manera inmediata las condiciones del suelo y el estado del riego. De esta forma se mejora la supervisión, el control y la confiabilidad del sistema de riego automatizado.

Figura N° 4.7: Pantalla LCD.

Fuente: Ukrabot.

Finalmente, se incorporó un kit de riego (Figura N° 4.8), en cual consta de una manguera de 40 mts de longitud permitiendo abarcar de manera eficiente y segura el área destinada al riego de las plantas. Este kit incluye diversos accesorios, tales como goteros, micro aspersores, estacas para asegurar la manguera al suelo, tapones de término de línea y conectores para otorgar mayor versatilidad en el posicionamiento y distribución del sistema.

Figura N° 4.8: Kit de riego automatizado.

Fuente: Whenua.

4.2 Cotización

Se realizó la cotización de los implementos adquiridos con el objetivo de reflejar el presupuesto de implementación del sistema de riego piloto. A partir del análisis económico se determinó que el gasto inicial no es alto, lo cual resulta altamente beneficioso ya que lo convierte en un sistema accesible para la mayoría de las personas, debido a esto es posible obtener un sistema de calidad con componentes que se pueden encontrar en el mercado general.

Gracias a la cotización realizada del sistema piloto (Tabla N° 4.1), es posible establecer con claridad que al momento de implementar el sistema a futuro seguirá siendo una inversión de bajo costo. No obstante, el valor podrá variar considerando que el área a cubrir será mucho más grande, por esta razón será necesario adquirir un kit de riego de mayor extensión con el fin de cubrir el área en su totalidad y abastecer adecuadamente la cantidad de plantas existentes.

Tabla N° 4.1: Cotización sistema piloto.

Elementos	Precio	Cantidad	Total
Arduino uno	$12.900	1	$12.900
Pantalla LCD 16x2 i2c	$8.990	1	$8.990
Sensor capacitivo de humedad del suelo	$5.390	1	$5.390
Pack cables dupont 10 cms	$5.990	1	$5.990
Cables dupont 20 cms	$100	20	$2.000
Kit de riego automatizado por goteo	$9.790	1	$9.790
Electrovalvula Válvula solenoide 12v	$8.590	1	$8.590
Modulo Réle 5v	$3.490	1	$3.490
Protoboard	$2.500	1	$2.500
		Total inversión	$59.640

Fuente: Propia Excel.

Algunos de los componentes del sistema fueron adquiridos a través del comercio virtual Mercado Libre, debido a que esta plataforma ofrece una amplia variedad de productos y rangos de precios, permitiendo seleccionar aquellos componentes que cumplían con las especificaciones técnicas previamente analizadas. En este proveedor se adquirió el sensor capacitivo de humedad del suelo, pack cables Dupont de 10 cm, kit de riego y la electroválvula. Por otra parte, los componentes Arduino UNO, pantalla LCD, módulo relé fueron adquiridos en la tienda Vicencio Electrónica SPA, mientras que los cables Dupont de 20 cm y el protoboard fueron comprados en el local Electrónica Droguett.

Los componentes fueron adquiridos en diferentes fechas, en mercado libre con fecha 11-11-2025, en el comercio electrónica Vicencio con fecha 14-11-2025 y electrónica Droguett con fecha 05-10-2025.

Finalmente, al realizar una cotización para la futura instalación del sistema en la cabaña ubicada en Guanaqueros (Tabla N° 4.2), considerando los componentes utilizados en el sistema piloto y la mayor distancia que cubrir con el sistema, se estimó que el costo total no supera los 100.000 pesos, siendo así todavía un sistema económico de implementar.

Tabla N° 4.2: Cotización Cabaña Guanaqueros.

