



Universidad
Nacional
Francisco Luis
Espinoza Pineda

**Propuesta de innovación para optar al título de
Ingeniero Agropecuario**

**Diseño de un controlador de riego automatizado
con el microcontrolador Arduino en finca Las
Mercedes Somoto-Madriz, 2025**

Autor(a)

Peter Josué González Flores

Tatiana Yulixa Montalván Benavidez

Tutor(es)

Ing. Sara del Carmen Pérez Torrez

**Estelí, Nicaragua
Noviembre, 2025**



Universidad
Nacional
Francisco Luis
Espinoza Pineda

**Propuesta de innovación para optar al título de
Ingeniero Agropecuario**

**Diseño de un controlador de riego automatizado
con el microcontrolador Arduino en finca Las
Mercedes Somoto-Madriz, 2025**

Autor(a)

Peter Josué González Flores

Tatiana Yulixa Montalván Benavidez

Tutor(es)

Ing. Sara del Carmen Pérez Torrez

Presentado a la consideración del Honorable Comité
Evaluador como requisito de culminación de estudio

**Estelí, Nicaragua
Noviembre, 2025**

Hoja de aprobación del Comité Evaluador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Comité Evaluador designado por la Dirección de Ciencias Agropecuarias como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Agropecuario

Miembros del Comité Evaluador

Ph.D. Oscar Enrique Bustamante
Morales
Presidente

M.Sc. Ligia Leonor Muñoz
Flores
Secretario

M.Sc. Rafael Antonio López Moreno
Vocal

Lugar y Fecha: 05 de diciembre de 2025, Estelí, Nicaragua

DEDICATORIA

Con el corazón lleno de gratitud, concluyo esta etapa de mi vida marcada por desafíos aprendizajes, noches de desvelo, momentos de alegría y crecimiento personal. Culminar esta carrera no solo representa un logro académico, sino también una meta que encierra años de esfuerzo constancia y Fe. Por eso quiero dedicar este logro a quienes han sido mi fortaleza e inspiración durante este largo camino.

A Dios por ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad e iluminar mi camino y darme la sabiduría para salir adelante y poder concluir este proyecto el cual sin su voluntad nada de esto hubiera sido posible.

A mis padres por su gran amor, apoyo incondicional porque de este logro están sus sacrificios, oraciones y sus palabras de aliento en los momentos en los que ni yo creía lograrlo gracias por su amor incondicional y enseñarme que los sueños se cumplen con fe, trabajo duro, constancia y humildad.

A la familia Montalván Benavides por creer en mí y acompañarme en cada paso de mi vida por ser mi refugio y mi impulso para seguir por mostrarme con gestos de amor que los sueños se deben perseguir hasta lograrlos.

A cada uno de ustedes va dedicado este logro gracias por tanto amor los amo.

Tatiana Yulixa Montalván Benavides

DEDICATORIA

A mis padres, por ser el pilar fundamental en mi vida, por enseñarme que la constancia y el esfuerzo siempre dan frutos, y por demostrarme con su ejemplo que los sueños se alcanzan con dedicación y amor incondicional.

A mi hermana, por su compañía, apoyo y por recordarme cada día que juntos podemos superar cualquier obstáculo.

A mi novia y a mi hija, quienes han sido mi inspiración y mi fuerza en los momentos más difíciles. Gracias por su paciencia, su cariño y por motivarme a seguir adelante cuando las fuerzas parecían flaquear.

A mi compañera de tesis y amiga, por su compromiso, su colaboración y por compartir conmigo los desafíos y alegrías de este proyecto. Sin su apoyo y trabajo en equipo, esta meta no habría sido posible.

A mis maestros, por guiarme en este camino del saber, por compartir sus conocimientos y por sembrar en mí la curiosidad y la pasión por aprender.

A mi tutora, por su confianza, su asesoría constante y por acompañarme con sabios consejos durante todo este proceso.

A cada uno de ustedes, gracias por creer en mí y por brindarme su mano en los momentos en que más lo necesité. Esta tesis es fruto de su amor, su amistad y su dedicación.

Peter Josué González Flores

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme tener convicción para llegar hasta este momento tan especial, por darme salud y sabiduría para lograr cada objetivo por guiarme por el buen camino y nunca dejarme sola, siendo que el produce el querer como el hacer por su buena voluntad.

A mi madre gracias por darme la vida, a la mujer que con su entereza me enseñó que todo sacrificio tiene su recompensa quien con su amor y apoyo ha sido luz en mi camino, con sus consejos me dio el impulso para seguir adelante, a ella que supo ser madre amiga y aunque hubo momentos difíciles siempre conté con su apoyo gracias a ella hoy veo convertirse en realidad mis metas. Esta tesis es el reflejo de tus sacrificios, gracias por todo madre te amo.

A mi padre gracias por ser mi guía y apoyo por creer en mí, y ser un pilar fundamental para nuestra familia

A mis hermanas gracias por ser mi motor y llenar mi vida de alegría y risas y recordarme la importancia de la curiosidad e inocencia.

A mi tutora, por su confianza, su asesoría constante y por acompañarme con sabios consejos durante todo este proceso.

A mi amigo y compañero de tesis gracias por toda su paciencia, por su dedicación y apoyo por compartir cada desafío y cada logro de esta tesis. Gracias por cada consejo porque antes de ser compañeros en este proyecto hemos sido amigos siempre tendrá un lugar en mi corazón. ¡Lo quiero!

A mi abuelo paterno y abuela materna gracias por tanto amor.

Familia Montalvan Benavides gracias a todos los que creyeron en mí y me apoyaron de diferentes formas siempre los amare.

A cada uno de ustedes nuevamente gracias esta tesis es el reflejo de los valores que me han inculcado y de los sacrificios que han hecho por mí. Este logro es de todos ustedes, los llevo en mi corazón.

Tatiana Yulixa Montalván Benavides

ÍNDICE DE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	ix
RESUMEN EJECUTIVO.....	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos (General y específicos).....	3
II. ESTADO DEL ARTE.....	4
2.1. Arduino	4
2.2. Sistemas de riego.....	6
2.3. Generalidades sobre las tecnologías de Innovación desarrollados.....	9
2.4. Ubicación geográfica y micro localización.....	12
2.5. Tipología de la Innovación	13
III. PROPUESTA DEL DISEÑO	17
3.1. Características técnicas y estructurales del proyecto de innovación	17
IV. PROCESOS METODOLÓGICOS DE VALIDACIÓN	22
4.1. Metodología de Validación de Indicadores	24
V. FUNCIONAMIENTO.....	28
VI. RESUTADOS/IMPACTOS.....	30
5.1. Diagnóstico de las condiciones actuales del sistema de riego.....	30
5.2. Descripción del sistema actual.....	31
5.3. Metodología de recolección de datos	32
5.4. Conclusiones parciales y requerimientos.....	32
5.5. Implementación de sensores de humedad y sistema de riego automatizado..	32
5.6. Análisis comparativo de riego convencional vs automatizado.....	35
5.7. Resumen de resultados	39

5.8. Reconocimiento y Validación Institucional del Sistema de Riego Automatizado	
.....	47
VIII. CONCLUSIONES	49
IX. RECOMENDACIONES	50
X. LITERATURA CITADA	51
XI. ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definición de indicadores.....	14
Tabla 2. Procesos metodológicos de validación de indicadores.....	22
Tabla 3. Instrumento para la validación de indicadores	23
Tabla 4. Parámetros técnicos medidos sistema convencional	31
Tabla 5. Registro de 4 ciclos consecutivos en sistema convencional prueba piloto.....	31
Tabla 6. Ciclos consecutivos en sistema automatizado prueba piloto.....	33
Tabla 7. Hoja de Campo – Consumo de agua sistema convencional (Marzo–Abril).....	35
Tabla 8. Hoja de Campo – Registros de Riego Automático (Mayo–Junio)	36
Tabla 9. Checklist de los cumplimientos del sistema	41
Tabla 10. Grado de Automatización del Sistema	43
Tabla 11. Costos de materiales del prototipo de controlador de riego automatizado.....	45
Tabla 12. Cuadro comparativo de precios de otros sistemas de riego automatizados.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Comparativa de volumen de agua aplicado por ciclo</i>	38
Figura 2. <i>Comparativo de duración de riego por ciclo</i>	39

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación y distribución de la finca Las Mercedes Somoto-Madriz	53
Anexo 2. Entrevista de validación de controlador de riego automatizado	54
Anexo 3. Entrevista de validación de controlador de riego automatizado	56
Anexo 4. Galería fotográfica	57
Anexo 5. Manual de usuario.....	65

ABREVIATURAS Y SIGLAS

IOT	Internet of Things (Internet de las Cosas)
LCD	Liquid Crystal Display (Pantalla de Cristal Líquido)
RTC	Real Time Clock (Reloj en Tiempo Real)
FAO	Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
5V	5 Volts (5 Voltios)
DC	Direct Current (Corriente Directa)
AC	Alternating Current (Corriente Alterna)
PWM	Pulse Width Modulation (Modulación por Ancho de Pulso)
DHT	Digital Humidity and Temperature (Sensor Digital de Humedad y Temperatura)
12V	12 Volts (12 Voltios)
Wi-Fi	Wireless Fidelity (Fidelidad Inalámbrica)

RESUMEN EJECUTIVO

La agricultura es una actividad fundamental para la supervivencia humana, a lo largo de la historia ha evolucionado adaptándose a diferentes climas, sin embargo, uno de los desafíos más significativos que se está enfrentando los escasos del recurso agua. Dado que el agua es un recurso esencial para el crecimiento de los cultivos y su disponibilidad se ve afectada por diversos factores tal como el cambio climático, el crecimiento de la población y la contaminación de fuentes hídricas.

Los sistemas de riego tradicionales a menudo son ineficientes y pueden desperdiciar grandes cantidades de agua y así mismo se puede no regar lo suficiente, provocando un uso deficiente de este preciado recurso y generando gastos no deseados en las producciones.

La tecnología ha revolucionado muchos aspectos de la agricultura convencional, y los sistemas de riego no son una excepción, por ello es fundamental optimizar el uso del agua para garantizar la sostenibilidad y eficiencia de producción.

Es ahí donde un sistema de riego automatizado con Arduino es una solución innovadora y accesible para optimizar los riegos. Arduino es una plataforma de hardware libre que al combinarse con sensores y actuadores se logra desarrollar un sistema que facilite y optimice funciones, en este caso que los riegos en los cultivos sean de manera eficiente y automática adaptándose a las necesidades de cada producción.

ABSTRACT

Agriculture is a fundamental activity for human survival and has evolved throughout history to adapt to different climates. However, one of the most significant challenges it currently faces is the scarcity of water resources. Water is an essential element for crop growth, and its availability is increasingly affected by various factors such as climate change, population growth, and the contamination of water sources.

Traditional irrigation systems are often inefficient and can waste large amounts of water; at the same time, they may fail to provide sufficient irrigation, leading to poor use of this valuable resource and generating unnecessary production costs.

Technology has revolutionized many aspects of conventional agriculture, and irrigation systems are no exception. For this reason, optimizing water use is essential to ensure sustainable and efficient production.

This is where an automated irrigation system using Arduino becomes an innovative and accessible solution to improve irrigation practices. Arduino is an open-source hardware platform that, when combined with sensors and actuators, allows the development of systems that facilitate and optimize functions—in this case, enabling irrigation to be efficient and automatic, adapting to the specific needs of each crop.

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura, una de las actividades humanas más antiguas y esenciales, es fundamental para la alimentación de la población mundial. A lo largo de los siglos, esta actividad ha evolucionado, desde pequeñas huertas urbanas hasta grandes explotaciones agroindustriales. Sin embargo, en la actualidad, los sistemas de producción agrícola enfrentan desafíos crecientes, como la escasez de agua, los cambios climáticos abruptos y la ineficiencia en la gestión de los recursos hídricos. Estos factores afectan tanto la calidad de los cultivos como el rendimiento de las tierras.

Uno de los problemas más críticos en la agricultura moderna es el uso ineficiente del agua, especialmente en zonas donde este recurso es escaso o su disponibilidad es estacional. La implementación de tecnologías que optimicen el uso del agua se ha convertido en una prioridad global para asegurar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Es en este contexto donde las innovaciones tecnológicas, como los sistemas de riego automatizados, juegan un papel fundamental.

En este proyecto, se integrarán sensores de humedad inalámbricos que emplean módulos HC-12 para transmitir datos de manera eficiente, eliminando la necesidad de cableado. Además, estos sensores serán alimentados por paneles solares, lo que garantiza su autonomía y sostenibilidad en zonas remotas. Esta solución no solo reducirá costos de instalación y mantenimiento, sino que también facilitará la implementación en pequeñas explotaciones agrícolas, optimizando el uso del agua y promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles.

El diseño y construcción de un sistema de riego automatizado utilizando el microcontrolador Arduino surge como una solución viable y accesible para pequeños y medianos agricultores. Esta tecnología permite un control preciso y automatizado del riego, ajustándose a las necesidades específicas de cada cultivo, lo que no solo mejora la eficiencia del riego, sino que también reduce significativamente el desperdicio de agua. Además, la versatilidad y bajo costo del microcontrolador Arduino lo convierten en una opción atractiva frente a otros sistemas automatizados más costosos y complejos.

Este proyecto se centra en el desarrollo de un sistema de riego automatizado en la finca Las Mercedes, ubicada en Somoto, Nicaragua. La finca actualmente utiliza métodos tradicionales

de riego por aspersión y goteo, los cuales dependen de mano de obra y no permiten un control eficiente del suministro de agua. Con la automatización del riego, se espera optimizar el uso de este recurso vital, reduciendo tanto el desgaste físico como los costos operativos, y mejorando la productividad de los cultivos.

La innovación propuesta no solo busca resolver problemas de eficiencia hídrica, sino también proporcionar una herramienta accesible para pequeños productores, quienes frecuentemente carecen de los recursos para implementar tecnologías más avanzadas. La automatización permitirá ajustar el riego en función de la humedad del suelo y las condiciones climáticas, lo que contribuirá a una mayor sostenibilidad en la producción agrícola.

En las siguientes etapas del proyecto se abordarán el diseño, la programación y la construcción del sistema de riego, con el fin de evaluar su efectividad y potencial replicabilidad en otras zonas agrícolas con condiciones similares. Esta propuesta representa un paso adelante hacia la modernización de la agricultura en Nicaragua, mejorando el uso de los recursos y aumentando la rentabilidad de los pequeños agricultores.

1.1. Objetivos (General y específicos)

Objetivo General

Diseñar un sistema de control automatizado basado el microcontrolador Arduino, que optimice el uso del agua y reduzca los costos de operación en la finca Las Mercedes, Somoto-Madriz, durante el año 2025.

Objetivos Específicos

Diagnosticar las condiciones actuales del sistema de riego en la finca Las Mercedes, enfocándose en sus necesidades operativas y limitaciones técnicas.

Implementar sensores de humedad inalámbricos, alimentados por energía solar, para monitorear y controlar cuatro áreas específicas de riego mediante el microcontrolador Arduino.

Comparar los costos asociados al uso del controlador de riego automatizado frente a métodos tradicionales.

II. ESTADO DEL ARTE

2.1. Arduino

Concepto

Según Arduino (n.d.), su plataforma de código abierto está diseñada para simplificar la implementación de sistemas electrónicos. Las placas permiten procesar entradas de sensores y generar respuestas, como activar luces o motores, mediante un lenguaje basado en Wiring que se ejecuta en su entorno integrado (párrafo 1).

En esta definición se destacan la versatilidad y accesibilidad de Arduino como una herramienta tecnológica. En el contexto de esta investigación, el microcontrolador Arduino se utiliza como la base tecnológica para diseñar un controlador de riego automatizado. Su capacidad para integrar sensores y módulos de control facilita el desarrollo de soluciones prácticas y económicas, adaptadas a las necesidades de pequeños productores agrícolas, como los de la finca Las Mercedes. Este proyecto aprovechará las características abiertas de Arduino para optimizar el uso del agua mediante un sistema de riego eficiente.

Además de su versatilidad, Arduino permite integrar tecnologías de comunicación inalámbrica como los módulos HC-12, los cuales facilitan la transmisión de datos de sensores ubicados en áreas remotas

Características principales

Arduino se diseñó con un enfoque de simplicidad y accesibilidad, permitiendo que personas sin experiencia previa en electrónica o programación puedan utilizarlo fácilmente, lo que favorece la implementación de sistemas como el de riego automatizado. (Igoe, 2020, párrafo 2).

Banzi (2020) destaca que uno de los mayores beneficios de Arduino es su capacidad para crear prototipos rápidamente, lo que lo convierte en una herramienta económica y accesible para el desarrollo de soluciones como el riego automatizado (, párrafo 7).