Elementos	Precio	Cantidad	Total
Arduino uno	$12.900	1	$12.900
Pantalla LCD 16x2 i2c	$8.990	1	$8.990
Sensor capacitivo de humedad del suelo	$5.390	2	$10.780
Pack cables dupont 10 cms	$5.990	1	$5.990
Cables dupont 20 cms	$100	26	$2.600
Kit de riego automatizado por goteo	$8.990	3	$26.970
Electrovalvula Válvula solenoide 12v	$8.590	1	$8.590
Modulo Réle 5v	$3.490	1	$3.490
Protoboard	$2.500	1	$2.500
		Total inversión	$82.810

Fuente: Propia Excel.

Debido a que es un sector proyectado para la instalación definitiva del sistema de riego corresponde a un área más amplia y con una mayor cantidad de cantidad de plantas fue necesario aumentar tanto la cantidad en el sensor de humedad como en el kit de riego. Dado que aproximadamente el área de riego es de 100 metros lineales y el kit abarca solo 40 metros, por lo que se optó por la adquisición de tres kits alcanzando un total de 120 metros de cobertura, lo cual permite una adecuada distribución del riego en todo el terreno.

Asimismo, la cantidad de sensores aumento a dos unidades, con el objetivo de obtener mediciones representativas de los distintos sectores de plantación, permitiendo un control más preciso en las condiciones del suelo en ambos costados del área de riego. Finalmente, se incrementa la cantidad de cables Dupont, con el fin de facilitar las conexiones necesarias entre los distintos componentes.

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Este capítulo expone el proceso de montaje y puesta en marcha del sistema, describiendo las conexiones realizadas y disposición del sistema en el terreno.

5.1 Análisis de las plantas

Para saber en qué porcentaje de humedad debe tener el sensor de humedad, se investigó los tipos de plantas y necesidades que se debía cumplir para su optimo funcionamiento y riego.

Lo primero es reconocer que tipos de plantas se encuentran en el lugar, en este caso tenemos 3 tipos los que son:

5.1.1 Suculentas

Encontramos 5 ejemplares dentro de este tipo de plantas, dentro de esta al ser de tipo suculentas son frágiles al porcentaje de humedad que debe encontrarse en la tierra, lo cual es un rango ideal entre un 20 a 30% de humedad, el máximo que puede haber en la tierra es de un 35% ya que si se supera de manera constante este porcentaje la planta pueda sufrir alguna enfermedad o dificultad en su crecimiento. Los ejemplares son:

- Lengua de suegra: su nombre científico es Dracaena trifasciata, se le designo el nombre de lengua de suegra (Figura N° 5.1) coloquialmente para reconocer a la planta debido a la forma de esta. También puede ser conocida como lengua de tigre o espada de San Jorge.

Figura N° 5.1: Lengua de suegra.

Fuente 1: Revistaad.

- Pata de jaiba (Figura N° 5.2): su nombre científico es Schlumbergera truncata y se le designo su nombre coloquial se debe porque las puntas que salen de las hojas dan la impresión o similitud a las de este animal y es con el nombre que lo venden en los viveros, también son llamados cactus de navidad.

Figura N° 5.3: Pata de jaiba.

Fuente: Gastrolabweb.

- Cola de delfín (Figura N° 5.4): su nombre científico es Senecio Peregrinus, su forma coloquial de llamarlo se debe a la peculiaridad de la forma de sus hojas que son como pequeños delfines.

Figura N° 5.5: Cola de delfín.

Fuente: Etsy.

- Cola de burro (Figura N° 5.4): su nombre científico es Sedum Morganianum, su forma coloquial se debe a que sus ramas caídas y carnosas hace recordar a la cola de un burro pequeño.

Figura N° 5.6: Cola de burro.

Fuente: Plantme.

- Madreperla: su nombre científico es Graptopetalum paraguayense, el nombre de madreperla (Figura N° 5.5) se debe a su característica textura y color que tiene un brillo nacarado y perlado en sus hojas.

Figura N° 5.7: Madreperla.

Fuente: Ecologiaverde.

5.1.2 Perennes

Encontramos 2 ejemplares de este tipo, toleran un porcentaje de agua más elevado para poder crecer de mejor manera, lo cual el rango de este tipo es idealmente entre un 40 a 60% de humedad del suelo, con un máximo de humedad de 65% para no sobre hidratar la planta. Los nombres de los ejemplares son:

- Mala madre: su nombre científico es Chlorophytum comosum, el nombre coloquial mala madre (Figura N° 5.6) se debe que la peculiaridad de esta planta que sus plántulas que produce y expulsa cuelgan de sus hojas y caen al suelo para crecer de forma independiente.

Figura N° 5.8: Mala madre.

Fuente: Admagazine.

- Potus: su nombre científico es Epipremnum aureum, su nombre Potus (Figuras N° 5.7) se debe a un error al clasificar la planta en el género Pothos que antiguamente estaba clasificado.

Figura N° 5.9: Potus.

Fuente: Eureka-farms.

5.1.3 Trepadora:

Encontramos un ejemplar de este tipo de clasificación, al ser de tipo trepadora su porcentaje de humedad ideal para este tipo es de entre 50 a 70 % en el suelo, con un máximo de 75 % para que la planta no sufra de algún tipo de malestar o complicaciones. El ejemplar que se encontró se llama:

- Flor de cera: su nombre científico es Hoya Carnosa y el por qué se le dice flor de cera (Figura N° 5.8) de manera informal es debido a la floración de esta planta que da el parentesco de la textura de la cera y porcelana que resalta de ella, por lo cual otra forma informal de llamarla es flor de porcelana.

Figura N° 5.10: Flor de cera.

Fuente: Hola.

Una vez identificados los ejemplares en la zona a distribuir el sistema y la cantidad que hay de cada uno de ellos se logra clasificar de mejor manera el tipo de riego (Tabla N°5.1) que se debe implementar, ya que al contar con un solo sensor y haber una variación de especies se realiza un sistema de riego mixto equiparando las ventajas de estos. Lo cual en las suculentas se utilizará riego por goteo para cuidar de estas plantas que son más sensibles y mientras que en los otros tipos se utilizara riego por microaspersión ya que tiene un mayor porcentaje que se debe cumplir para su crecimiento.

Tabla N° 5.1: Clasificación plantas.

Ejemplares	Tipo de planta	Humedad ideal	Tipo de riego
Mala madre	Perennes	40 - 60%	Microaspersión
Pata de jaiba	Suculenta	20 - 30%	Goteo
Flor de cera	Trepadora	50 - 70%	Microaspersión
Cola de delfín	Suculenta	20 - 30%	Goteo
Cola de burro	Suculenta	20 - 30%	Goteo
Potus	Perennes	40 - 60%	Microaspersión
Madreperla	Suculenta	20 - 30%	Goteo
Lengua de suegra	Suculenta	20 - 30%	Goteo

Fuente: Propia Excel.

5.2 Implementación sistema hídrico

Analizamos el punto de abastecimiento del agua más conveniente para poder situar la red del sistema de riego en donde se escoge el punto de red que está situado en la cañería de agua fría del calefont, esto porque permite trabajar de forma segura y cómoda. Donde para dar inicio a la red del sistema se corta la cañería debido a que estaba previamente soldada, para posteriormente implementar una Tee de cobre, esto para distribuir en dos vías el paso de agua, una de las vías que siga el curso hacia el calefont de manera independiente, mientras que desde la otra vía se ubica una extensión de cobre para instalar la válvula (Figura N° 5.9), para asegurar de que no quede alguna filtración en las dos vías se suelda con estaño y se realiza una prueba para presenciar ya asegurar que no hayan fugas.