En el contexto de nuestra investigación sobre el diseño de un controlador de riego automatizado utilizando Arduino en la finca Las Mercedes, las características destacadas de este controlador resultan esenciales. Para ser accesible incluso para aquellos sin experiencia en programación o electrónica, lo que facilita la implementación de un sistema de riego que pueda ser manejado por pequeños productores. También arduino permitir la creación rápida de prototipos a bajo costo, lo que se alinea con la necesidad de una solución accesible y eficiente para la finca.

Aplicaciones en agricultura

En el diseño de un controlador de riego automatizado utilizando Arduino en la finca Las Mercedes, es crucial incorporar tecnologías que permitan mejorar la eficiencia hídrica y la sostenibilidad de los cultivos. La integración de sistemas de monitoreo en tiempo real y control automatizado de procesos como el riego ha sido una de las aplicaciones más exitosas de Arduino en la agricultura. El uso de sensores que recopilan datos en tiempo real sobre el estado del suelo, las condiciones climáticas y el crecimiento de los cultivos permite una toma de decisiones más informada, lo que optimiza el uso del agua y otros recursos. Esto no solo mejora el rendimiento de los cultivos, sino que también reduce los costos operativos y el impacto ambiental.

La tecnología Arduino Edge Control facilita el monitoreo y la gestión remota de cultivos, lo que se considera fundamental para la agricultura de precisión, especialmente en la mejora de la calidad agrícola. Este sistema permite recopilar y analizar datos en tiempo real sobre el clima y las condiciones del suelo, lo que habilita la toma de decisiones más precisas para optimizar procesos como el riego, la fertilización y el control de plagas, integrando estos datos en la nube para un análisis avanzado y una mayor eficiencia operativa (Arduino, 2021, , párrafo 4).

De acuerdo con The Engineering Projects (2023), los sistemas de riego automatizados que emplean sensores de humedad del suelo, como los basados en Arduino, facilitan el monitoreo continuo de las condiciones ambientales y permiten ajustar el riego de acuerdo con las necesidades particulares de cada área. Este enfoque optimiza el uso del agua, promoviendo una mayor eficiencia en las prácticas agrícolas.

Estas citas son relevantes para nuestra investigación ya que proporcionan una base sólida sobre cómo Arduino y sus aplicaciones pueden ser utilizados para diseñar soluciones eficientes y accesibles para la gestión del riego automatizado en la finca Las Mercedes. La implementación de tecnologías de Arduino no solo facilita la automatización, sino que también contribuye a una gestión más sostenible de los recursos naturales en la agricultura.

Sensores relacionados con Arduino en la agricultura

Los sensores utilizados en proyectos de Arduino para la agricultura inteligente son fundamentales para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las prácticas agrícolas. Según *The Engineering Projects* (2023), los sensores de humedad en sistemas de riego automatizado con Arduino permiten ajustar el riego de acuerdo con las necesidades del suelo, optimizando el uso del agua y mejorando la eficiencia agrícola.

Por otro lado, en el contexto de los sensores utilizados con Arduino, la variedad de dispositivos como los sensores de temperatura, humedad y luz, permite una recopilación de datos precisa para la gestión de cultivos. Como menciona Element14 (2023) explica que los microcontroladores Arduino conectados a sensores como los de temperatura, humedad y luz facilitan la recolección de datos clave para gestionar el riego y los cultivos, lo que favorece la toma de decisiones más precisas y la optimización de recursos.

Estos avances en la tecnología de sensores demuestran cómo Arduino está contribuyendo a una transformación en la agricultura, permitiendo la optimización del uso del agua y otros recursos esenciales para mejorar la productividad y la sostenibilidad en el campo.

2.2. Sistemas de riego

Conceptos y definiciones

Los sistemas de riego se han utilizado históricamente como mecanismos para suministrar agua a los cultivos en zonas donde las precipitaciones son insuficientes. Estos sistemas han desempeñado un papel crucial en la expansión de la agricultura y en el desarrollo de las primeras civilizaciones, al permitir un manejo eficiente de los recursos hídricos para adaptarse a diferentes entornos geográficos y climáticos (Fiveable, 2023).

El riego, entendido como el suministro controlado de agua para satisfacer las necesidades de los cultivos, ha evolucionado hacia métodos más avanzados y sostenibles, como los sistemas de aspersión y goteo. Estas técnicas modernas no solo contribuyen al crecimiento y desarrollo de los cultivos, sino que también optimizan el uso del agua, destacándose por su eficiencia frente a los métodos tradicionales (Byjus, 2023).

Ambas definiciones subrayan la importancia de los sistemas de riego como herramientas clave para garantizar la disponibilidad controlada de agua, esencial para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. En este proyecto, el diseño de un sistema de riego automatizado en la finca Las Mercedes combina la funcionalidad de la tecnología Arduino con la precisión de sensores modernos. Este enfoque permite ajustar el suministro de agua en tiempo real según las necesidades del suelo y los cultivos, promoviendo un uso más eficiente y sostenible de los recursos hídricos. Con ello, se busca no solo optimizar la productividad agrícola, sino también contribuir a una gestión más consciente del agua en regiones con recursos limitados, alineándose con prácticas agrícolas sostenibles descritas por Fiveable (2023) y Byjus (2023).

Tipos de Sistemas de riego

El riego por goteo se destaca como uno de los métodos más eficientes para la distribución de agua, ya que entrega este recurso directamente en la base de las plantas mediante emisores especializados. Este sistema minimiza las pérdidas por evaporación y escorrentía, lo que lo convierte en una alternativa particularmente adecuada para climas secos y cultivos que demandan un manejo hídrico de alta precisión (ClearIAS, 2023).

Las mangueras de exudación son una solución económica y de fácil implementación, especialmente en cultivos de pequeña escala o jardines. Estas mangueras permiten la filtración controlada del agua hacia la zona radicular de las plantas, asegurando una hidratación constante y reduciendo significativamente las pérdidas asociadas a la evaporación (Mottech, 2024).

Ambos enfoques resaltan la importancia de seleccionar el tipo de sistema de riego adecuado para maximizar la eficiencia en la distribución de agua y garantizar el rendimiento óptimo de los cultivos. En este proyecto, se implementará un sistema de riego automatizado basado en

Arduino que combinará tecnologías como el riego por goteo y las mangueras de exudación, adaptándose a las necesidades específicas de la finca Las Mercedes. La integración de sensores permitirá monitorear las condiciones del suelo en tiempo real y ajustar dinámicamente el suministro de agua, promoviendo un uso más eficiente de los recursos hídricos y fomentando prácticas agrícolas sostenibles.

Riegos Automatizados

Según Balendonck (2020), los sistemas de riego automatizados emplean tecnologías de control avanzadas con sensores especializados, lo que permite una distribución de agua eficiente y precisa. Este enfoque minimiza el desperdicio de agua y garantiza que los cultivos reciban la cantidad exacta de agua que necesitan en el momento adecuado, optimizando los recursos y mejorando la productividad agrícola.

Según la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022), la implementación de la automatización en los sistemas de riego contribuye significativamente a aumentar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura. Al integrar datos de variables climáticas, características del suelo y necesidades específicas de cultivos, estas tecnologías permiten ajustar dinámicamente los patrones de riego, promoviendo la sostenibilidad, especialmente en regiones con acceso limitado a los recursos hídricos.

Ambas perspectivas subrayan la capacidad de los sistemas de riego automatizados para transformar la agricultura mediante la optimización del uso del agua y la reducción de pérdidas. En el contexto del proyecto para la finca Las Mercedes, estas tecnologías desempeñan un papel clave al integrar sensores de humedad del suelo, controladores Arduino y mecanismos de control en tiempo real. Este enfoque no solo garantiza que los cultivos reciban la cantidad adecuada de agua según sus necesidades, sino que también fomenta un manejo sostenible de los recursos hídricos. La implementación de estas soluciones accesibles y de bajo costo permite a pequeños productores beneficiarse de tecnologías avanzadas, incrementando la eficiencia y sostenibilidad de sus operaciones agrícolas.

Riego en el contexto de pequeños productores

Según Grupohidraulica (2023), los sistemas automatizados de riego hacen uso de tecnologías avanzadas de sensores y componentes electrónicos, lo que permite una gestión eficiente del agua, ajustando el riego de acuerdo con las necesidades específicas de los cultivos. Este tipo de tecnología resulta fundamental para mejorar la eficiencia en la agricultura, particularmente en áreas con escasez de recursos hídricos.

Tecnopia (2024) menciona un proyecto de riego automatizado en un invernadero que utiliza sensores para medir variables como la humedad y la temperatura del suelo. Este sistema, desarrollado con tecnologías de bajo costo como Arduino, se ha mostrado efectivo en pequeñas explotaciones agrícolas, promoviendo un uso más sostenible y accesible del agua, lo que beneficia especialmente a los pequeños productores.

En el contexto de pequeños productores, la automatización del riego representa una solución innovadora que puede transformar la forma en que se gestionan los recursos hídricos en la agricultura. La implementación de sensores y sistemas automatizados, como los desarrollados en investigaciones recientes, permite un uso eficiente del agua al ajustarse a las necesidades exactas de los cultivos en tiempo real. Esto no solo optimiza los rendimientos, sino que también reduce el desperdicio de recursos, beneficiando económicamente a los pequeños agricultores. Para el proyecto de riego automatizado en la finca Las Mercedes, el uso de tecnologías asequibles como Arduino será clave para crear un sistema que no solo sea eficiente, sino también accesible, contribuyendo así a la sostenibilidad y a la mejora de la productividad agrícola en comunidades rurales.

2.3. Generalidades sobre las tecnologías de Innovación desarrollados

Son diversos los estudios e investigación que se han realizado a nivel de la región centroamericana mediante las cuales se han venido desarrollando procesos y creando propuestas de innovaciones tecnológicas a nivel de sistemas de riegos automatizados y de esta manera facilitar a los pequeños, medianos y grandes productores de cultivos, diversas facilidades que posibilitan una mejor producción, eficiente, de menor coste, sana y saludable.

En Nicaragua, el uso de riego en la agricultura es una práctica muy antigua, desarrollada con la finalidad de proveer una cantidad adecuada de agua para el correcto desarrollo de los cultivos y permitir así la producción de alimentos en la época seca. Nuestro país es caracterizado por ser agrícola, en el cual contamos con diversos climas, dependiendo de la región donde nos situemos (Bustos, 2017).

Actualmente en Nicaragua ya se cuentan con estudios que se han tomado un rumbo así la mejora e iniciativas de mejora de alguna tecnología de riego de cultivos a pequeña escala en algunas zonas del país, sin embargo, en la región norte son pocos los proyectos de este tipo de innovación que se han desarrollado.

Dentro de estos se menciona a Cortes & Vargas (2020), quienes realizaron su trabajo de grado desarrollado y denominado “Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante IOT en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias “Marie poussepin valeria”, dicho estudio se desarrolló en la ciudad de Bogotá Colombia, con el objetivo de: Desarrollar un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante IOT en los cultivos urbanos de la Fundación Mujeres empresarias Marie Poussepin ubicados en el barrio Altamira, localidad de san Cristóbal, Bogotá Colombia, en dicha tecnología se pudo evidenciar y demostrar que al automatizar el riego del cultivo y tener un control de las variables principales que influyen directamente en el desarrollo de la siembra, se optimizó el consumo de agua ya que así se garantiza la cantidad necesaria y exacta requerida por el tipo de cultivo.

Así mismo Cervantes (2016), como propuesta para la tesis de título de Ingeniero Informática llevo a cabo una innovación tecnológica en la cual se propuso un “Diseño e implementación de sistema de riego automatizado y controlado por una placa Arduino para la finca “la lucia”, esto con el objetivo de: Implementar un sistema de riego automatizado y tecnificado que permita que los procesos de irrigación se lleven de manera eficaz y eficiente en las áreas delos cultivos agrícolas de la finca La Lucia del Sitio La Pita, obteniendo como resultado de que una vez se implementó y probó la automatización en el control de riego se confirmó la eficiente distribución del agua destinada al riego de los sembríos en horas adecuadas y oportunas de acuerdo a cada tipo, además en n la realización de los prototipos de prueba confirma

el buen uso del control de riego en el área de sembrío, lo que influye de manera positiva en la eficiencia y productividad de los cultivos, terrenos y sembríos aledaños.

También es importante mencionar estudios como el desarrollado por Guijarro , Cevallos , Preciado & Zambrano (2018) en su estudio innovador “Sistema de riego automatizado con Arduino, en donde se afirma que La implementación del sistema ayuda a optimizar el tiempo y la forma de realizar el riego de un huerto doméstico a bajo coste, además se considera sencillo el manejo de este. Debido a los resultados obtenidos en las pruebas del sistema de riego, se puede comprobar que el mismo funciona en tiempo real, debido a que el intervalo en envío y recepción de los mensajes está en función del tiempo esperado de aproximadamente 7 segundos.

Así mismo en nuestro país Nicaragua en la ciudad de Managua Velásquez (2021), mediante una metodología que fue aplicada en un proceso de 3 etapas como el diseño, construcción y calibración del sistema cuyo objetivo fue “Desarrollar un sensor de humedad de suelo de bajo costo para la automatización y control de sistemas de riego, en ambientes controlados y en campo abierto”, logrando de esta manera confirmar que la información que brinda el sensor de humedad de suelo permite la automatización y control del riego por goteo.

De igual manera para contribuir con estas tecnologías de innovación y mejoramiento en la eficiencia de los sistemas de riego Bustos (2017) propuso y desarrollo una “propuesta de un sistema de control y automatización con administración remota a través de un Smartphone androide para el riego del cultivo de lechuga en la finca los almendros del departamento de Jinotega en el año 2017”, con el propósito de: Evaluar los requerimientos del sistema, control y automatización para el desarrollo de la aplicación, reducir el impacto de consumo de agua a través del control y monitoreo de las variables de humedad del suelo, demostrando así la eficiencia y eficacia de dicha tecnología para los sistemas de riego por goteo.

Por lo anterior se deduce que se ha venido desarrollando una evolución en aras de mejorar a estos sistemas de riego y pasar de lo tradicional a tecnologías más moderna, lo cual en algunos países de Centroamérica de manera avanzada ya se está poniendo en práctica, no así en nuestro país especialmente en la zona norte en donde se reconcentra gran parte de la producción agrícola la que se ve afectada por la escasez de agua, sin embargo ya se han dado y

ejecutado los primeros estudios en cultivos de pequeña escala, por lo tanto cada día evidenciamos las mejoras continuas y el avance hacia propuestas exitosas .

Por lo tanto nuestra investigación siguiendo estos procesos que aseguren éxito y calidad en la producción propone la construcción y diseño de una tecnología que viene a fortalecer tanto la producción en cantidad y calidad y los costes económicos de los pequeños productores, algo que es nuevo en nuestra región norte y por ende se pretende sea una innovación muy prometedora la que presenta una tendencia de crecimiento a medida que se conozca sobre ello y se divulguen los resultados positivos la cual se convertiría en un aliado para dichos productores en la mejora de sus economías por los usos eficientes del agua, menos desgaste físico y mayor ahorro de costos.

Sin obviar ninguno de los estudios que se han desarrollado con relación a estas tecnologías se han desarrollado diversas metodologías que enmarcan ciertos procesos tanto en el diseño y construcción de dichas innovaciones como también los diferentes ensayos que se llevan a cabo en las áreas de experimentación de tal manera que de ahí se ha parido en todos los estudios mencionados la recopilación de datos y el análisis de las variables incluidas en los estudios.

2.4. Ubicación geográfica y micro localización

El estudio se llevará a cabo en la finca Las Mercedes ubicada en el municipio de Somoto departamento de Madriz.

Se trata de una pequeña finca la cual se encuentra ubicada a 5 km de Somoto en la comunidad los copales, es una zona con temperaturas que van de los 14 a los 32 grados Celsius dependiendo la temporada, la región presenta un régimen pluviométrico reducido, caracterizado por precipitaciones limitadas he irregulares que reducen el acceso al vital líquido, en la finca actualmente se están desarrollando la producción de cultivos a pequeña escala tanto para el sustento familiar como también para el abastecimiento al mercado municipal.

Dicho municipio se encuentra ubicado en el norte de Nicaragua a una distancia de 216 kilómetros de la capital Managua en el departamento de Madriz, sobre las coordenadas 13° 28' 60" N latitud Norte, 86° 34' 60" longitud Oeste con una altura de 711 M.S.N.M y una superficie 466.2 km².

2.5. Tipología de la Innovación

Al tratarse de diseñar y construir un controlador de riego automatizado con Arduino, se considera un tipo de investigación tecnológica radical, la que tiene como función contribuir con la mejora de los sistemas de riego convencionales transformándola a una tecnología novedosa que permitirá una mejor gestión y distribución de agua.

En este sentido base principal será el Arduino el cual es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra. Estos permiten establecer conexiones entre el micro controlador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla (principalmente con cables DuPont).

Prototipo

El sistema está diseñado sobre la base de un microcontrolador Arduino Nano, el cual gestiona la lógica central del dispositivo. A través de sus pines de conexión, se integran diversos módulos que operan de manera sincronizada para garantizar la funcionalidad del sistema. Entre estos componentes se encuentra un módulo relé de 5V capaz de controlar simultáneamente cuatro salidas independientes o 4 sectores donde se puede realizar riegos independientes, esto nos da la facilidad de programar independientemente tanto los días de riego, las horas de riego y los tiempos que necesitamos que se esté realizando el riego, un módulo RTC (Real Time Clock) que permite programar y gestionar horarios y fechas de riego sin necesidad de reconfiguraciones recurrentes, y una pantalla LCD (Liquid Crystal Display) de 20x4, utilizada para visualizar información tanto de los módulos como de los menús del dispositivo.

También el sistema consta de 4 sensores de humedad que funcionaran de manera inalámbrica utilizando el módulo Wireless HC-12 que nos permite una conectividad hasta de 1000 metros en sus condiciones adecuadas, estos módulos permitirán enviar los datos de humedad al

sistema central el cual se encargara de procesar los datos y tomar decisiones según los parámetros establecidos por el usuario, estos módulos se construirán de tal forma que trabajen con energía solar, sin la necesidad que se tenga que cablear las áreas de siembra, incurriendo en gastos que perjudican al productor.

El control del sistema se realiza mediante cuatro botones, que permiten navegar por los diferentes menús y ajustar las opciones disponibles. Adicionalmente, incorpora un buzzer que emite señales audibles para notificar la ejecución de acciones específicas. En términos de alimentación, el circuito opera con voltajes entre 9 y 35 V DC gracias a un regulador de energía incorporado, sin embargo, el sistema se conecta a la red eléctrica convencional de 127 voltios AC. Todos los componentes están conectados mediante cables soldados con estaño, optimizando la estabilidad y la eficiencia operativa del sistema.

El diseño está pensado para ser escalable, permitiendo la adición de nuevos sensores o módulos según los requerimientos específicos del cultivo o del entorno. Además, se contempla la posibilidad de conectar el sistema a plataformas de monitoreo remoto a través de Wi-Fi, facilitando la supervisión en tiempo real desde dispositivos móviles. Esto no solo mejora la eficiencia en el uso del agua y la energía, sino que también fomenta un manejo más sostenible de los recursos agrícolas, especialmente en zonas vulnerables a la escasez hídrica.

Tabla 1. Definición de indicadores

Indicadores	Definición de indicadores	Especificación	Unidad de medición	Instrumento de medición
Cumplimiento de los requerimientos del sistema	Se refiere al grado en que los requerimientos técnicos y funcionales del sistema, como precisión, capacidad de respuesta y estabilidad, se cumplen tras su implementación.	Precisión (95%), estabilidad (90%), tiempo de respuesta (<1 seg)	% cumplimiento	Software de monitoreo, pruebas de desempeño
Grado de automatización del sistema	El grado de automatización del sistema se refiere a cuantas tareas se lograron	% de procesos operativos sobre el total	Cantidad de procesos	Lista de procesos automatizados

Indicadores	Definición de indicadores	Especificación	Unidad de medición	Instrumento de medición
	automatizar con la implementación del sistema	(apertura de válvulas, monitoreo de humedad, etc.)		
Reducción del consumo de agua	Medición de la reducción en el uso de agua comparando periodos con y sin el sistema, tomando en cuenta las variables externas como clima y tipo de cultivo.	Consumo promedio comparado antes y después del sistema (considerando clima y cultivo)	litros	Sensor de flujo de agua, registros del sistema
Costo del sistema propuesto	Se refiere a el costo de todos los componentes y lograr poner a funcionar el sistema	Desglose de costos: hardware, software, instalación, capacitación	Total, en (NIO)	Cotización de hardware y software
Impacto ambiental	Evaluación de la sostenibilidad del sistema en términos de reducción de huella hídrica y energética, considerando su impacto ambiental.	Comparativa del consumo de agua y energía antes y después del sistema	Porcentaje de reducción	Análisis de consumo de agua y energía
Satisfacción del usuario	Percepción de los usuarios finales sobre la facilidad de uso, efectividad y adaptabilidad del sistema mediante encuestas o entrevistas.	Facilidad de uso, efectividad, adaptabilidad	Nivel de satisfacción (escala)	Entrevista al usuario final

Indicadores	Definición de indicadores	Especificación	Unidad de medición	Instrumento de medición
Mantenimiento del sistema	Tiempo y costo necesario para el mantenimiento periódico del sistema, incluyendo reemplazo de piezas o ajustes técnicos.	Tiempo y costo promedio para mantenimiento: verificación de sensores, ajustes técnicos, reemplazos	Horas/costo en NIO	Registro de mantenimiento

III. PROPUESTA DEL DISEÑO

El sistema de riego automatizado propuesto representa una innovación clave en el ámbito agrícola, diseñada para abordar la problemática del uso ineficiente del agua en cultivos. La innovación consiste en la creación de un sistema de riego controlado por un microcontrolador Arduino, que permite ajustar el suministro de agua de acuerdo con las necesidades específicas de los cultivos, optimizando así los recursos hídricos. Mediante la integración de diversos sensores, como los de humedad, temperatura y lluvia, junto con un módulo RTC para la programación automática de los ciclos de riego, el sistema permite una gestión precisa y eficiente, adaptándose a las condiciones variables del entorno. La adaptabilidad de esta tecnología es uno de sus principales puntos fuertes, ya que puede ser implementada en diversas explotaciones agrícolas de pequeña escala, sin requerir grandes inversiones. Los componentes que conforman este sistema incluyen el Arduino Nano, el módulo relé, sensores de humedad y temperatura ambiente y humedad el suelo, una pantalla LCD para la visualización de datos, y una electroválvula para controlar el flujo de agua.

Todos los datos que se lean por el sistema o se introduzcan por el usuario son almacenados en la memoria EEPROM que contienen todos los microcontroladores ATMEGA, permitiendo almacenar la información después que se produzcan fallas de energía. todos estos componentes están integrados en un diseño modular y accesible. Además, la facilidad de instalación y la accesibilidad de los materiales garantizan la implementación exitosa del sistema en zonas con recursos limitados. Esta innovación no solo resuelve el desafío del riego eficiente, sino que también promueve prácticas sostenibles en la agricultura, mejorando la productividad de los pequeños productores.

3.1. Características técnicas y estructurales del proyecto de innovación

La presente innovación busca contribuir al desarrollo sostenible de la agricultura mediante el diseño e implementación de un sistema de riego automatizado basado en microcontrolador Arduino. Este sistema tiene como objetivo abordar problemáticas recurrentes en el manejo del agua, tales como el uso excesivo, la distribución ineficiente o la falta de control en los tiempos de riego, factores que impactan directamente la productividad y sostenibilidad de los cultivos agrícolas.

El diseño propuesto destaca por ser una solución económica, modular y accesible, dirigida especialmente a pequeños y medianos productores. Este sistema no solo optimiza la cantidad y el tiempo del agua suministrada, sino que también reduce costos operativos y facilita la gestión mediante tecnología intuitiva. Su diseño es adaptable a distintos tipos de riego, ya sea por goteo, aspersión u otros, mejorando significativamente la eficacia del manejo hídrico en las parcelas agrícolas.

En el controlador principal consta de 2 módulos Arduino nanos los cuales estarán conectados mediante conexión ISP, lo cual nos permite intercomunicar, los microcontroladores, esto se optó para tener una mayor capacidad de procesamiento y tener por separado la parte inalámbrica y por otro lado la parte que se encargara de la toma de decisiones.

Por otro lado, los sensores de humedad, consta de un sensor analógico de humedad de suelo que recopila los datos, una placa arduino nano que se encarga de procesar los datos recopilados por el sensor y enviarlos mediante un módulo hc-12 al controlador central, este módulo de humedad también cuenta con un módulo o panel solar, una batería de litio de 3.7 voltios que nos permitirá trabajar de manera autónoma, sin necesidad de cablear las parcelas para poder identificar las humedades del suelo.

Con estos sensores de humedad del suelo que permitirán tener un mejor control del agua que se suministra a los cultivos, dándonos un mejor manejo del recurso agua, también con esto se agrega un medidor de agua electrónico que nos permite que el sistema nos contabilice cuánta agua se consume ya sea por día, semana o mes dándonos datos reales los cuales nos ayudaran a llevar un mejor control en nuestras producciones.

Todos los datos recopilados por el sistema serán almacenados en una microSD, la cual nos permitirá tener un respaldo de nuestra información y acceder a ella cuando sea necesario, pudiendo sacar promedios, o ayudándonos a calcular costos de producción.

El sistema se compone de los siguientes elementos clave, cuyos detalles funcionales se describen a continuación:

Arduino Nano: Microcontrolador basado en el ATmega 328P, que constituye el núcleo del sistema. Gestiona la lógica operativa y coordina las señales de entrada y salida provenientes de los sensores y módulos. Con 14 pines digitales (6 PWM), 6 entradas analógicas y un cristal de 16 MHz, se presenta como una opción compacta y eficiente para proyectos de automatización.

Módulos Relé: Dispositivo electromagnético encargado de controlar dispositivos eléctricos como electroválvulas y bombas de agua. Permite operar hasta cuatro salidas de manera simultánea, garantizando la precisión y la sincronización en la operación del sistema.

Pantalla LCD (Liquid Crystal Display): Con una configuración de 20 x 4, muestra información clave del sistema, incluyendo datos de sensores, horarios de riego y estados operativos. Su interfaz es intuitiva y facilita la interacción del usuario mediante menús controlados por pulsadores.

Módulo RTC (Real Time Clock): Permite registrar y mantener datos precisos de fecha y hora, incluso durante cortes de energía. Este componente asegura que los ciclos de riego se ejecuten en los horarios predefinidos, sin necesidad de reconfiguración constante.

Buzzer: Emite alertas sonoras que notifican al usuario sobre eventos específicos, como el inicio o fin de un ciclo de riego, errores del sistema o cambios en las configuraciones.

Electroválvula: Gestiona el flujo de agua hacia los cultivos mediante señales del microcontrolador. Su diseño asegura precisión en la apertura y cierre del paso de agua, optimizando el uso del recurso.

Sensor de Humedad y Temperatura Ambiental (DHT 22): Evalúa las condiciones climáticas, proporcionando datos críticos sobre la humedad relativa y la temperatura del aire. Esto permite ajustar los ciclos de riego en función de las necesidades reales del entorno.

Sensor de Lluvia: Detecta precipitaciones y desactiva automáticamente el sistema de riego, evitando el uso innecesario de agua y contribuyendo a la eficiencia hídrica.

Pulsadores: Facilitan la navegación en los menús del sistema, permitiendo al usuario ajustar configuraciones de riego, como horarios, niveles de humedad deseados y otros parámetros.

LM7805: Es un regulador de voltaje lineal que proporciona una salida de voltaje constante de **5 voltios**. Se utiliza ampliamente en circuitos electrónicos para alimentar dispositivos que requieren un suministro estable de 5 V, independientemente de las variaciones en el voltaje de entrada (siempre que esté dentro de un rango especificado).

Fuente de Alimentación de 18V: Proporciona energía estable y continua a todos los componentes del sistema, asegurando su correcto funcionamiento.

LEDs de Indicación: Ofrecen información visual sobre el estado del sistema, incluyendo alertas de encendido, activación de riego o posibles fallos.

Cable de Alimentación: Conecta la fuente de energía a los diversos módulos y componentes, garantizando una distribución eficiente de la energía.

Sensores analógicos de humedad del suelo: Con este sensor se leerá la humedad del suelo y posteriormente se procesa y se envía al controlador de riego.

Sensor de flujo de agua: Con este componente permitirá identificar el agua consumida en los riegos.

Paneles solares 5v: Estos nos permiten poder alimentar los sensores de humedad para su funcionamiento.

Batería de litio 18650: Este componente nos permite almacenar la energía producida por los paneles y almacenarla para que los sensores de humedad trabajen por las noches.

Cargador de baterías 18650: Con este componente se podrá cargar de manera segura las baterías de litio que poseen los sensores de humedad.

Módulo HC-12: Con el módulo Wireless hc-12 nos permite crear una conexión bidireccional inalámbrica entre el controlador de riego y los módulos de humedad del suelo.

Caja Plexo Hermética: Con dimensiones de $22 \times 17 \times 8$ cm, esta carcasa protege los componentes del sistema de agentes externos como la humedad y el polvo, incrementando la durabilidad y confiabilidad del dispositivo.

El sistema de riego automatizado desarrollado para la finca Las Mercedes tiene un diseño compacto y funcional. Sus dimensiones son de $22 \times 17 \times 8$ cm, adaptándose fácilmente a espacios agrícolas pequeños y medianos. La caja que contiene el sistema es de color gris claro, con una textura lisa y resistente, hecha de material plexo hermético, lo que le proporciona protección contra la humedad y el polvo. Su forma es rectangular, optimizada para facilitar la organización de los componentes internos y su instalación en diferentes ubicaciones. El peso total del sistema, incluyendo todos los módulos y sensores, es de aproximadamente 1.5 kg, lo que lo hace fácil de transportar e instalar. En términos de durabilidad, los materiales y componentes están diseñados para garantizar un funcionamiento confiable durante un período estimado de 5 años, con mantenimiento adecuado. En la (figura 1), se presenta el diagrama de conexión del sistema, que ilustra cómo interactúan los sensores, actuadores y el microcontrolador Arduino para garantizar un funcionamiento eficiente.

En cuanto al valor agregado, este sistema de riego automatizado se distingue por su capacidad de automatización, su adaptabilidad a distintos entornos agrícolas y su bajo costo. La combinación de componentes modulares y de fácil acceso permite personalizar el sistema según las necesidades específicas de cada cultivo, facilitando su implementación en pequeñas explotaciones agrícolas. Además, su diseño intuitivo y fácil de usar lo hace accesible para productores sin formación técnica avanzada, mientras que la precisión en el control del riego y la optimización del uso del agua promueven prácticas más sostenibles y eficientes. Por último, el sistema se caracteriza por su fiabilidad y la disponibilidad de sus componentes, lo que asegura un rendimiento duradero y un mantenimiento sencillo a lo largo del tiempo.

IV. PROCESOS METODOLÓGICOS DE VALIDACIÓN

Los procesos metodológicos de validación del sistema de riego automatizado con microcontrolador Arduino serán llevados a cabo siguiendo una serie de actividades que garantizan que los indicadores definidos (Cuadro 3) se validen de manera efectiva, asegurando que el sistema cumple con los requisitos establecidos. A continuación, se detallan las actividades a seguir para la validación de los indicadores del proyecto, con base en los objetivos y tipologías de innovación del diseño.

Tabla 2. Procesos metodológicos de validación de indicadores

Actividades	Aspectos por considerar
Revisiones del diseño y/o desarrollo	<ul style="list-style-type: none">-Evaluar la capacidad del sistema para satisfacer los requisitos establecidos.-Identificación de problemas y propuesta de acciones correctivas.-Evaluación de la idoneidad de los componentes y su capacidad para cumplir con los requisitos del diseño y las funciones del sistema.-Identificación de áreas problemáticas y deficiencias potenciales.-Evaluación de la seguridad operativa del sistema, incluyendo la fiabilidad de los componentes y los procesos necesarios para su correcto funcionamiento.-Análisis de los riesgos potenciales, como fallos de componentes o fallos en el proceso de riego.
Verificación para garantizar el valor	<ul style="list-style-type: none">-Identificación de oportunidades de mejora mediante la revisión facilitada por todos los involucrados en el proyecto (como usuarios y técnicos).-Autocomprobación utilizando herramientas como listas de verificación para asegurar el cumplimiento de las especificaciones del sistema, como el tiempo de riego y consumo de agua.