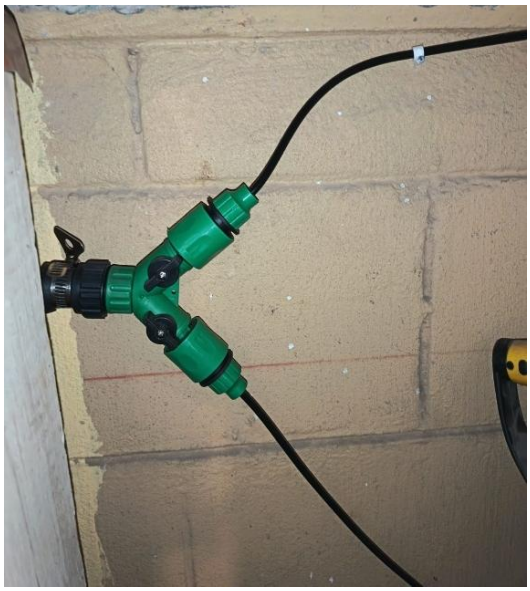
Figura N° 5.11: Instalación de válvula.

Fuente: Propia.

Para alimentar a la válvula el punto que se utilizo fue accesible ya que estaba situado cerca de un punto de corriente donde se conecta el transformador para alimentar a la válvula y relé, además poder alimentar el Arduino.

Se instala un conector que viene con el kit de riego (Figura N° 5.10) y ya se empieza a instalar el sistema de riego, el conector se separa en dos vías lo cual en la parte de inferior se conecta para que vaya hacia una planta que está situada en un macetero en el suelo, mientras que la otra vía daría el paso a las plantas flotantes. Para asegurar la manguera trae dos conectores en el cual tiene una boquilla para unir la manguera al conector y asegurarla con la tapa rosca provocando que se dificulte que la manguera se salga por la presión que pueda traer el agua.

Figura N° 5.12: Conector para dos vías.



Fuente: Propia.

La vía inferior fue conectada a la planta lengua de suegra (Figura N° 5.11) que se encuentra a nivel suelo con su sistema de riego por goteo debido a que es una suculenta, es la única planta que se encuentra a nivel suelo.

Figura N° 5.13: Vía inferior.

Fuente: Propia.

Para asegurar la distribución mediante la manguera del kit se utiliza grampa (Figura N° 5.12) para situar la manguera en la pared y cáncamos (Figura N°5.13) cerrados que van puestos en el techo, se escoge el cáncamo cerrado para sostener de manera firme al momento que pase el flujo del agua no permita que se caiga por la presión que pueda traer consigo.

Figura N° 5.14: Fijación con grampa.

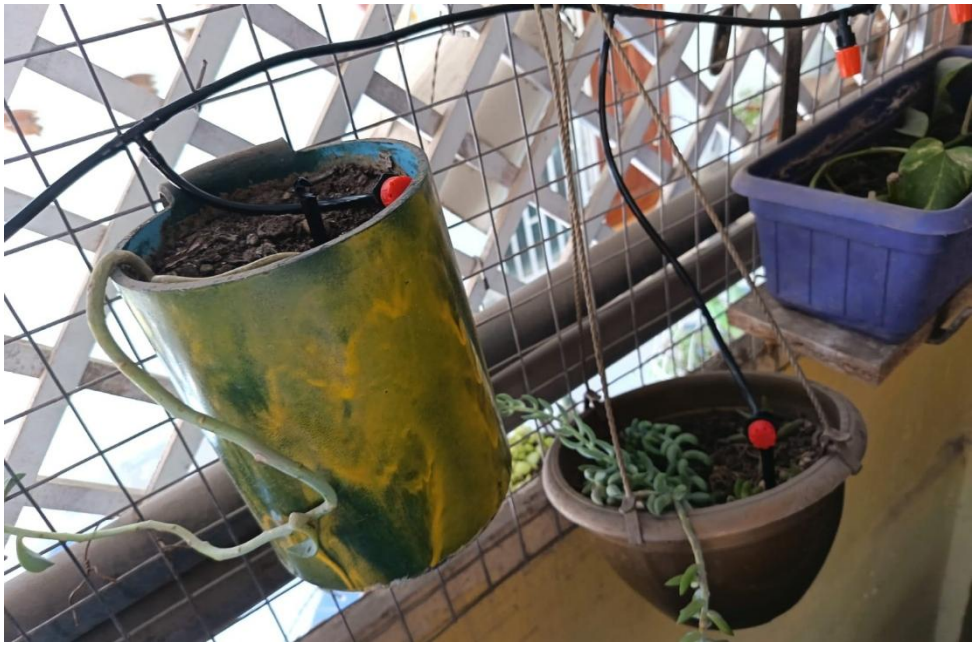
Fuente: Propia.