Actividades	Aspectos por considerar
	<p>-Comparación con sistemas similares para validar el diseño. Esto incluye evaluaciones comparativas y el uso de métodos alternativos que puedan aumentar la eficiencia del sistema.</p> <p>-Ensayos y simulaciones para comprobar que el sistema cumple con los requisitos específicos establecidos, como la eficiencia hídrica y la capacidad de respuesta a las condiciones climáticas.</p>
Validación del diseño y desarrollo	<p>-Confirmación de que el sistema cumple con los requisitos para su uso en el campo.</p> <p>-En algunos casos, la validación se podrá realizar parcialmente antes de la entrega del producto, lo que permitirá realizar ajustes según las condiciones reales de operación.</p> <p>-La validación final se llevará a cabo a través de pruebas de funcionamiento, simulaciones y la medición del impacto en la mejora de la gestión del agua.</p> <p>-Evaluaciones de viabilidad en el entorno real de cultivo, con la colaboración de especialistas para confirmar que el sistema es adecuado para su implementación en la finca.</p> <p>-Revisiones periódicas y ajustes del sistema según los resultados obtenidos durante las pruebas en el campo.</p>

Tabla 3. Instrumento para la validación de indicadores

Indicador	Criterio de calidad	Verificación	Frecuencia de control	Medio de comprobación
Cumplimiento de los requerimientos del sistema	Precisión ≥ 95 %; Estabilidad ≥ 90 %; Tiempo de respuesta plan < 1 s	Pruebas de desempeño según plan	Durante pruebas e integración	Informes, logs y checklist

Grado de automatización del sistema	≥ 80 % de procesos automatizados	Revisión de registros de procesos	Tras desarrollo y cada actualización	Bitácora de ejecución y lista de chequeo
Reducción del consumo de agua	≥ 15 % ahorro vs. tradicional	Comparación de caudalímetro	Diario en campo	Registros de caudalímetro y reportes
Costo del sistema propuesto	Desviación ≤ 5 % del presupuesto	Auditoría de cotizaciones vs. facturas	Al completar adquisiciones	Cotizaciones y facturas
Impacto ambiental	≥ 15 % reducción de huella hídrica/energética	Análisis comparativo pre/post	Mensual en campo	Reportes de consumo y cálculos
Satisfacción del usuario	Promedio ≥ 4 en escala 1–5	Entrevista	Al concluir piloto y cada 6 meses	Entrevista
Mantenimiento del sistema	Tiempo ≤ 2 h y costo \leq estimado	Registro de tiempo y costos	Mensual y tras incidencias	Bitácora y facturas

4.1. Metodología de Validación de Indicadores

Fase I. Planificación y Preparación

Revisión de instrumentos y protocolos

Verificar calibración del caudalímetro (± 5 %), comprobar puntualidad del RTC y exactitud del sensor DHT22.

Ajustar plantillas de hoja de campo (consumo convencional, registros automáticos, registro de indicadores) para imprimir y así poder registrar los datos.

Fase II. Calibración y Pruebas Piloto

Calibración inicial

Ejecutar 4 ciclos de riego convencional y 2 de riego automatizado para comparar caudalímetro y validar tiempo de respuesta (< 1 s) del sistema.

Registrar en la Hoja de Campo – Parámetros técnicos medidos los valores de inicio/fin/duración/volumen.

Prueba de protocolos de registro

Ensayar llenado de la tabla– Registro de Indicadores con datos de ejemplo:

“Cumplimiento de requerimientos” → tomar logs del software.

“Grado de automatización” → contar procesos ejecutados.

Asegurarse de que las hojas de campo son claras y completas.

Fase III. Recolección de Datos en Campo

Para cada indicador, sigue este flujo:

1. Indicador: Cumplimiento de requerimientos del sistema

Instrumento: pruebas de desempeño, checklist.

Acción: ejecutar un set de 20 casos de prueba (p.ej. activar válvula, detectar umbral de humedad) y registrar porcentaje de éxito.

Registro: completar la columna “Valor medido” en la Tabla y adjuntar logs.

2. Indicador: Grado de automatización

Instrumento: lista de chequeo de procesos.

Acción: documentar cuántas de las 8 tareas definidas (apertura, cierre, alarmas, alertas, etc.) se realizan sin intervención manual.

Registro: anotar en la hoja número de procesos automatizados/total.

3. Indicador: Reducción del consumo de agua

Instrumento: caudalímetro y registros del sistema (Almacenamiento).

Acción: comparar litros promedios por ciclo entre riego convencional y automatizado durante 7 días.

Registro: hoja “Consumo de agua sistema convencional” y hoja 4.3 “Registros de Riego Automático”.

4. Indicador: Costo del sistema propuesto

Instrumento: cotizaciones y facturas.

Acción: sumar costos de hardware, software, instalación y capacitación.

Registro: elaborar cuadro comparativo y anotar en la hoja.

5. Indicador: Impacto ambiental

Instrumento: análisis de consumo de agua/energía pre y post.

Acción: usar datos de hojas y consumo de energía (medidor eléctrico) para calcular porcentaje de ahorro.

Registro: incluir en hoja y graficar.

6. Indicador: Satisfacción del usuario

Instrumento: Entrevista

Acción: aplicar entrevista a los operadores tras 2 semanas de uso.

Registro: consolidar resultados y anotar promedio en la hoja.

7. Indicador: Mantenimiento del sistema

Instrumento: bitácora de mantenimiento, facturas de repuestos, cronómetro.

Acción: simular 3 intervenciones (verificación sensores, reemplazo relé, recarga batería) y medir tiempo y costo.

Registro: detallar en hoja.

Fase IV. Análisis de Resultados

Consolidación de datos

Transferir todas las hojas de campo a una hoja de cálculo maestra.

Calcular porcentajes de cumplimiento, promedios y desviaciones estándar.

Comparación con criterios de calidad

Confrontar cada “Valor medido” contra el “Criterio de calidad” (p.ej. ≥ 20 % ahorro).

Marcar indicadores validados (cumplen) y los que requieran ajustes.

Retroalimentación

Reunir al equipo y al tutor para discutir hallazgos:

¿Dónde se superaron expectativas?

¿Qué ajustes de calibración, firmware o formación se requieren?

Fase V. Validación Final y Reporte

Repetición de mediciones críticas

Volver a medir indicadores clave (agua, automatización) tras ajustes.

Asegurar que ahora cumplen criterios.

Incluir tablas de datos brutos, análisis comparativo y gráficas.

Describir en texto cada fase, herramientas e instrumentos usados.

Presentación ante comité

Preparar diapositivas con: metodología, resultados y recomendaciones.

Adjuntar anexos: hojas de campo completas y encuestas.

V. FUNCIONAMIENTO

El presente manual describe el funcionamiento, características y procedimientos de operación del prototipo de sistema de riego automatizado, desarrollado con el objetivo de mejorar la eficiencia en el uso del agua y optimizar la gestión del riego en pequeñas y medianas áreas de cultivo. Este prototipo integra tecnologías accesibles como microcontroladores Arduino, sensores de humedad del suelo, comunicación inalámbrica HC-12, electroválvulas y un panel de control interactivo que permiten automatizar el riego según las necesidades reales del terreno.

El sistema fue diseñado para operar tanto de forma manual como en modo automático, tomando decisiones basadas en lecturas de humedad, caudal de agua y configuraciones establecidas por el usuario. Gracias a su arquitectura modular, puede ampliarse, actualizarse o adaptarse a nuevas zonas de riego sin necesidad de modificar completamente la instalación.

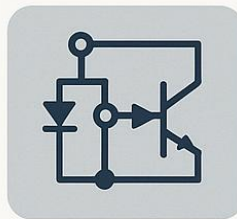
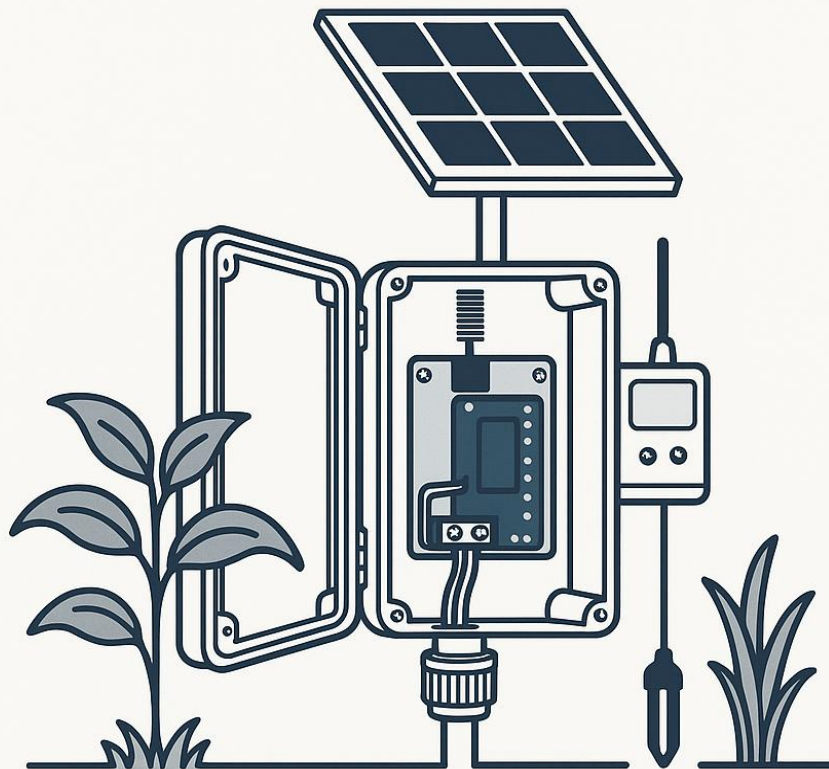
Este manual tiene como propósito brindar al usuario una guía completa para la correcta instalación, operación y mantenimiento del prototipo, proporcionando información clara sobre sus partes, funcionamiento, advertencias de seguridad y recomendaciones generales. Además, se incluyen figuras y diagramas que facilitan la comprensión del sistema y aseguran un uso adecuado y seguro del equipo.

Se incluye el manual de funcionamiento para la innovación correspondiente en el Anexo

5. Manual de usuario



MANUAL DE FUNCIONAMIENTO SISTEMA DE RIEGO



VI. RESULTADOS/IMPACTOS

5.1. Diagnóstico de las condiciones actuales del sistema de riego

El diagnóstico del sistema de riego en la parcela piloto de la finca Las Mercedes se realizó en un cultivo de pasto Marandú de 20 × 25 m. Se registraron horarios de bomba, caudales, duración de ciclos y volúmenes de agua usando cronómetros, fotos y listas de verificación. Se documentaron parámetros técnicos (presión, tuberías, aspersores) e incidencias (fugas, variaciones de presión, interrupciones de energía). El análisis de cuatro ciclos de riego permitió identificar las limitaciones del sistema actual, como la ausencia de un caudalímetro permanente, variabilidad en los ciclos y falta de control automático. Estos resultados definieron los requisitos para diseñar un prototipo de riego automatizado.

5.2. Descripción del sistema actual

Área de riego: 1 000 m² (25 m × 40 m)

Aspersores: 3 unidades, cobertura ≈ 20 m de radio cada uno

Presión de trabajo: 3.5 bar

Tubería: ¾" PVC/PE en toda la red

Bomba: Truper Jet 1 HP

Tipo de suelo: Arcilloso

Disponibilidad energética: Punto de conexión junto a la bomba (127 VAC)

Limitación principal: Volumen de agua variable, sin caudalímetro

Tabla 4. Parámetros técnicos medidos sistema convencional

Parámetro	Valor
Caudal por aspersor	11 L/min
Caudal total (2 aspersores)	22 L/min
Duración media de riego	120 min (2 h)
Volumen aplicado (media)	~2649.9 L por ciclo
Rango de volumen aplicado	2,347– 2952 L (± 11.5%)
Frecuencia actual	Cada día de por medio

A fin de caracterizar el desempeño del sistema de riego convencional en la parcela piloto de Marandú (20 × 25 m), se registraron cuatro ciclos de riego consecutivos. En la Tabla 5 se muestran, para cada ciclo, la fecha, el momento de inicio y fin, la duración total y el volumen aproximado de agua aplicado, así como un espacio para anotar cualquier incidencia o condición particular. Estos datos permitirán establecer un valor promedio de consumo y evaluar la variabilidad del sistema actual, de cara a su posterior comparación con el diseño automatizado.

Tabla 5. Registro de 4 ciclos consecutivos en sistema convencional prueba piloto

Fecha	Ciclo	Inicio	Fin	Duración (min)	Volumen (L)	Observaciones
20/04/25	1	15:37	17:48	126	2772	N/A

22/04/25	2	16:05	18:12	124.2	2732.4	N/A
24/04/25	3	15:41	17:40	119.4	2626.8	N/A
26/04/25	4	15:30	17:17	112.2	2468.4	N/A
	Media	-	-	120.45	2649.9	

5.3. Metodología de recolección de datos

1. Cronometrado de inicio y fin de riego (4 ciclos).
2. Cálculo de volumen: uso de caudal nominal \times tiempo.
3. Inspección visual de bomba, tuberías y aspersores (fugas, obstrucciones).
4. Documentación fotográfica de la parcela, bomba, conexiones y puntos críticos.

Análisis preliminar

El volumen real medio ($\sim 2,649.9$ L) varía entre 2,347 L y 2952 L ($\pm 11.5\%$) dándonos un estimado más preciso del consumo del agua del sistema convencional.

La duración de riego presenta alta dispersión ($\sigma \approx 13.8$ min), indicando falta de control preciso.

A 3.5 bar la cobertura teórica de 20 m es adecuada, pero la variabilidad de caudal y tiempo afecta la uniformidad.

La ausencia de medición de flujo y humedad impide cuantificar fugas y ajustar el riego a la demanda real del suelo arcilloso.

5.4. Conclusiones parciales y requerimientos

1. Instalar un caudalímetro con precisión $\pm 5\%$ en la línea principal.
2. Ubicar 1 sonda de humedad en un punto representativos para validar volumen vs. humedad real.
3. Registrar en el controlador de riego los tiempos, volúmenes y lecturas de humedad.

5.5. Implementación de sensores de humedad y sistema de riego automatizado

En esta etapa se diseñó y calibró un sistema de sensores de humedad del suelo que opera de forma inalámbrica, aprovechando paneles solares como fuente principal de energía. El sistema central, basado en Arduino, procesa las lecturas de humedad y activa electroválvulas para regular el riego en función de un umbral prefijado, garantizando eficiencia en el consumo de agua y autonomía operativa en campo.

Puesta en marcha y calibración del sensor

Antes de iniciar la recolección de datos, se calibró el sensor de humedad del suelo utilizando patrones de referencia al 30 %, 50 % y 80 % de humedad volumétrica. La calibración arrojó un error máximo de ± 2 %. Durante las pruebas, el módulo HC-12 transmitió las lecturas al controlador Arduino sin pérdidas de datos, y la combinación de panel solar de 5 V con batería 18650 aseguró una autonomía continua de 24 h en condiciones de verano.

Protocolo de medición

Para validar el sistema, se definió el siguiente protocolo de campo:

- Zona de prueba: Pasto Marandú en parcela de 20 m \times 25 m.
- Frecuencia de riego automático: 1 ciclo nocturno cada 3 días.
- Variables registradas:
 - Humedad inicial y final (% volumétrico).
 - Duración del riego (min).

Volumen de agua aplicado (L), medido con caudalímetro.

Fecha y hora de inicio y fin.

Resultados preliminares

A continuación, se presentan los primeros registros de campo obtenidos con el sistema. La tabla muestra las fechas, horarios, niveles de humedad inicial y final, duración del riego y volumen de agua aplicado. Estos datos permiten evaluar la eficiencia del sistema en distintos puntos de partida.

Tabla 6. Ciclos consecutivos en sistema automatizado prueba piloto

Fecha	Ciclo	Hora inicio	Hora fin	Duración (min)	Volumen aplicado (L)
01/05/2025	1	04:06	07:03	162	3 564

03/05/2025	2	04:14	06:02	122.8	2 481.6
------------	---	-------	-------	-------	---------

La tabla anterior muestra cómo el sistema responde dinámicamente al estado inicial de humedad del suelo. En la Lectura 1, se requirieron 3 564 L de agua para elevar la humedad del 33 % al 80 % en 162 minutos. En la Lectura 2, partiendo de un 60 %, se alcanzó el mismo umbral con 2 481.6 L en 122.8 minutos.

Análisis preliminar

Eficiencia de incremento de humedad:

Lectura 1: Se aumento la humedad del (33 %→80 %) lo que representa un incremento del 47 por ciento, para lograrlo se utilizaron 3564 L de agua, lo que equivale aproximadamente a 75.8 L por cada 1% de humedad.

Lectura 2: Se incrementa del 60% al 80%, es decir, un aumento del 20% de humedad, se utiliza 2481 L equivalentes a 124.1 L por 1% de humedad.

Esto sugiere que, cuanto mayor es el nivel inicial, se requiere menos volumen absoluto, pero más agua por punto porcentual adicional, posiblemente debido a la curva de retención del suelo.

2. Variación en duración de riego:

La diferencia de casi 40 minutos (162 min vs. 122.8 min) refleja la lógica de corte automático programada en el Arduino, que detiene el riego al alcanzar el umbral de humedad del 80 %.