Figura N° 5.15: Fijación con cáncamo.

Fuente: Propia.

Gracias al análisis que se hizo de las plantas ubicamos los microaspersores y goteros en cada planta identificada, agregando los componentes que trae el kit como los conectores Tee, soporte para la manguera. La cantidad total de las plantas a cubrir es de 16 plantas, donde 7 son flor de cera, 2 mala madre y pata de jaiba, 1 cola de delfín, cola de burro, potus, madreperla y lengua de suegra. 15 de ellas son colgantes, las cuales 10 son microaspersión (Figura N° 5.15), 5 por goteo (Figura N° 5.14) y una en el suelo por goteo.

Figura N° 5.16: Ejemplares con goteo.



Fuente: Propia.

Figura N° 5.17: Ejemplares con microaspersión.

Fuente: Propia.

Los microaspersores quedarnos a una altura de 15 centímetros aproximado de la tierra, debido a que debe impregnar en la tierra y que este tipo de especies necesitan más humedad en el suelo.

Figura N° 5.18: Ubicación sensor.

Fuente: Propia.

El sensor fue ubicado en la cola de delfín (Figura N°5.16), perteneciente a la familia de suculentas debido a que este tipo de especie permite presenciar las condiciones de estas y su cantidad de humedad en el suelo. Su ubicación estratégica facilitó observar cómo responden las plantas a distintos niveles de riego y verificar el comportamiento del sistema bajo condiciones reales del cultivo, de esta manera se aseguró el monitoreo representativo que contribuye al cuidado adecuado tanto de esta especie como del resto de las plantas presentes.

CAPÍTULO VI

DESARROLLO OPERATIVO DEL SISTEMA

En este capítulo se describe el diseño de la programación utilizada para el control automático del riego, explicando la lógica de funcionamiento, lectura de sensores, control de la electroválvula y la visualización de los datos en la pantalla LCD.

6.1 Programación de verificación

Para comprobar que los componentes funcionan de forma adecuada se realizó una programación y simulación de la medición del suelo (Figura N° 6.1), lo cual para poder llevarlo a cabo se ocupó el programa Arduino IDE para que ejecute la programación sobre el sensor y los datos a captar.

Figura N° 6.1: Programación de verificación.

```
#define SENSOR_PIN 15

int valorHumedad = 0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(1000);
  Serial.println("Iniciando lectura del sensor de humedad del suelo...");
}

void loop() {
  valorHumedad = analogRead(SENSOR_PIN);

  Serial.print("Valor analógico: ");
  Serial.print(valorHumedad);

  if (valorHumedad > 3000) {
    Serial.println(" -> Suelo seco");
  } else if (valorHumedad > 1500) {
    Serial.println(" -> Suelo húmedo");
  } else {
    Serial.println(" -> Suelo muy húmedo");
  }

  delay(2000);
}
```

Fuente: Propia.

6.2 Programación final.

La programación desarrollada (Figura N° 6.2) controla el sistema de riego automatizado usada en el de programación del Arduino UNO, su función principal es controlar de manera automática la activación y desactivación de la electroválvula. A través de este código, se establece el porcentaje mínimo de humedad como punto de referencia, lo cual determina el inicio del sistema de riego.

El programa realiza una lectura continua del sensor de humedad, convirtiendo la señal analógica obtenida a un valor digital que posteriormente se transforma en un porcentaje de humedad. Este valor es comparado con el umbral previamente establecido en el sistema, cuando el nivel de humedad cae por debajo del valor establecido el Arduino emite una señal de activación al módulo relé, permitiendo la apertura de la electroválvula y el flujo de agua hacia el sistema. En cambio, cuando el nivel de humedad alcanza o excede el valor programado el sistema desactiva el relé, cerrando la electroválvula y deteniendo el riego.

Adicionalmente la programación incluye la integración de una pantalla LCD, donde se visualiza en tiempo real el porcentaje de humedad del suelo, así como el estado de la electroválvula (abierta o cerrada). Esto permite al usuario monitorear fácilmente el funcionamiento del sistema sin la necesidad de dispositivos externos.

En términos generales, la programación logra automatizar por completo el proceso de riego asegurando un control eficiente del recurso hídrico, evitando el riego excesivo y garantizando que las plantas reciban adecuadamente la cantidad de agua de acuerdo a las condiciones reales del suelo.

Figura N° 6.2: Programación final.

sketch_nov13a.ino

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

const int AirValue = 550;
const int WaterValue = 250;

int soilMoistureValue = 0;
int soilMoisturePercent = 0;

const int pinValvula = 9;

void setup() {
  pinMode(pinValvula, OUTPUT);

  digitalWrite(pinValvula, HIGH);

  Serial.begin(9600);

  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Sistema Riego");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Iniciando...");
  delay(1500);
  lcd.clear();
}

void loop() {

  soilMoistureValue = analogRead(A0);
  soilMoisturePercent = map(soilMoistureValue, AirValue, WaterValue, 0, 100);

  if (soilMoisturePercent > 100) soilMoisturePercent = 100;
  if (soilMoisturePercent < 0)   soilMoisturePercent = 0;

  Serial.print("Humedad: ");
  Serial.print(soilMoisturePercent);
  Serial.println("%");

  bool valvulaAbierta = false;



  if (soilMoisturePercent < 20) {
    digitalWrite(pinValvula, LOW);
    valvulaAbierta = true;
  }
  else if (soilMoisturePercent > 35) {
    digitalWrite(pinValvula, HIGH);
    valvulaAbierta = false;
  }


  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Humedad:");
  lcd.print(soilMoisturePercent);
  lcd.print("%");

  lcd.setCursor(0, 1);
  if (valvulaAbierta) {
    lcd.print("Valvula: ABIERTA");
  } else {
    lcd.print("Valvula: CERRADA");
  }

  delay(300);
}
```

Fuente: Propia.

6.3 Estructura del programa

6.3.1 Inicio del sistema

Se inicio incorporando las librerías necesarias para la comunicación con la pantalla LCD mediante el protocolo I2C. Posteriormente se configura la pantalla con una resolución de 16 columnas por dos filas, lo que permite la correcta visualización de la información.

La parte de la programación que corresponde a esta parte es la siguiente:

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 16, 2);
```

Además, se definen los valores de calibración del sensor de humedad, los cuales corresponden a la lectura en el suelo completamente seco y completamente húmedo. Estos valores permiten convertir la señal analógica en un porcentaje de humedad.

Asimismo, se declaran las variables necesarias para almacenar los dalos del sensor y definir el pin digital encargado de controlar la electroválvula mediante el módulo relé.

La parte de la programación que corresponde a esta parte es la siguiente:

```
const int AirValue = 550;
const int WaterValue = 250;
int soilMoistureValue = 0;
int soilMoisturePercent = 0;
const int pinValvula = 9;
```

6.3.2 Configuración inicial del sistema

Se estableció el pin de control de la electroválvula como salida digital, fijando su estado inicial en condición de válvula cerrada. Además, se da inicio a la comunicación serial lo que permite el monitoreo de los valores de humedad a través del computador.

La parte de la programación que corresponde a esta parte es la siguiente:

```
void setup() {
  pinMode(pinValvula, OUTPUT);
  digitalWrite(pinValvula, HIGH);
  Serial.begin(9600);
```

Durante esta etapa también se inicia la pantalla LCD y se activa su retroiluminación. Como verificación del correcto encendido del sistema, se muestra un mensaje de inicio indicando que el sistema de riego se encuentra en proceso de arranque del sistema.