3. Confiabilidad del enlace inalámbrico:

Durante ambas lecturas no se registraron pérdidas de paquete ni lecturas erráticas, validando la cobertura efectiva del módulo HC-12 en el campo.

Limitaciones y siguientes pasos

- Actualmente solo se cuenta con dos registros; se recomienda completar al menos 15-20 ciclos para análisis más completo y comparar contra un sistema de riego manual.

- Caracterizar la curva de retención-humedad del suelo para optimizar la lógica de control y reducir el volumen de agua aplicado.

- Implementar pruebas comparativas bajo condiciones idénticas con riego convencional para cuantificar el ahorro real de agua, buscando una reducción $\geq 15\%$.

5.6. Análisis comparativo de riego convencional vs automatizado

El presente análisis compara el comportamiento del sistema de riego convencional (evaluado entre marzo y abril de 2025) y el sistema de riego automatizado (evaluado entre mayo y junio de 2025) en la finca Las Mercedes, Somoto–Madriz. Ambos ensayos se realizaron bajo condiciones climáticas y de manejo similares, con el objetivo de determinar la eficiencia hídrica y operativa del nuevo sistema.

Tabla 7. Hoja de Campo – Consumo de agua sistema convencional (Marzo–Abril)

Fecha	Ciclo	Duración (min)	Volumen (L)	Observaciones
03-03-2025	1	106	3498	Riego convencional
07-03-2025	2	115	3795	Riego convencional
10-03-2025	3	69	2277	Riego convencional
13-03-2025	4	87	2871	Riego convencional
17-03-2025	5	98	3234	Riego convencional
19-03-2025	6	92	3036	Riego convencional
21-03-2025	7	104	3432	Riego convencional
25-03-2025	8	83	2739	Riego convencional
27-03-2025	9	90	2970	Riego convencional
31-03-2025	10	95	3135	Riego convencional
03-04-2025	11	101	3333	Riego convencional
07-04-2025	12	88	2904	Riego convencional

Fecha	Ciclo	Duración (min)	Volumen (L)	Observaciones
09-04-2025	13	110	3630	Riego convencional
13-04-2025	14	76	2508	Riego convencional
15-04-2025	15	97	3201	Riego convencional
17-04-2025	16	85	2805	Riego convencional
21-04-2025	17	93	3069	Riego convencional
23-04-2025	18	100	3300	Riego convencional
26-04-2025	19	82	2706	Riego convencional
28-04-2025	20	108	3564	Riego convencional

Tabla 8. Hoja de Campo – Registros de Riego Automático (Mayo–Junio)

Fecha	Ciclo	Duración (min)	Volumen (L)	Humedad (%)	Observaciones
05-05-2025	1	78	2574	57	Riego por umbral de humedad
09-05-2025	2	85	2805	53	Riego por umbral de humedad
13-05-2025	3	72	2376	57	Riego por umbral de humedad
18-05-2025	4	80	2640	51	Riego por umbral de humedad
23-05-2025	5	76	2508	53	Riego por umbral de humedad
27-05-2025	6	88	2904	55	Riego por umbral de humedad
01-06-2025	7	70	2310	53	Riego por umbral de humedad
05-06-2025	8	82	2706	56	Riego por umbral de humedad

Fecha	Ciclo	Duración (min)	Volumen (L)	Humedad (%)	Observaciones
09-06-2025	9	79	2607	52	Riego por umbral de humedad
14-06-2025	10	84	2772	55	Riego por umbral de humedad
19-06-2025	11	73	2409	56	Riego por umbral de humedad
23-06-2025	12	81	2673	53	Riego por umbral de humedad
26-06-2025	13	77	2541	56	Riego por umbral de humedad
30-06-2025	14	69	2277	50	Riego por umbral de humedad
03-07-2025	15	86	2838	52	Riego por umbral de humedad
06-07-2025	16	74	2442	57	Riego por umbral de humedad
09-07-2025	17	83	2739	47	Riego por umbral de humedad
13-07-2025	18	71	2343	51	Riego por umbral de humedad
16-07-2025	19	75	2475	56	Riego por umbral de humedad
20-07-2025	20	79	2607	57	Riego por umbral de humedad

Volumen aplicado por ciclo

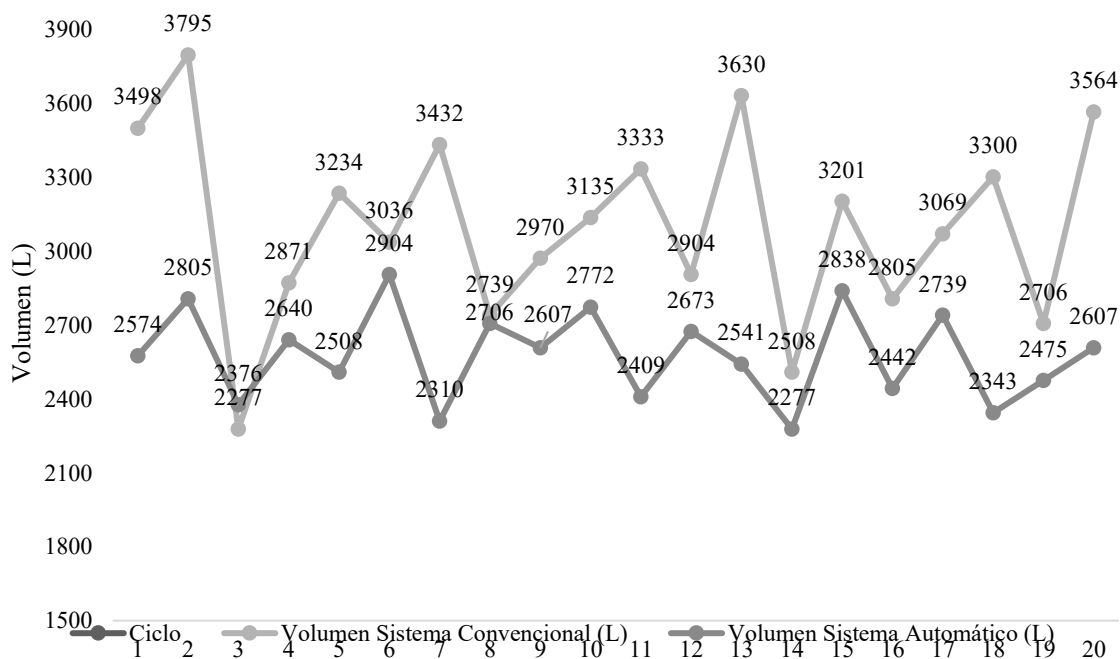
EL siguiente gráfico representan un análisis comparativo del volumen de agua aplicado durante 20 ciclos de riego utilizando el sistema de riego convencional y el sistema de riego automatizado con el microcontrolador Arduino donde se observa el comportamiento de ambos sistemas. Con el propósito de evidenciar como varia los volúmenes de agua en cada sistema y destacar la eficiencia del uso de un sistema de riego automatizado con el

microcontrolador Arduino. El sistema convencional presenta volúmenes de agua elevados y poco uniformes lo que refleja un uso poco racional de recurso hídrico por la falta de control y precisión del sistema.

En comparación al sistema de riego automatizado con el microcontrolador Arduino presenta volúmenes de agua más bajos, más constantes lo que representa la eficacia de un sistema de riego automatizado.

Figura 1.

Comparativa de volumen de agua aplicado por ciclo



Duración de riego por ciclo

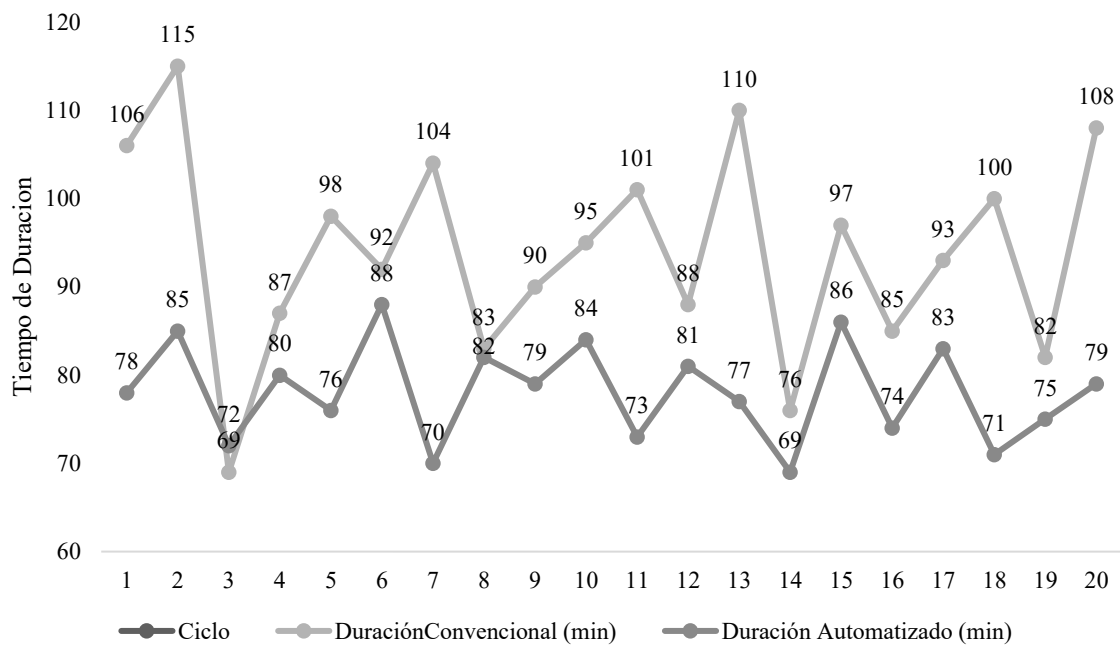
El siguiente grafico tiene como propósito evidenciar como varia el tiempo operativo para completar cada ciclo de riego bajo el sistema convencional y el sistema automatizado.

en el sistema convencional los tiempos de riego oscilan entre los 110 y 115 minutos por cada ciclo lo que refleja la falta de control, la intervención manual lo cual aumenta el esfuerzo operativo y un mayor consumo de agua muchas veces no necesaria lo que lo convierte en un desperdicio.

En cambio, en el sistema de riego automatizado el ciclo de riego pasa a unas duraciones de 75 a 85 minutos, lo que indica una mejor regulación del tiempo en función de la humedad del suelo, lo cual permite optimizar el agua y disminuir los ciclos prolongados e innecesarios.

Figura 2.

Comparativo de duración de riego por ciclo



5.7. Resumen de resultados

Durante el periodo de evaluación, el sistema automatizado redujo el consumo total de agua de 62,007 L a 51,546 L, logrando un ahorro de aproximadamente 10,461 L, equivalente a una reducción del 16.9%.

El tiempo promedio de riego pasó de 94.0 min a 78.1 min, con una disminución del 16.9%. Estas reducciones reflejan una mejora significativa en la eficiencia del sistema y un menor esfuerzo operativo.

Nota metodológica: las pruebas del sistema convencional se realizaron entre marzo y abril de 2025, mientras que las del sistema automatizado se desarrollaron entre mayo y junio del mismo año, bajo condiciones climáticas similares. Los resultados confirman que el sistema automatizado es capaz de responder dinámicamente a la humedad del suelo del pasto Marandú, evitando riegos innecesarios y optimizando el uso del recurso hídrico.

El siguiente instrumento de validación corresponde al Indicador 1: Cumplimiento de los requerimientos del sistema, y tiene como finalidad verificar que el sistema de riego automatizado opere dentro de los parámetros funcionales establecidos en el diseño. Este checklist permite evaluar la precisión de los sensores, la estabilidad operacional del controlador y el tiempo de respuesta del sistema durante las pruebas de desempeño. Su aplicación garantiza que el prototipo cumpla con los criterios mínimos de confiabilidad y rendimiento necesarios para su implementación en campo.

Tabla 9. Checklist de los cumplimientos del sistema

N°	Requisito técnico a validar	Criterio esperado	Método de verificación	Cumple (Sí/No)	Observaciones
1	Verificar precisión del sensor de humedad	$\geq 95 \%$	Comparación contra medición patrón/calibrada	SI	-
2	Verificar precisión del sensor DHT22 (temperatura)	$\geq 95 \%$	Comparación con termómetro patrón	SI	-
3	Verificar precisión del sensor DHT22 (humedad ambiente)	$\geq 95 \%$	Comparación con higrómetro patrón	SI	-
4	Verificar estabilidad de lectura del sistema	$\geq 90 \%$ sin fluctuaciones anormales	Registro continuo Durante 20 ciclos	SI	-
5	Tiempo de respuesta del controlador al activar una zona	$< 1 \text{ s}$	Prueba cronómetro/log serial	SI	-
6	Tiempo de actualización de lectura de sensores	$< 1 \text{ s}$	Prueba mediante logs de muestreo	SI	-
7	Funcionamiento continuo sin	100 % operación estable	Prueba de estrés (30–60 min)	SI	-

N°	Requisito técnico a validar	Criterio esperado	Método de verificación	Cumple (Sí/No)	Observaciones
	reinicios inesperados				
8	Integridad de comunicación HC-12	Sin pérdida de paquetes >10 %	Monitoreo recepción/transmisión	SI	-
9	Funcionamiento correcto de las electroválvulas	Actúan sin retrasos ni fallos	Activación manual/automática	SI	-

Conclusión del indicador: Se comprobó que le sistema trabaja de manera correcta bajo condiciones de trabajo normales

X Sí No

Responsable de la validación: Peter Josué González Flores

Fecha: 20-07-25

Resumen Indicador Uno

La verificación de los parámetros operativos evidenció que el sistema cumple con los criterios funcionales definidos en el diseño. Los sensores de humedad y ambientales mantienen una precisión superior al 95 %, mientras que la estabilidad de lectura supera el umbral mínimo del 90 %, sin registrar variaciones fuera del comportamiento esperado. El controlador ejecuta las órdenes de activación y muestreo con tiempos de respuesta inferiores a 1 segundo, garantizando una operación en tiempo real.

La comunicación mediante módulos HC-12 presentó niveles de pérdida de datos dentro de rangos aceptables para aplicaciones de campo, y los procesos de almacenamiento en la tarjeta SD se realizaron sin errores de integridad. Asimismo, las electroválvulas demostraron un funcionamiento estable y sin retardos durante las pruebas de activación automática y manual.

En términos generales, la validación confirma que el sistema presenta un desempeño consistente, confiable y alineado con los requerimientos técnicos establecidos, por lo que el Indicador 1 se considera cumplido.

El Indicador 2 evalúa el grado de automatización alcanzado por el sistema de riego, considerando la proporción de procesos que el prototipo ejecuta sin intervención manual. Este instrumento permite verificar la capacidad del sistema para gestionar de manera autónoma la adquisición de datos, la toma de decisiones, la activación de zonas de riego y el registro de información operativa. Su aplicación garantiza que el prototipo cumpla con el criterio mínimo de automatización establecido ($\geq 80\%$) y que los procesos críticos se ejecuten bajo control lógico del microcontrolador, asegurando eficiencia y consistencia operativa en campo.

Tabla 10. Grado de Automatización del Sistema

Nº	Proceso evaluado	Criterio esperado	Método de verificación	de Cumple (Sí/No)	Observaciones
1	Adquisición automática de datos de humedad del suelo	Automatizado	Revisión de logs y funcionamiento real	SI	
2	Lectura automática de temperatura y humedad ambiente (DHT22)	Automatizado	Pruebas de muestreo	SI	
3	Transmisión automática de datos mediante HC-12	Automatizado	Revisión de registros enviados/recibidos	SI	
4	Procesamiento automático para decisión de riego	Automatizado	Verificación del algoritmo de control	SI	
5	Activación automática de electroválvulas por umbral de humedad	$\geq 80\%$ automatizado	Prueba funcional	SI	
7	Actualización automática del estado de zonas en pantalla LCD	Automatizado	Revisión de interfaz durante operación	SI	

N°	Proceso evaluado	Criterio esperado	Método de verificación	de Cumple (Sí/No)	Observaciones
8	Gestión automática del modo de riego configurado por usuario	Automatizado	Prueba de cambio de modo	SI	
9	Control automático del intervalo de muestreo	Automatizado	Revisión de tiempos en logs	SI	
10	Interacción automática entre módulos (sensores– HC12–controlador)	Sin intervención manual	Prueba de integración	SI	

Resumen del grado de automatización del sistema

Los resultados del proceso de validación permiten determinar que el sistema alcanza un nivel de automatización superior al mínimo establecido. La adquisición de datos, el análisis de umbrales, la toma de decisiones de riego y la activación de zonas se ejecutan de forma autónoma, representando más del 80 % de los procesos operativos. El flujo de información entre los módulos HC-12, el controlador principal y los sensores se realiza sin intervención manual, y el registro de datos en la tarjeta SD se efectúa de manera independiente dentro de los ciclos programados. En conjunto, la evidencia confirma que el prototipo implementa correctamente los principios de automatización definidos en el diseño, garantizando una operación continua y autónoma. Por lo tanto, el Indicador 2 se considera cumplido.

La siguiente tabla presenta la estimación detallada de los costos asociados al diseño e implementación del sistema de riego automatizado desarrollado en este estudio. El empleo de tecnologías de bajo costo, como microcontroladores Arduino, sensores ambientales y módulos de comunicación de corto alcance, se alinea con las recomendaciones de la FAO para promover tecnologías accesibles de eficiencia hídrica en pequeños sistemas agrícolas (FAO, 2021). Asimismo, este análisis permite comparar la viabilidad económica del prototipo con sistemas comerciales y académicos reportados en la literatura, donde los costos

de implementación suelen variar considerablemente según el nivel de automatización y conectividad disponible (Gutiérrez et al., 2014; Shinde & Thokal, 2018).

Tabla 11. Costos de materiales del prototipo de controlador de riego automatizado

Concepto	U/M	Cantidad	Costo unitario	Total (NIO)	Total (US)
LCD200412C	Unidad	1	400	500	13.64
Resistencia de uso general ¼w	Unidad	20	4	80	2.18
Soporte de montaje para Led 5MM	Unidad	2	10	20	0.55
Pulsador redondo 12 MM verde PBS -336	Unidad	1	20	20	0.55
Pulsador resopndo azul PBS -336	Unidad	1	20	20	0.55
Jumper macho hembra 20 cm paquete de 40	Unidad	1	120	120	3.27
Pulsador redondo 12 MM Amarillo PBS- 336	Unidad	2	20	40	1.10
Led de 5 mm rojo	Unidad	1	5	5	0.14
Caja plexo 22x17x8cm	Unidad	1	430	430	11.73
RTC DS3231	Unidad	1	350	350	9.55
Módulo 4 relé	Unidad	1	500	500	13.64
Módulo relé de 30 A	Unidad	1	182	182	5
Condensador 100uF	Unidad	1	20	20	0.55
Lm7805	Unidad	1	80	80	2.18
Arduino nano	Unidad	5	180	900	24.7
Electro válvulas 3/4"	Unidad	4	300	1200	32.73
Sensor de humedad y temperatura ambiente DHT 22	Unidad	1	250	250	6.82

Concepto	U/M	Cantidad	Costo unitario	Total (NIO)	Total (US)
Cargador de baterías 18650	Unidad	4	43.68	174.72	4.8
Módulo HC-12	Unidad	5	145.6	728	20
Kit placas PCB	Unidad	1	509.6	509.6	14
Adaptador MicroSD	Unidad	1	72.8	72.8	2
Sensor de humedad del suelo analógico	Unidad	4	163.8	655.2	18
Medidor de flujo de agua	Unidad	1	400.4	400.4	11
Baterías de litio 18650	Unidad	4	172.9	691.6	19
Paneles solares 5v	Unidad	4	116.48	465.92	12.8
Total				8415.24	230.1

Tabla 12. Cuadro comparativo de precios de otros sistemas de riego automatizados

Sistema comparado	Costo aproximado	Funcionalidades	Comparación
Controladores comerciales (Rain Bird, Hunter, Toro)	USD 350–1200	Durabilidad superior, conexión WiFi, programación remota	Más costosos; tu sistema es más económico y adecuado para zonas rurales.
Sistemas Arduino en literatura académica	USD 250–400	Automatización básica y monitoreo	Tu sistema es más barato y agrega comunicación HC-12 y registro SD.

Resumen de los costos del Controlador Automatizado

El costo total del sistema, equivalente a USD 235.30, sitúa al prototipo dentro de la categoría de soluciones de automatización agrícola de bajo costo, lo cual representa una ventaja comparativa importante frente a sistemas comerciales cuyo precio puede superar los USD 350 e incluso alcanzar los USD 1,200 en sus versiones con conectividad avanzada (Hunter Industries, 2023; Rain Bird Corporation, 2022; Toro Irrigation, 2023).

La arquitectura modular basada en Arduino y comunicación HC-12 permite reducir los costos sin comprometer la funcionalidad, lo que concuerda con estudios previos donde los sistemas de riego automatizado basados en plataformas de código abierto han demostrado ser económicamente más accesibles en comparación con alternativas industriales (Gutiérrez et al., 2014; Shinde & Thokal, 2018). Por lo tanto, el sistema desarrollado no solo cumple con el indicador de desviación presupuestaria $\leq 5 \%$, sino que también presenta una relación costo-beneficio favorable para productores con recursos limitados.

5.8. Reconocimiento y Validación Institucional del Sistema de Riego Automatizado

La validación del sistema de riego automatizado desarrollado con microcontrolador Arduino se fortaleció mediante la participación activa en espacios de evaluación tecnológica a nivel departamental y nacional. En primera instancia, el proyecto fue presentado en el certamen departamental de Innovación Agropecuaria “Agro Innovación”, realizado en el municipio de Estelí. En este evento, se representó a la Universidad Francisco Luis Espinoza Pineda (UNFLEP) en coordinación con el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), donde se expuso el funcionamiento integral del sistema, su aplicabilidad en fincas de pequeña y mediana escala, así como los beneficios asociados a la automatización del riego.

Durante esta actividad, especialistas y productores pudieron constatar el desempeño técnico del prototipo, su estabilidad operativa y su potencial para optimizar el uso eficiente del agua, reducir costos y mejorar la productividad agrícola. La retroalimentación obtenida permitió reafirmar la pertinencia del diseño y su alineación con las necesidades reales del sector agropecuario del país.

Posteriormente, el proyecto también fue sometido a un proceso de validación en el Certamen Nacional de Aplicaciones Digitales para la Agricultura y Ganadería, llevado a cabo en el Centro de Desarrollo de Tecnologías Agropecuarias “Comandante Fidel Castro”, ubicado en el municipio de Posoltega, departamento de Chinandega, Nicaragua. Este espacio reunió a instituciones académicas, expertos en tecnologías aplicadas al campo y productores provenientes de diferentes regiones del país.

La participación en esta plataforma nacional permitió demostrar la solidez técnica del sistema, evidenciando su escalabilidad, su arquitectura modular y su potencial para ser implementado en distintas condiciones agroecológicas. Asimismo, el certamen destacó el

aporte innovador del proyecto, orientado a promover soluciones accesibles, sostenibles y tecnológicamente eficientes para el sector rural.

En conjunto, ambos procesos de validación confirmaron que el sistema de riego automatizado constituye una herramienta viable y pertinente para contribuir al desarrollo tecnológico del sector agropecuario nicaragüense, respaldando su utilidad tanto en contextos productivos tradicionales como en procesos de modernización agrícola.

VIII. CONCLUSIONES

Un sistema de riego automatizado con el microcontrolador Arduino es una idea innovadora ya que ofrece múltiples beneficios y demuestra ser una solución eficaz que vendrá a mejorar los sistemas de riego convencionales.

El sistema de riego automatizado mostro resultados positivos ante el sistema de riego convencional, con el microcontrolador Arduino Se obtuvo un ahorro notable del recurso hídrico del 16.9% lo que equivale 10,461 litros de agua siendo un impacto positivo en términos económicos y ambientales, así mismo la reducción de tiempo al momento de regado el tiempo promedio de riego de 94,0 minutos paso a 78,1 minutos obteniendo una reducción promedio de 15 o 16 minutos por tiempo de regado lo que implica menos esfuerzo operativo mayor confort para el usuario, ya que este trabaja de manera autónoma y responde dinámicamente a la humedad del suelo.

Lo que significa que el sistema de riego automatizado con Arduino no solo es eficiente, sino que también es sostenible y adaptable a las condiciones reales del cultivo y el entorno.

IX. RECOMENDACIONES

Integrar tecnologías adicionales para agricultura de precisión, como sensores de nivel, presión o radiación solar, para ampliar la capacidad del sistema y optimizar el manejo del recurso hídrico.

Capacitar al personal encargado del sistema, asegurando un manejo adecuado, prevención de fallas y mantenimiento eficiente de los componentes electrónicos e hidráulicos.

Realizar inspecciones semanales, verificando fugas, obstrucciones y funcionamiento adecuado de sensores y electroválvulas, evitando fallos que afecten la eficiencia del riego.

Aplicar un plan básico de mantenimiento preventivo, que incluya limpieza de sensores, revisión de conexiones y pruebas periódicas de activación.

Fortalecer la autonomía energética mediante una mejor gestión de los paneles solares y baterías, especialmente en zonas rurales con energía inestable.

Incorporar un sistema de alertas o monitoreo remoto, para detectar fallas o condiciones anómalas sin necesidad de supervisión constante.

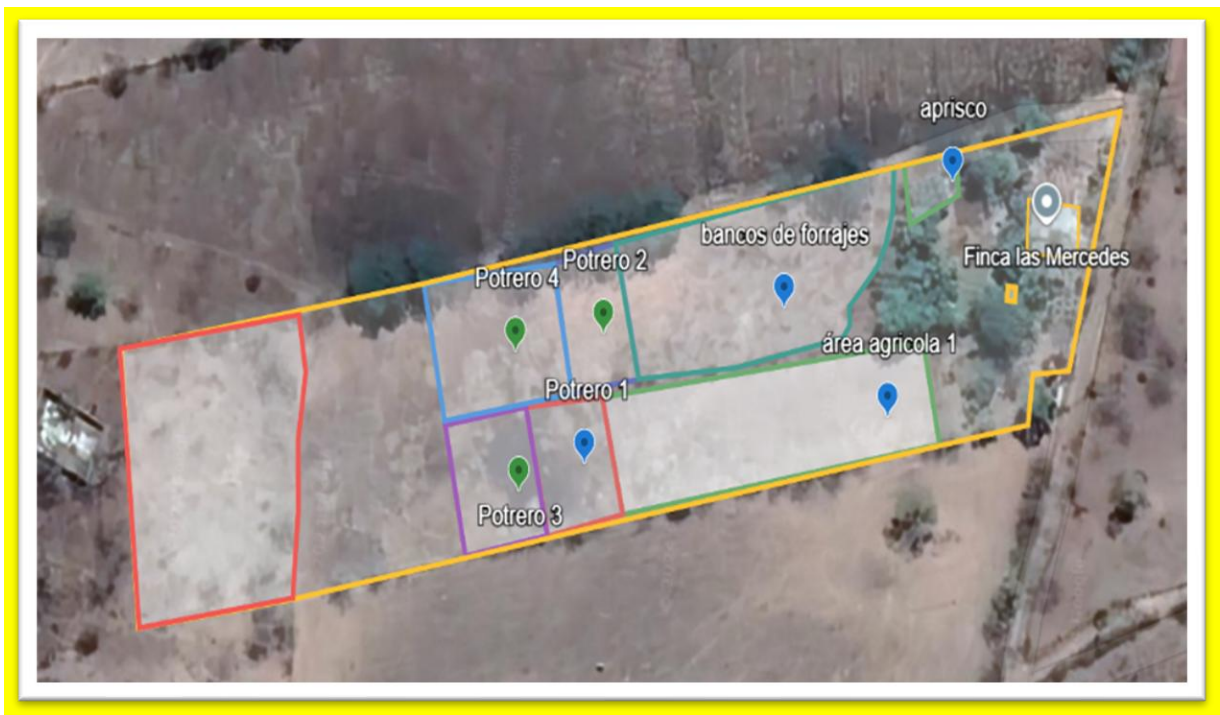
X. LITERATURA CITADA

- Guijarro , A., Cevallos , L., Preciado , D., & Zambrano, B. (2018). *Sistema de riego automatizado con Arduino*. <file:///E:/SECURITY/MICROCONTROLADOR/D3.pdf>
- Cortes , V., & Vargas , M. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante iot en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias marie poussepin. bogotá, colombia*. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25546>
- Velasquez, O. (2021). *Desarrollo de un sensor de humedad de suelo para sistemas de riego automatizados*. Managua, Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/4341/>
- Bustos , D. (2017). *Propuesta de un sistema de control y automatizacion con administracion remota a travezde un smartphone android para el riego del cultivo de lechuga en la finca los almendros del departamento de jinotega en el año 2017*. Managua, Nicaragua. <https://repositorio.unan.edu.ni/8246/1/97476.pdf>
- Arduino. (n.d.). *What is Arduino?*. Arduino. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Monk, S. (2020). *Programming Arduino: Getting Started with Sketches (3rd ed.)*. McGraw-Hill Education. <https://simonmonk.org/prog-arduino-3ed>
- Igoe, T. (2020). *The Making of Arduino*. <https://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino>
- Banzi, M. (2020). *The Making of Arduino*. <https://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino>
- Arduino Team. (2021). *Sense the future of smart agriculture with Arduino Edge Control*. <https://blog.arduino.cc/2021/04/22/sense-the-future-of-smart-agriculture-with-arduino-edge-control/>
- The Engineering Projects. (2023). *Smart Irrigation System using Arduino UNO*. [The Engineering Projects](https://www.theengineeringprojects.com/2023/04/smart-irrigation-system-using-arduino-uno/)
- Byjus. (2023). *What Is Irrigation? - Types, Methods, and Importance of Irrigation*. <https://byjus.com/biology/irrigation/>
- Fiveable. (2023). *Irrigation Systems: Definition and Role in Agriculture*. <https://library.fiveable.me/>

- ClearIAS. (2023). *Different Types of Irrigation and Irrigation Systems*.
<https://www.clearias.com/different-types-of-irrigation-and-irrigation-systems>
- Mottech. (2024). *Types of Irrigation Systems for Agriculture*.
<https://www.mottech.com/types-of-irrigation-systems-for-agriculture>
- Grupohidraulica (2023). *Innovaciones recientes en automatización de riego*.
<https://grupohidraulica.com>.
- Tecnopia (2024). *Diseño de un Sistema de Riego Automatizado: Innovación y Sostenibilidad en la Agricultura*. <https://tecnopia.org>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Irrigation and Drainage: Technologies for Efficient Water Use*. <https://www.fao.org/3/i8029en/i8029en.pdf>
- Gutiérrez, J., Villa-Medina, J. F., López-Guzmán, A., & Porta-Gándara, M. Á. (2014). *Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module*.
<https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2276487>
- Hunter Industries. (2023). *Smart Irrigation Controllers Overview*.
<https://www.hunterindustries.com/products/smart-controllers>
- Rain Bird Corporation. (2022). *Smart Irrigation Systems Catalog*.
<https://www.rainbird.com/products/controllers>
- Shinde, P., & Thokal, R. (2018). *Smart Drip Irrigation System Using IoT*.
<https://doi.org/10.15662/IJAREEIE.2018.0702003>
- Toro Irrigation. (2023). *Smart Irrigation Solutions*. <https://www.toro.com/en/irrigation>

XI. ANEXOS

Anexo 1. Ubicación y distribución de la finca Las Mercedes Somoto-Madriz



Anexo 2. Entrevista de validación de controlador de riego automatizado



Estimado/a,

Gracias por participar en la validación del controlador de riego automatizado con Arduino. Sus respuestas son clave para mejorar nuestro diseño y garantizar que cumpla con las necesidades de la finca.

La entrevista se dividirá en varias secciones para explorar su experiencia con el sistema y recopilar sugerencias que nos permitan perfeccionar su funcionamiento. Queremos que comparta libremente sus opiniones, experiencias y sugerencias.

Duración aproximada: 20-30 minutos.

Nota: La información proporcionada será utilizada exclusivamente para mejorar el sistema.

Sección 1: Diseño del sistema

1. ¿Le parece intuitiva y fácil de usar la interfaz del sistema (pantalla, botones, menú)?
 - ¿Qué elementos específicos encuentra útiles o mejorables?
2. ¿Cree que el diseño del prototipo satisface las necesidades de la finca?
 - Si no, ¿qué le falta o podría mejorar?

Sección 2: Funcionamiento del sistema

4. ¿El sistema cumple con los requerimientos técnicos y funcionales que esperaba?
 - ¿Hay algo que le gustaría que hiciera mejor?

5. ¿Ha notado una reducción en el trabajo manual relacionado con el riego desde la implementación del sistema?
 - Si sí, ¿en qué tareas específicas lo ha sentido?
6. ¿Cree que la automatización del sistema es suficiente para alcanzar los objetivos de riego de la finca?
 - ¿Qué procesos le gustaría que se incluyeran o mejoraran?