La parte de la programación que corresponde a esta parte es la siguiente:

```
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Sistema Riego");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Iniciando...");
  delay(1500);
  lcd.clear();
}
```

6.3.3 Funcionamiento principal del sistema

Se realizó de forma periódica la lectura del sensor de humedad desde un pin analógico del Arduino. Este valor es convertido a un porcentaje que representa el nivel de humedad del suelo, el cual es posteriormente limitado a un rango de 0 % a 100 % para evitar errores de lectura.

La parte de la programación que corresponde a esta parte es la siguiente:

```
void loop() {
  soilMoistureValue = analogRead(A0);
  soilMoisturePercent = map(soilMoistureValue, AirValue, WaterValue, 0, 100);
  if (soilMoisturePercent > 100) soilMoisturePercent = 100;
  if (soilMoisturePercent < 0)   soilMoisturePercent = 0;
```

Los valores obtenidos son enviados al monitor serial permitiendo observar en tiempo real el comportamiento del sistema.

La parte de la programación que corresponde a esta parte es la siguiente:

```
  Serial.print("Humedad: ");
  Serial.print(soilMoisturePercent);
  Serial.println("%");
```

El control de la electroválvula se realizó de forma automática mediante la variable lógica que identifica su estado. Cuando el nivel de humedad sea inferior al 20 % el sistema active el módulo relé, permitiendo la apertura de la electroválvula y el inicio al riego. En cambio, cuando la humedad supere el 35 % el sistema desactive el relé cerrando la electroválvula y deteniendo el riego. El rango de operación permite evitar la activación y desactivación constante del sistema, fenómeno conocido como histéresis.

La parte de la programación que corresponde a esta parte es la siguiente:

```
bool valvulaAbierta = false;
if (soilMoisturePercent < 20) {
  digitalWrite(pinValvula, LOW);
  valvulaAbierta = true;
}
else if (soilMoisturePercent > 35) {
  digitalWrite(pinValvula, HIGH);
  valvulaAbierta = false;
}
```

6.3.4 Visualización de los datos en la pantalla LCD

El sistema muestra en la pantalla el porcentaje de humedad que se encuentra en el suelo en tiempo real, junto con el estado de la electroválvula indicando en qué estado se encuentra (abierta o cerrada). Esta visualización permite al usuario monitorear fácilmente el funcionamiento del sistema sin la necesidad de utilizar equipos externos.

La parte de la programación que corresponde a esta parte es la siguiente:

```
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Humedad:");
lcd.print(soilMoisturePercent);
lcd.print("%");
lcd.setCursor(0, 1);
if (valvulaAbierta) {
  lcd.print("Valvula: ABIERTA");
```

```
  } else {
    lcd.print("Valvula: CERRADA");
  }
  delay(300);
}
```

Permitió integrar correctamente la lectura del sensor, el procesamiento de los datos y el control automático de la electroválvula mediante el microcontrolador Arduino UNO. La programación desarrollada posibilito asegurar que el riego se activara según las condiciones estipuladas optimizando el uso del recurso hídrico.

El rango de activación y desactivación permitió evitar fluctuaciones innecesarias en el funcionamiento del sistema, otorgando estabilidad al proceso de riego. A su vez la visualización de los datos entregados en la pantalla LCD facilitó el monitoreo del estado del sistema en tiempo real. El desarrollo del programa cumplió con los objetivos planteados validando el correcto funcionamiento del sistema piloto.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIÓN

El desarrollo del proyecto permitió demostrar las ventajas y respaldar la viabilidad de la implementación del sistema de riego automatizado, evidenciando que es posible incorporar tecnología accesible y de bajo costo para mejorar de manera considerable la gestión del agua. A través de la instalación del sistema piloto, se pudo observar como la automatización mejora la precisión del riego, minimiza el desperdicio de agua y mantiene las condiciones óptimas para el desarrollo de las plantas, incluso en sectores donde el acceso al agua es limitado.