Sección 3: Eficiencia del sistema

7. ¿Ha notado una reducción en el consumo de agua desde que utiliza el sistema?
 - ¿Tiene algún ejemplo o comparación con métodos anteriores?
8. ¿Diría que el sistema ha mejorado significativamente la eficiencia del riego en la finca?
 - ¿Por qué sí o por qué no?

Sección 4: Aspectos económicos

9. ¿Cree que el presupuesto del sistema es razonable y accesible para pequeños productores?
 - ¿Qué elementos del costo considera más justificados o elevados?
10. ¿Considera que el sistema representa una inversión rentable?
 - ¿Por qué sí o por qué no?

Sección 5: Comentarios adicionales

11. Desde su perspectiva, ¿qué aspectos del sistema le gustaría mejorar?
12. ¿Qué características del sistema considera más útiles o prácticas?

Anexo 3. Entrevista de validación de controlador de riego automatizado

Hoja de Campo - Consumo de agua sistema convencional

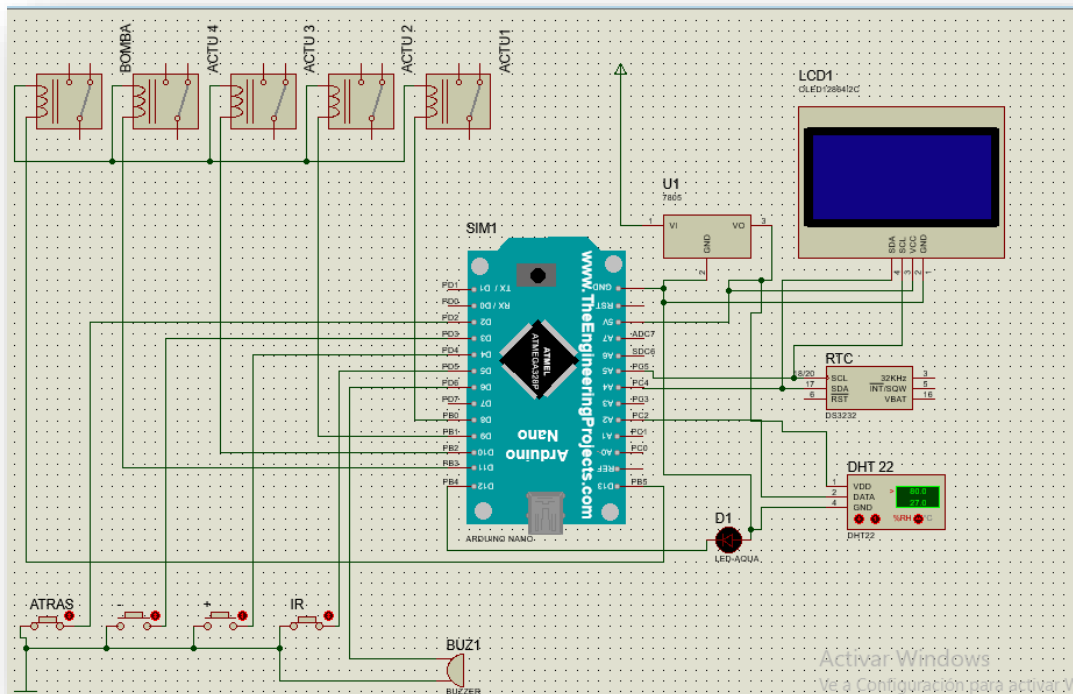
Fecha	Ciclo	Hora inicio	Hora fin	Duración (min)	Volumen (L)	Observaciones

Hoja de Campo – Registros de Riego Automático

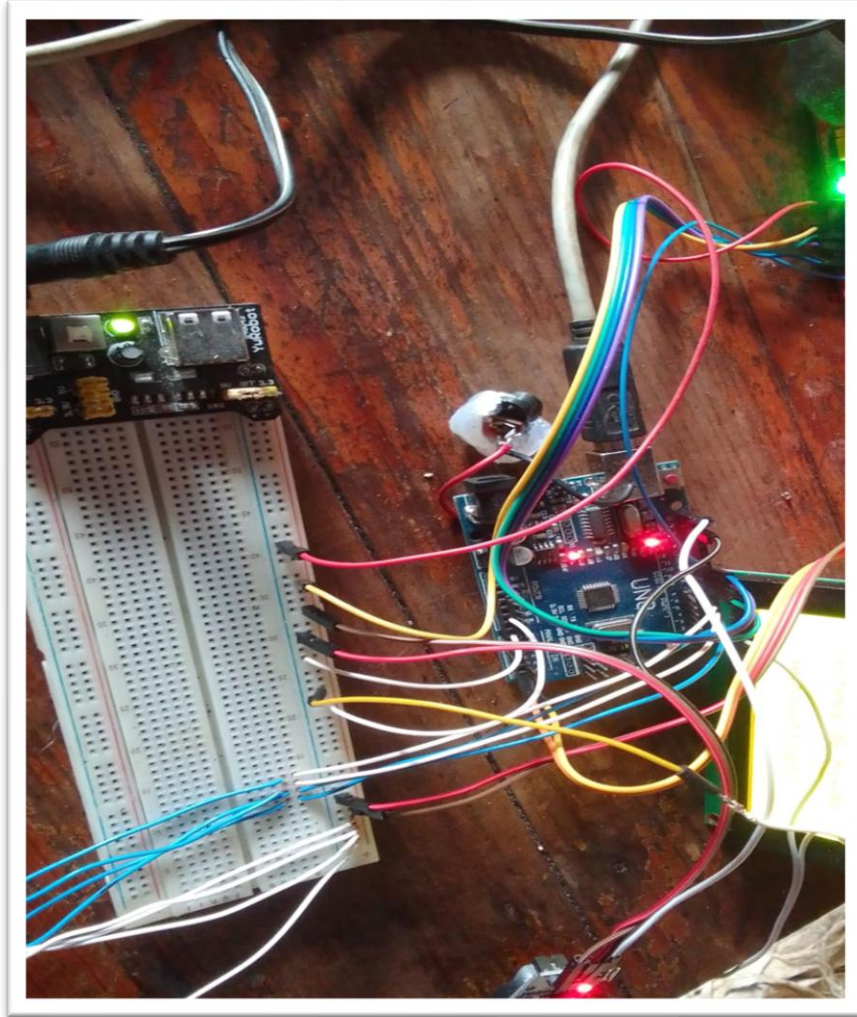
Fecha	Ciclo	Hora inicio	Hora fin	Duración (min)	Volumen (L)	Observaciones

Anexo 4. Galería fotográfica

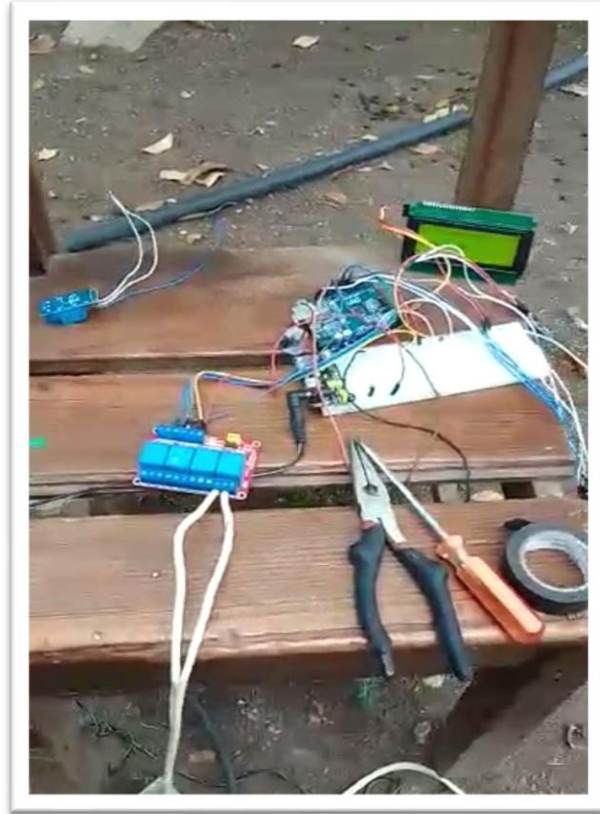
Diagrama de conexiones del sistema realizado con proteus



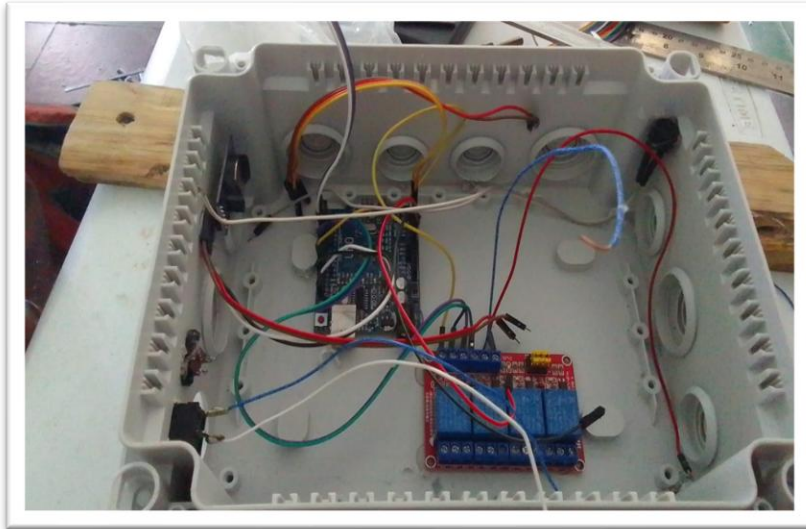
Inicio de programación del sistema usando el IDE de Arduino



Montaje del prototipo para presentación y pruebas de funcionamiento



Prueba del funcionamiento del sistema (Actuadores)

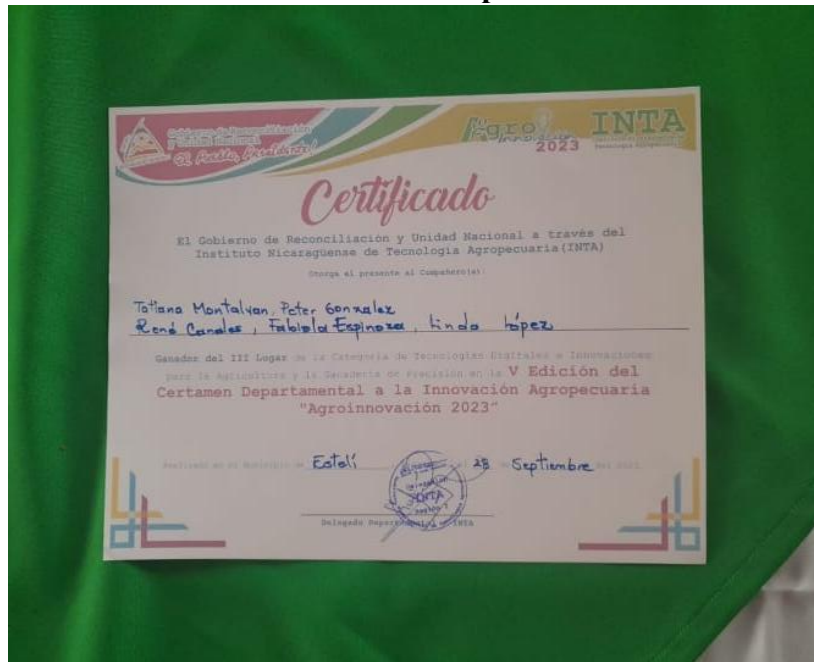


Pruebas de campo de los sensores de humedad de suelo en pasto marandu





Certificado del certamen Departamental Estelí



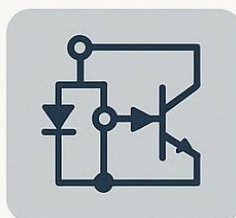
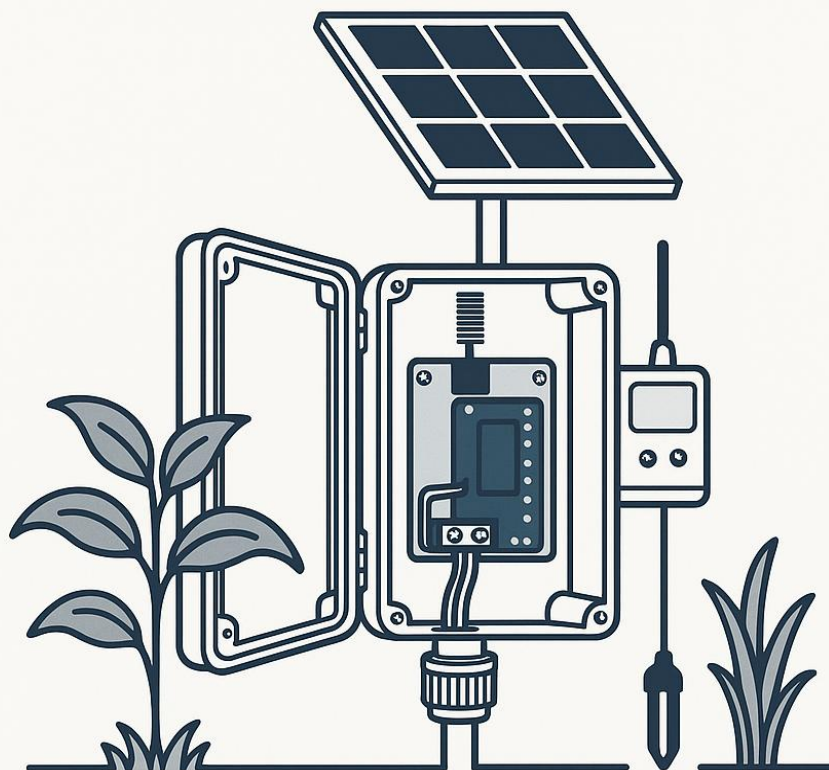
Agro Innovación Certamen Nacional



Evaluación del jurado Calificador y de productores



MANUAL DE FUNCIONAMIENTO SISTEMA DE RIEGO



⚙️ I. Especificaciones Técnicas	67
⚠️ II. Advertencias de Seguridad	68
⚙️ III. Partes del Sistema	69
□ Pantalla frontal	69
• Unidad de Control	70
• Sistema hidráulico	71
• Módulo inalámbrico no definido.	¡Error! Marcador
🔍 IV. Descripción de Partes	72
🔧 V. Funcionamiento del Sistema	74
VI. MANTENIMIENTO BÁSICO	76
6.1 Limpieza del sistema hidráulico	76
6.2 Mantenimiento de sensores de humedad	76
6.3 Verificación del reloj interno (RTC)	76
6.4 Revisión del panel solar y batería	77
6.5 Electroválvulas y conexiones eléctricas	77
6.6 Limpieza de la caja controladora	77
6.7 Mantenimiento preventivo trimestral Marcador no definido.	¡Error!

⚙️ I. Especificaciones Técnicas

Elemento	Especificación
Controlador principal	Arduino Nano (gestiona menú, zonas de riego y medición de flujo)
Voltaje de funcionamiento	110 V AC (alimentación principal del sistema)
Controlador secundario	Arduino Nano dedicado a sensores, comunicación vía HC-12
Comunicación inalámbrica	2 módulos HC-12 (controlador ↔ módulo de sensores)
Zonas de riego	4 zonas activas (expandible hasta 8 zonas)
Actuadores	4 electroválvulas de 3/4" (12 V) + control de bomba
Sensores instalados	4 sensores de humedad del suelo, DHT22, sensor de flujo de agua
Interfaz de usuario	Pantalla LCD 20×4 + 4 botones (Arriba, Abajo, Enter, Atrás)
Alimentación interna	Entrada 12 V → regulador a 5 V para módulos y lógica
Modos de operación	Manual / Automático

⚠ II. Advertencias de Seguridad

Para garantizar su seguridad y la vida útil del equipo, lea esto antes de encender:

⚠ Energía Eléctrica: Siempre desconecte la fuente de alimentación de 12V antes de conectar o desconectar cables, válvulas o la bomba.

⚠ Humedad y Electrónica: Aunque es un sistema de riego, la caja de control (Arduino/Pantalla) **NO es sumergible**. Manténgala seca y use las manos secas al operar los botones.

⚠ Conexiones: Nunca conecte las válvulas directamente a los pines del Arduino; el sistema usa módulos de relés internos para protección.

⚠ Apagado Correcto: Para apagar, desconecte la energía y espere 5 segundos antes de manipular cualquier componente interno.

III. Partes del Sistema

Pantalla frontal

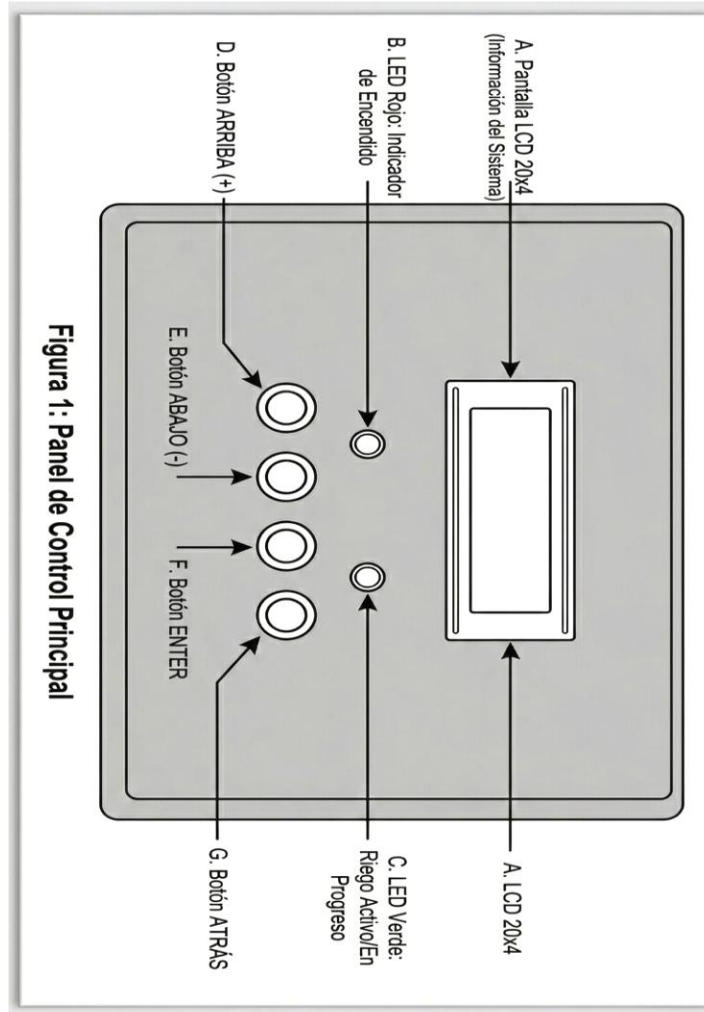


Figura 1: Panel de Control Principal

- Unidad de Control

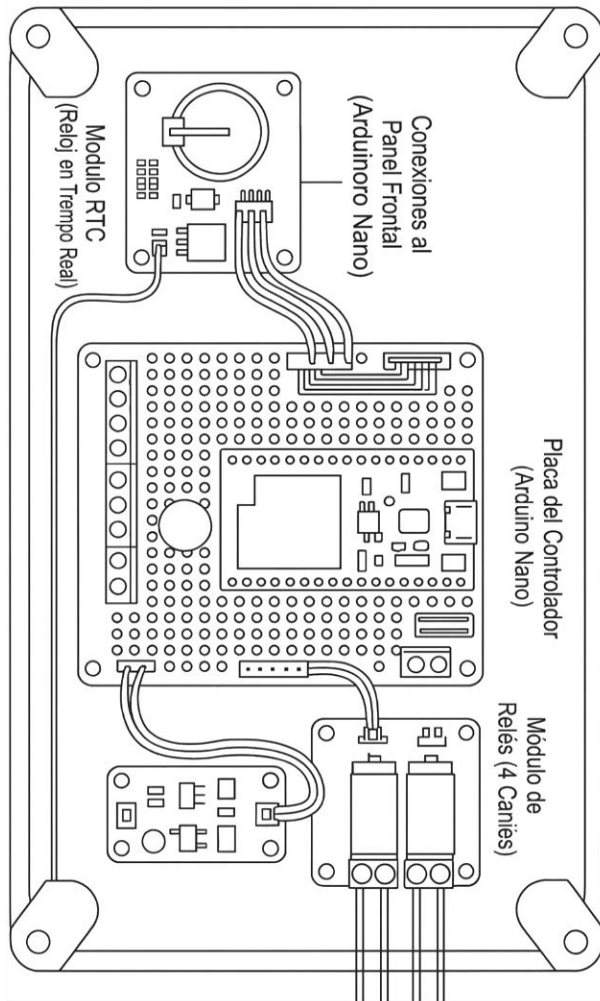


Figura 6: Vista Interna de los Componentes en la Caja de Control

- Sistema hidráulico

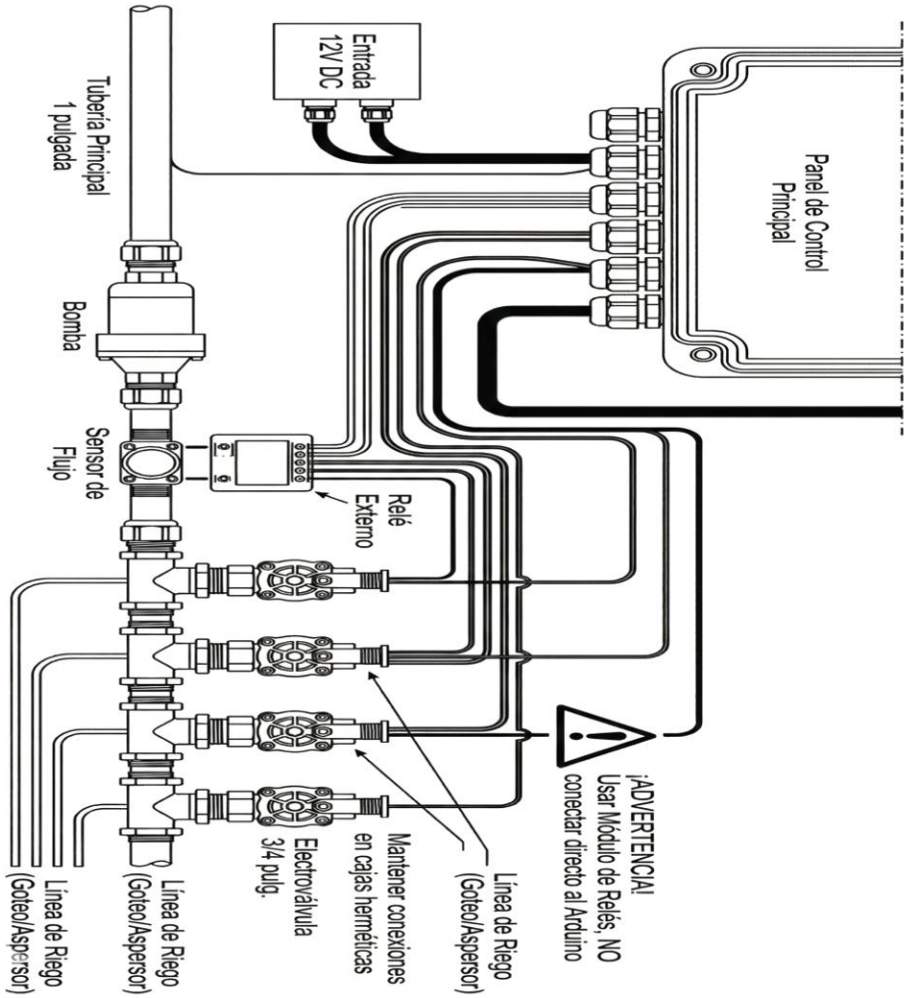
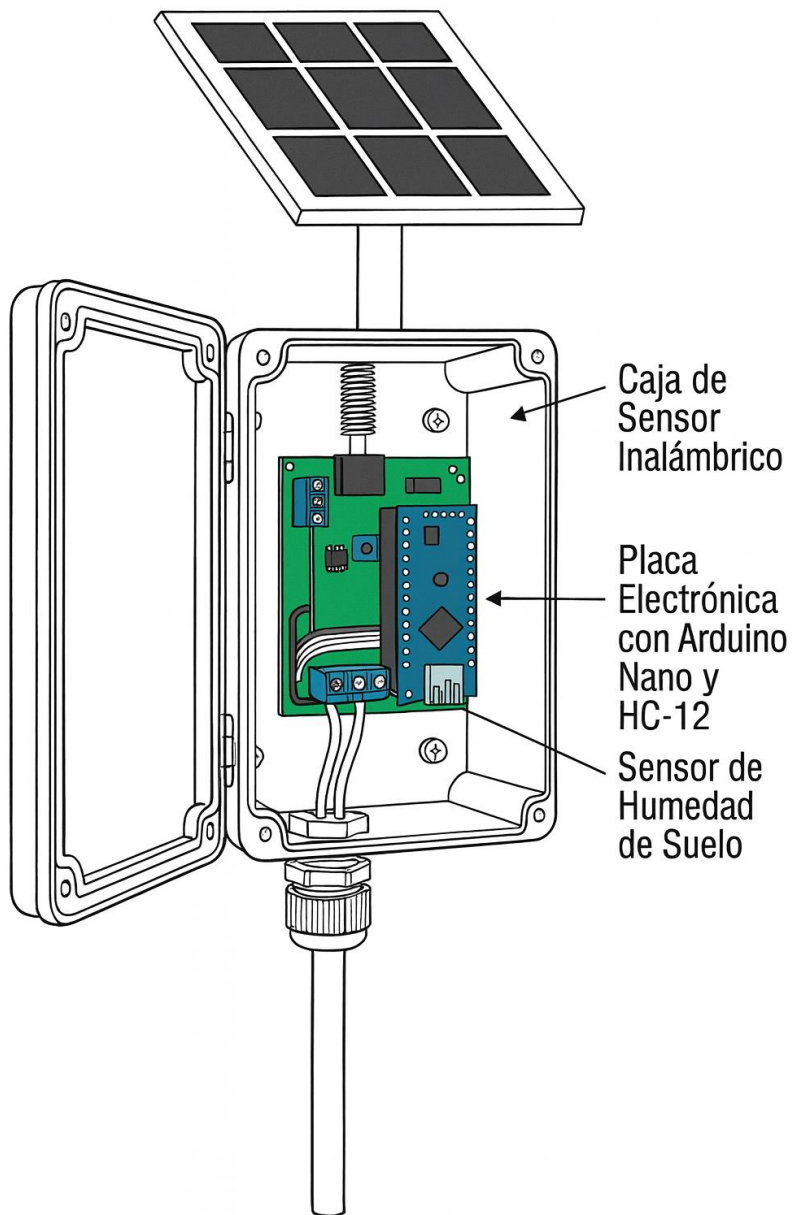


Figura 3: Diagrama de Instalación Hidráulica y Eléctrica Típica (Unidad Central)

• Módulo inalámbrico



IV. Descripción de Partes

Parte	Descripción breve
Arduino controlador	Gestiona menú, zonas y decisiones de riego.
Arduino de sensores	Lee humedad del suelo y envía datos vía HC-12.
Pantalla LCD 20×4	Muestra estado del sistema, menú y alertas.
Botonera	Permite navegar: Arriba, Abajo, Enter y Atrás.
RTC	Mantiene fecha y hora.
Electroválvulas	Abren o cierran agua por zona.
Relés	Activan válvulas y bomba de forma segura.
HC-12	Comunicación inalámbrica.
Sensor de flujo	Detecta caudal y fallas.
Sensores de humedad	Miden humedad para riego automático.
Buzzer	Emite alertas sonoras.
LEDs	Rojo: encendido Verde: riego activo.

V. Funcionamiento del Sistema

5.1. MODOS DE OPERACIÓN

A. Riego Automático (Recomendado) El sistema trabaja solo. Monitorea los sensores las 24 horas.

- Si la humedad de una planta baja del "Umbral" (ej. 30%), el sistema abre la válvula automáticamente.
- Se apaga sola cuando recupera la humedad necesaria.

B. Riego Manual Úselo para pruebas o riego extra.

1. Entre al Menú > "Riego Manual".
2. Seleccione la Zona (1-4).
3. Presione ENTER para activar.

C. Configuración Puede cambiar la sensibilidad de los sensores en el menú "Configuración de Zonas" para que riegue más o menos frecuente.

5.2 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO

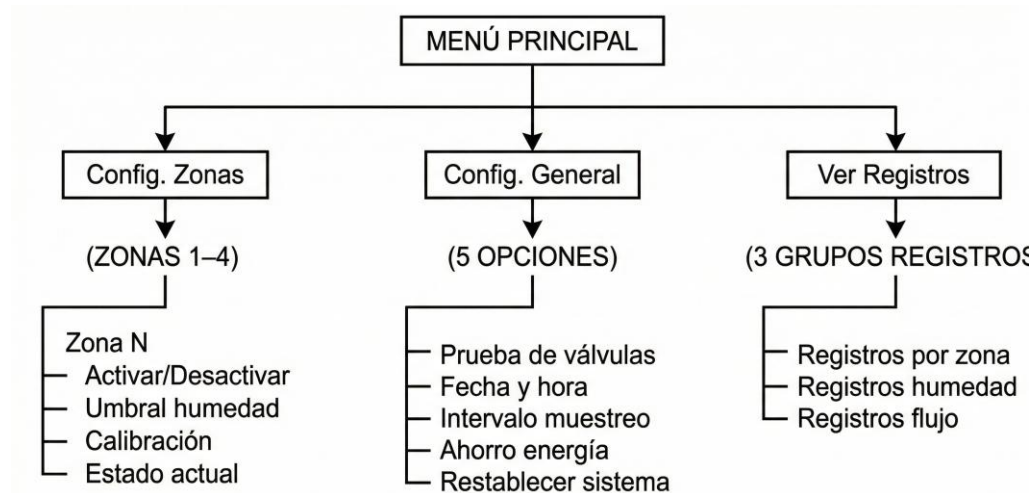


Figura 5: Mapa de Navegación del Menú del Sistema

¿Cómo "piensa" el sistema?

1. **Lectura:** El Arduino secundario lee los sensores en el campo.
2. **Transmisión:** Envía los datos por radio (HC-12) a la consola principal.
3. **Decisión:** El programa principal compara: *¿La tierra está seca?*
 - **SÍ:** Activa Relé -> Abre Válvula -> Enciende Bomba.
 - **NO:** Mantiene todo apagado para ahorrar agua y energía.
4. **Seguridad:** Si el sensor de flujo no detecta agua al regar, el sistema puede alertar para proteger la bomba.

VI. MANTENIMIENTO BÁSICO

El sistema está diseñado para funcionar con un mantenimiento mínimo; sin embargo, realizar revisiones periódicas garantiza un rendimiento óptimo y prolonga la vida útil de cada componente. A continuación, se describen las tareas recomendadas:

6.1 Limpieza del sistema hidráulico

Revise periódicamente la tubería principal y las líneas de riego para asegurarse de que no presenten acumulación de tierra, algas o sedimentos que puedan obstruir los goteros o disminuir la presión del sistema.

- Limpie filtros si los utiliza.
- Asegúrese de que no existan fugas en uniones o conexiones.

6.2 Mantenimiento de sensores de humedad

Los sensores deben estar libres de suciedad para obtener lecturas precisas.

- Si detecta valores anómalos, extráigalos cuidadosamente del suelo.
- Limpie la superficie activa con un paño ligeramente húmedo.
- Evite el uso de objetos abrasivos o detergentes.

6.3 Verificación del reloj interno (RTC)

La hora correcta es fundamental para registros y eventos programados.

- Revise la hora cada 1–2 meses.
- Ajuste la hora desde el menú de configuración si observa desajustes.

6.4 Revisión del panel solar y batería

Para garantizar una alimentación estable en el módulo inalámbrico:

- Limpie la superficie del panel solar con un paño suave para retirar polvo o barro.
- Verifique que el panel esté orientado hacia el sol sin sombras.
- Compruebe conexiones y cables en busca de corrosión.
- Si la batería es recargable, revise que no presente hinchamiento ni fuga.

6.5 Electroválvulas y conexiones eléctricas

Asegúrese de que las electroválvulas respondan adecuadamente al abrir y cerrar.

- Active cada válvula desde la función “Prueba de válvulas”.
- Escuche si existe ruido anormal o vibraciones.
- Verifique que las conexiones del módulo de relés estén firmes.
- Compruebe que no haya humedad dentro de las cajas herméticas.

6.6 Limpieza de la caja controladora

Para proteger la electrónica del sistema:

- Retire polvo o suciedad acumulada dentro y alrededor de la caja.
- Asegure que el empaquetado y los sellos estén intactos para evitar entrada de agua.
- Verifique que los cables no estén flojos ni dañados.

6.7 Mantenimiento preventivo trimestral

Cada tres meses se recomienda realizar una revisión general del sistema:

- Registrar el estado de tuberías, válvulas, sensores y panel solar.
- Confirmar valores de humedad y su correspondencia con lecturas en campo.
- Probar la comunicación inalámbrica HC-12.
- Verificar funcionamiento de bomba, sensor de flujo y caudal.
- Revisar las configuraciones clave del sistema (umbrales de humedad, muestras, fecha y hora).