Asimismo, el proceso valido que el uso de sensores, electroválvulas y microcontrolador no solo optimiza el uso del agua, si no también hace más fácil el trabajo cotidiano de las personas, reduciendo la necesidad de riegos manuales especialmente en las zonas de difícil acceso o que requieren posturas incomodad. Esta experiencia ayudó a validar que la implementación del sistema no solo brinda ventajas técnicas, sino también prácticos y de bienestar al simplificar tareas y ofrecer mayor comodidad y seguridad. Del mismo modo se evidencio que el proyecto puede adaptarse a terrenos más extensos, manteniendo la eficiencia y bajo costo de implementación.

Finalmente, se le pueden agregar futuras mejoras fortaleciendo el proyecto tales como la incorporación de un nuevo microcontrolador, sensores de humedad de mayor precisión y electroválvulas de mejor calidad. Lo que permitiría aumentar la confiabilidad, durabilidad y escalabilidad del sistema en escenarios de aplicaciones más robustas.

Bibliografía

Agro. (23 de Mayo de 2022). Obtenido de Grupo Hidráulica: https://grupohidraulica.com/noticias/2022/05/23/riego-por-aspersion-clasificacion-componentes-ventajas

Agua, A. (23 de Septiembre de 2022). *Grupu Hidráulica*. Obtenido de https://grupohidraulica.com/noticias/2022/09/23/sistema-de-riego-por-goteo

Alex. (2024). Obtenido de Studocu.

Electronica, M. (s.f.). *Maher Smart Agrocontrollers*. Obtenido de Maher Electronica: https://www.maherelectronica.com/sistema-riego-automatico

Electrónica, R. E. (11 de Febrero de 2022). Obtenido de Revista española de electrónica : https://www.redeweb.com/actualidad/que-es-un-microcontrolador

Europea, U. (06 de Mayo de 2024). Obtenido de ue Universidad Europea: https://universidadeuropea.com/blog/que-es-microcontrolador

Hernández, R. (17 de Diciembre de 2024). *Hydro Environment*. Obtenido de https://hydroenv.com.mx/id220

Hunter. (10 de Octubre de 2023). *Irrigation*. Obtenido de Hunter: https://agriculture.hunterirrigation.com/es/news/2023/11/1/explorando-los-sistemas-de-riego-de-pivote-central-una-introduccion-reveladora#:~:text=El%20riego%20por%20pivote%20central%20es%20un%20método%20de%20irrigación,denominado%20"punto%20de%20pivote".

Incel. (28 de Mayo de 2024). *Instituto de capacitación electrónica*. Obtenido de incel: https://incel.edu.co/microcontrolador

IRC. (s.f.). *IRC*. Obtenido de Riego y paisaje: https://riegoypaisajeirc.avanzasmart.co/2024/09/09/que-es-y-como-funciona-un-sistema-de-riego-automatico

Mejía, I. (28 de Agosto de 2023). *QSM*. Obtenido de qsmsemiconductores: https://qsmsemiconductores-com.translate.goog/que-es-el-

esp32/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=rq#:~:text=Es%20un%20microcontrolador%20eficiente%20y,para%20desarrollar%20sus%20aplicaciones%20conectadas.

Robotics, E. (21 de Febrero de 2022). Obtenido de Eds Robotics: https://www.edsrobotics.com/blog/tipos-sensores-mas-usados

SAP. (s.f.). Obtenido de Sap : https://www.sap.com/latinamerica/products/technology-platform/what-is-iot.html

Sheldon, R. (16 de Agosto de 2022). *TechTarget*. Obtenido de https://www-techtarget-com.translate.goog/whatis/definition/sensor?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Yasar, A. S. (21 de Julio de 2025). *TechTarget*. Obtenido de https://www-techtarget-com.translate.goog/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc