



**UNIVERSIDAD EAN**

Proyecto de Integración

Prototipo de sistema de sensores para el uso en huertas con sistemas de riego inteligentes para la optimización del rendimiento de los cultivos en áreas rurales de Colombia

Cristian Felipe Arias  
John Edward Casas Murcia  
Camilo Vargas Cortes

30 mayo de 2024

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>Tabla de Figuras .....</b>	<b>2</b>
<b>Resumen ejecutivo .....</b>	<b>3</b>
<b>Palabras clave .....</b>	<b>4</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>5</b>
<b>Objetivo general .....</b>	<b>5</b>
<b>Definición del problema .....</b>	<b>7</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>9</b>
<b>Análisis de requerimientos.....</b>	<b>10</b>
<b>Marco de referencia.....</b>	<b>10</b>
<b>Análisis de restricciones.....</b>	<b>19</b>
<b>Metodología para la selección y desarrollo de la solución.....</b>	<b>27</b>
<b>Análisis de costos .....</b>	<b>38</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>45</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>48</b>

### Tabla de Figuras

<b>Ilustración 1 Sensor de Humedad .....</b>	<b>30</b>
----------------------------------------------	-----------

Ilustración 2 Sensor TMP36 .....	30
Ilustración 3 Fotorresistencia .....	31
Ilustración 4 Motor .....	31
Ilustración 5 Arduino .....	32
Ilustración 6 Protoboard .....	32
Ilustración 7 LCD .....	33
Ilustración 8 resistencia .....	33
Ilustración 9 potenciómetro .....	33
Ilustración 10 LED .....	34
Ilustración 11 Prototipo en funcionamiento .....	37
Ilustración 12 Vista esquemática del prototipo .....	38

## **Resumen ejecutivo**

El proyecto se enfoca en desarrollar un prototipo de sistema de sensores destinado a optimizar el rendimiento de los cultivos en huertas de las zonas rurales de Colombia mediante la implementación de sistemas de riego inteligentes. Este enfoque se apoya en tecnologías de vanguardia como Internet de las cosas (IoT) para gestionar de manera eficiente el uso del agua y mejorar la productividad agrícola. La clave del sistema radica en la instalación estratégica de sensores que monitorean la humedad del suelo y regulan el riego de forma automatizada,

adaptándose a las necesidades específicas de cada cultivo y a las variables ambientales. Al adaptarse a diferentes tipos de cultivos, el sistema actúa de manera versátil de acuerdo con los niveles de humedad requeridos por la tierra para la eficiencia del cultivo.

El objetivo principal es mejorar los sistemas de riego existentes en las áreas de cultivo rurales en Colombia para que sea eficiente, rentable y fácil de implementar, para un óptimo desarrollo de los cultivos en las huertas. Para lograr este propósito, es esencial abordar desafíos técnicos como la selección y calibración adecuada de los sensores, la integración fluida de dispositivos IoT, el diseño de software intuitivo para el control y monitoreo del sistema, y la validación del prototipo en entornos controlados representativos de las condiciones reales de las huertas.

### **Palabras clave**

Internet de las cosas, Sistema, Riego inteligente, Eficiencia, Recursos, Inversión

### **Introducción**

El riego es una actividad fundamental para el desarrollo de la agricultura, ya que permite proporcionar el agua necesaria a los cultivos para su crecimiento y producción. Sin embargo, el riego también implica un consumo de recursos hídricos y energéticos que puede afectar al medio ambiente y a la economía. Por ello, es importante optimizar el uso del agua de riego, aplicando la cantidad adecuada en el momento oportuno, según las condiciones climáticas, del suelo y el tipo de cultivo. Para lograr este objetivo, nuestro equipo ha desarrollado una propuesta con la que a través diferentes tecnologías que permiten automatizar y controlar el riego de forma inteligente, utilizando sensores, comunicaciones, software y algoritmos que facilitan la toma de decisiones y la gestión eficiente del agua. Esta tecnología se conoce como sistema de riego inteligente y tienen múltiples beneficios, como el

ahorro de agua y energía, el aumento de la producción y la calidad de los cultivos en cualquier entorno en donde se aplique, la reducción de los costes operativos y la mejora de la sostenibilidad ambiental.

En este contexto, el presente proyecto tiene como tema el desarrollo de un sistema de riego inteligente, que se adapte a las condiciones y requerimientos de un cultivo agrícola, utilizando diversos sensores que determinen la sequedad o la humedad de la tierra, este debe ser capaz de iniciar o se detenerse según las necesidades hídricas del cultivo. El problema que se quiere resolver es cómo diseñar e implementar un sistema de riego inteligente que sea eficiente, económico, fácil de usar y que garantice el óptimo desarrollo del cultivo.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Desarrollar un sistema de sensores para el uso en huertas en áreas rurales de Colombia con sistemas de riego inteligentes (IoT), con el fin de optimizar el uso del agua y mejorar la eficiencia en la producción de cultivos de cualquier tipo que requiera riego hídrico.

### **Objetivos específicos**

- Identificar y calibrar adecuadamente las herramientas a utilizar por medio del programa Tinkercad de autoCAD para garantizar mediciones precisas y confiables.
- Diseñar el prototipo del sistema de riego inteligente utilizando las herramientas de modelado 3D en AutoCAD, asegurando una comunicación fluida y una operación coordinada entre los diferentes componentes.
- Desarrollar un software de control y monitoreo adaptado a los sensores (equipos de monitoreo) que permita medir y aplicar el riego de forma automática y personalizable, adaptándose a las necesidades específicas de cada cultivo y las condiciones ambientales.



## Definición del problema

En la agricultura tradicional, el riego se realiza frecuentemente de manera manual o mediante el uso de temporizadores que no consideran las necesidades específicas de cada cultivo ni las condiciones particulares del suelo y del clima. Esta falta de precisión y personalización en el riego resulta en un uso ineficiente del agua, uno de los recursos más valiosos y limitados. El riego excesivo puede llevar a la saturación del suelo, provocando el escurrimiento superficial y la percolación profunda que arrastra nutrientes y fertilizantes, contaminando las aguas subterráneas y superficiales. Por otro lado, el riego insuficiente puede estresar a las plantas, reduciendo su crecimiento y productividad, lo cual afecta directamente la producción agrícola y la seguridad alimentaria.

Además, la variabilidad climática y los cambios en los patrones de precipitación debido al cambio climático agravan los desafíos relacionados con la gestión del agua para riego. En muchas regiones rurales de Colombia, los agricultores no tienen acceso a sistemas de riego avanzados ni a la información necesaria para tomar decisiones informadas sobre el riego. Esta situación no solo pone en riesgo la producción de cultivos, sino que también afecta la sostenibilidad económica de las comunidades agrícolas. Los métodos tradicionales de riego no pueden adaptarse rápidamente a las fluctuaciones climáticas, lo que hace que los agricultores dependan de prácticas obsoletas y, en muchos casos, insostenibles.

La implementación de un sistema de riego inteligente basado en tecnología IoT se presenta como una solución viable para estos problemas. Sin embargo, su desarrollo enfrenta múltiples desafíos técnicos y logísticos. La selección y calibración adecuada de sensores es crucial para asegurar mediciones precisas de la humedad del suelo y otras variables ambientales. La integración de estos sensores con dispositivos IoT y el desarrollo de un software de control y monitoreo eficiente requieren una planificación meticulosa y pruebas rigurosas. Además, es esencial validar el prototipo en un entorno controlado que simule las condiciones reales de las huertas rurales para garantizar que el sistema funcione de manera óptima en diferentes escenarios agrícolas. Abordar estos desafíos es fundamental para crear un sistema de riego que no solo optimice el uso del agua, sino que también incremente la productividad y minimice el impacto ambiental en la agricultura.



## **Justificación**

La ineficiencia del riego tradicional se manifiesta en su incapacidad para adaptarse a las necesidades específicas de los cultivos y las condiciones del suelo, lo que resulta en un desperdicio significativo de agua. Este enfoque, basado en métodos manuales o temporizadores, no solo agota los recursos hídricos disponibles, sino que también conlleva a la contaminación del suelo y las aguas subterráneas debido al exceso de agua y fertilizantes. Además, su impacto se refleja en una disminución de la productividad agrícola y en la exacerbación de la escasez de agua en muchas regiones.

La necesidad de soluciones innovadoras se vuelve imperativa ante los desafíos planteados por el riego tradicional. El riego inteligente con tecnología IoT emerge como una alternativa viable al ofrecer automatización, precisión y monitoreo en tiempo real del proceso de riego. Este enfoque permite ajustar el suministro de agua de manera óptima según las necesidades específicas de cada cultivo, lo que conlleva a una reducción significativa en el uso de agua, una mejora en la productividad agrícola y una disminución en la contaminación ambiental.

El potencial del sistema de riego inteligente es amplio y abarca desde la optimización del uso del agua hasta el aumento de la productividad agrícola y la mejora en la calidad de vida en las comunidades rurales. Al reducir los costos operativos en la agricultura y generar empleos en el sector, este sistema no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, económica y social, sino que también se posiciona como una herramienta fundamental para transformar la agricultura en general de Colombia hacia prácticas más eficientes y responsables.

Dada la versatilidad que se busca con este proyecto, el sistema debería funcionar en cualquier escenario propuesto, de manera que el estudio de caso sería aplicable en cualquier huerta rural de cultivo de Colombia.

## **Análisis de requerimientos**

El prototipo de sistema de riego inteligente con IoT ofrece una solución innovadora y eficiente para abordar el problema del riego agrícola. Al combinar la tecnología IoT con los conocimientos fundamentales de riego y agricultura, este sistema proporciona numerosos beneficios y contribuciones significativas.

En primer lugar, el sistema permite una gestión precisa y personalizada del riego. Al recopilar datos en tiempo real a través de sensores y el software diseñado, se obtiene información detallada sobre las necesidades hídricas de cada cultivo. Esto permite ajustar la cantidad y el momento del riego de acuerdo con las condiciones específicas de cada planta, evitando el riego excesivo o insuficiente que puede afectar negativamente la salud de los cultivos.

Además, al recopilar y analizar datos sobre variables clave como la humedad del suelo, la temperatura ambiente y la evapotranspiración, el sistema brinda información valiosa para la toma de decisiones informadas en la gestión del riego. Los agricultores pueden acceder a estos datos a través de interfaces intuitivas y amigables, lo que les permite monitorear y controlar el sistema de riego de manera remota y eficiente.

Otro aspecto importante es la optimización del uso del agua. Al aplicar el riego con base a las necesidades reales de cada cultivo, se reduce el desperdicio de agua y se mejora la eficiencia en su uso. Esto no solo tiene beneficios ambientales al conservar un recurso escaso, sino que también permite reducir los costos asociados al consumo de agua en la agricultura.

## **Marco de referencia**

El siguiente marco de referencia contiene bibliografía acerca de la investigación realizada a casos de sistema de riego inteligente aplicados y conceptos específicos sobre el riego adecuado a los diferentes cultivos, a partir de esto, se puede sustentar la base teórica del proyecto:

Tema y Subtema	Teoría / Modelo / Concepto	Descripción o idea central	Autor y Año	Fuente APA
----------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------	------------

1. Riego Inteligente	Eficiencia del riego para aumentar la seguridad alimentaria	La idea central del artículo es la necesidad de mejorar la eficiencia del riego en la agricultura mediante el uso de tecnologías de riego inteligente para satisfacer las crecientes demandas de alimentos.	Manuel Martín Arroyo, 2017	Martín Arroyo, M. (2017). El Riego Inteligente en la Agricultura. iAgua. Recuperado de <a href="https://www.iagua.es/blogs/manuel-martin-arroyo/riego-inteligente-agricultura">https://www.iagua.es/blogs/manuel-martin-arroyo/riego-inteligente-agricultura</a>
2. Frecuencia y tiempos de riego	Programación de riegos	La idea central del artículo es la importancia de la programación de riegos para decidir cuándo se debe regar y cuánta agua hay que aplicar con el fin de cubrir las necesidades hídricas de los cultivos.	Proain, 2020	Proain Tecnología Agrícola. (2020). Frecuencia y tiempos de riego para los cultivos agrícolas. ProainShop. Recuperado de <a href="https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/frecuencia-y-tiempos-de-riego-para-los-cultivos-agricolas">https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/frecuencia-y-tiempos-de-riego-para-los-cultivos-agricolas</a> .

3. IoT en la agricultura	Aplicación de IoT en la agricultura	La idea central del artículo es que la aplicación de IoT a la agricultura está cambiando la forma de producir alimentos. Gracias a la automatización de procesos y la optimización de recursos mediante dispositivos inteligentes y sensores, se están reduciendo gastos y mejorando la rentabilidad y la producción	Inprofit, 2022	Inprofit. (n.d.). IoT en la agricultura - Tecnología para Cultivos inteligentes. Recuperado de <a href="https://inprofit.es/es/blog/iot-en-agricultura-tecnologia-para-cultivos-inteligentes">https://inprofit.es/es/blog/iot-en-agricultura-tecnologia-para-cultivos-inteligentes</a>
4. Sistema de Riego	El artículo presenta la implementación de un sistema de riego automatizado utilizando	La implementación de sistemas de riego automatizados basados en IoT y Agricultura de	Diego H Peluffo, 2016	USCO. (s.f.). <i>Diegopeluffo</i> . Obtenido de Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT):

	tecnología de Internet de las Cosas (IoT) y Agricultura de Precisión para mejorar el control del riego en los cultivos, considerando la evapotranspiración.	Precisión busca mejorar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura, especialmente en regiones donde el agua es escasa o se enfrentan a problemas de sequía.		<a href="https://www.diegopeluffo.com/publicaciones/2016_JornadasFica_IOT.pdf">https://www.diegopeluffo.com/publicaciones/2016_JornadasFica_IOT.pdf</a>
5. Sistema de Riego	Sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante IoT	El sistema consiste en sensores de temperatura, humedad y pH, un microcontrolador Arduino, un módulo de comunicación Wifi, una electroválvula y una plataforma web ThingSpeak.	Valeria Cortes, Marco Vargas, 2020	Cortes Cadavid, V., & Vargas Garcia, M. F. (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. Universidad Católica de

				Colombia. <a href="https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5dbe9100-e30b-4c32-a627-a0492baa7f56/content">https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5dbe9100-e30b-4c32-a627-a0492baa7f56/content</a>
6. Sensores IoT para la automatización de sistemas de riego	Analizar alternativas IoT para la automatización de riego en cultivos, considerando diferentes tecnologías1.	Las tecnologías IoT más accesibles podrían ayudar en los beneficios de los sistemas de riego, fomentando la tecnificación y uso sostenible del agua para riego en concordancia con necesidades locales1.	Lenín Gustavo Viera Molina, Cristian Orlando Guilcaso Molina, 2023	Viera Molina, L. G., & Guilcaso Molina, C. O. (2023). Utilización de sensores IoT para la automatización de sistemas de riego. Dominio de las Ciencias. Recuperado de <a href="https://doi.org/10.23857/dc.v9i4.3691">https://doi.org/10.23857/dc.v9i4.3691</a>
7. Riego Inteligente y Agricultura de Precisión, Revisión de	Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Sensores, Aprendizaje Automático.	Descripción o idea central: Este artículo ofrece una revisión completa de las	S. Li, Y. Zhang, and L. Wang, 2022	Zhang, Y., & Wang, L. (2022). Smart Irrigation and Precision Agriculture: A

tecnologías y prácticas		tecnologías y prácticas de riego inteligente y agricultura de precisión, destacando su potencial para mejorar la eficiencia del agua, la productividad y la sostenibilidad.		Review of Current Trends and Future Directions. Recuperado de <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/9239397">https://ieeexplore.ieee.org/document/9239397</a>
8. Programación de Riegos, Principios y Prácticas	Balance hídrico del suelo, Evapotranspiración, Coeficiente del cultivo	Este artículo describe los principios y prácticas de la programación de riegos, incluyendo la frecuencia y los tiempos de riego, para optimizar el uso del agua y satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos. Se discuten los diferentes métodos para determinar la	Colorado State University Extension, 2023	Colorado State University Extension. (2023). Irrigation Scheduling: Principles and Practices. Recuperado de <a href="https://extension.colostate.edu/topic-areas/agriculture/irrigation-scheduling-4-708/">https://extension.colostate.edu/topic-areas/agriculture/irrigation-scheduling-4-708/</a>

		cantidad de agua necesaria para un cultivo, como el balance hídrico del suelo y la evapotranspiración.		
9. Aplicación de IoT en la Agricultura, Ejemplos de aplicaciones.	Plataformas IoT, Agricultura 4.0, Trazabilidad.	Este artículo analiza cómo el IoT está transformando la agricultura, con ejemplos de aplicaciones en la optimización del riego, la gestión de cultivos y la trazabilidad. Se discuten los beneficios del IoT para la agricultura, como la mejora de la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad.	Cropin, 2023	The Internet of Things in Agriculture: A Review of Enabling Technologies and Applications. Recuperado de <a href="https://www.cropin.com/iot-in-agriculture">https://www.cropin.com/iot-in-agriculture</a>
10. Implementación de Sistemas de	Arduino, ESP8266, Sensor	Este artículo describe la implementación	Circuit Digest, 2023	Circuit Digest. (2023). Implementation

<p>Riego Automatizados, Ejemplo práctico</p>	<p>de humedad del suelo.</p>	<p>de un sistema de riego automatizado utilizando tecnología IoT y Agricultura de Precisión. Se describe el hardware y software necesarios, así como la configuración del sistema.</p>		<p>of IoT-based Irrigation Systems for Precision Agriculture. Recuperado de <a href="https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/iot-based-smart-irrigation-system-using-esp8266-and-soil-moisture-sensor">https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/iot-based-smart-irrigation-system-using-esp8266-and-soil-moisture-sensor</a></p>
<p>11. Sensores IoT para la Automatización de Sistemas de Riego, Análisis de tecnologías</p>	<p>Sensores de humedad del suelo, Sensores de temperatura, Sensores de pH</p>	<p>Este artículo analiza las diferentes tecnologías de sensores IoT para la automatización del riego, incluyendo su funcionamiento, ventajas y desventajas. Se discuten los diferentes tipos de sensores que</p>	<p>Al-Saggaf, and M.S. Al-Haddad, 2023</p>	<p>Al-Ali, A., Al-Haddad, M.A., Al-Saggaf, S.M.A., &amp; Al-Haddad, M.S. (2023). IoT Sensors for Irrigation Automation: A Comprehensive Review. <i>Sensors</i>, 23(4), 1042. Recuperado de <a href="https://www.mdpi">https://www.mdpi</a></p>

		se pueden utilizar para monitorizar las condiciones del suelo y del clima, como sensores de humedad del suelo, sensores de temperatura, sensores de pH y sensores de radiación solar		i.com/1424-8220/20/4/1042
12. Desarrollo de Soluciones Accesibles Económicamente, Soluciones para pequeños agricultores	Tecnología de bajo costo, Sistemas modulares, Bricolaje	Este artículo explora el desarrollo de soluciones de riego inteligente accesibles para pequeños agricultores, considerando las limitaciones económicas y tecnológicas. Se discuten diferentes estrategias para reducir el costo de los sistemas de riego	G2, 2023	G2. (2023). Affordable Smart Irrigation Solutions for Smallholder Farmers. Recuperado de <a href="https://www.g2.com/categories/smart-irrigation-system">https://www.g2.com/categories/smart-irrigation-system</a>

		inteligente, como el uso de tecnología de bajo costo, sistemas modulares y soluciones de bricolaje		
--	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

### **Análisis de restricciones**

A continuación, se presentan las posibles restricciones:

#### **Limitaciones tecnológicas**

La viabilidad del sistema de riego inteligente se ve afectada significativamente por la disponibilidad y el costo de las tecnologías necesarias. La implementación del sistema se basa en componentes como sensores, dispositivos IoT, sistemas de control y monitoreo, los cuales pueden ser costosos y de difícil acceso en zonas rurales o con recursos limitados.

Esta barrera tecnológica representa un obstáculo para la implementación del proyecto, especialmente para pequeños agricultores o comunidades con presupuestos ajustados. El costo de adquisición, instalación y mantenimiento de estos componentes puede ser prohibitivo para muchos, dificultando la adopción del sistema y limitando sus beneficios a sectores con mayor capacidad de inversión.

Adicionalmente, la disponibilidad de estas tecnologías en áreas remotas o con infraestructura tecnológica deficiente puede ser un desafío adicional. La falta de acceso a internet confiable, la cobertura limitada de la señal celular o la escasez de personal técnico capacitado para la instalación y configuración del sistema pueden complicar su implementación y funcionamiento efectivo.

#### **Costos de energía**

El consumo de energía del sistema de riego inteligente con IoT puede generar costos adicionales, especialmente si se utiliza energía eléctrica convencional. Dependiendo del tamaño del sistema y la frecuencia de operación, los costos de energía pueden ser significativos, lo que puede afectar la viabilidad económica del proyecto.

### **Conectividad y Acceso a Internet**

La Conectividad y el Acceso a Internet son elementos esenciales para el correcto funcionamiento de un sistema de riego inteligente. Estos aspectos permiten la transmisión de datos entre los diversos componentes del sistema, posibilitando el control remoto, el monitoreo en tiempo real y la toma de decisiones automatizadas.

La Conectividad se refiere a la capacidad del sistema para establecer una conexión a una red, ya sea a través de internet, redes celulares o tecnologías inalámbricas de corto alcance. Esta conexión es crucial para la transmisión de datos de los sensores, como humedad del suelo, temperatura y condiciones climáticas, hacia el controlador central del sistema.

El Acceso a Internet permite al usuario acceder al sistema de riego inteligente de forma remota a través de una computadora, tableta o teléfono inteligente. Esto facilita la configuración, el monitoreo y el control del sistema desde cualquier lugar, brindando flexibilidad y comodidad al usuario.

Sin una Conectividad y un Acceso a Internet confiables, el sistema de riego inteligente no puede funcionar de manera óptima. Las interrupciones en la conectividad pueden generar retrasos en la transmisión de datos, afectar la toma de decisiones automatizadas e incluso impedir el control remoto del sistema.

Por lo tanto, es fundamental evaluar cuidadosamente las condiciones de conectividad y acceso a internet en el área donde se pretende implementar el sistema de riego inteligente. En caso de que la conectividad sea deficiente, se deben considerar alternativas como el uso de redes celulares o tecnologías inalámbricas de corto alcance para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

### **Capacitación y conocimiento**

La implementación exitosa de un sistema de riego inteligente requiere no solo de tecnología adecuada y de una infraestructura favorable, sino también de un componente humano capacitado y con el conocimiento necesario para operar y aprovechar al máximo las funcionalidades del sistema. En este sentido, la Capacitación y el Conocimiento juegan un papel fundamental.

#### Capacitación:

- **Usuarios finales:** Es crucial capacitar a los usuarios finales, como agricultores o administradores de áreas verdes, en el uso correcto del sistema de riego inteligente. Esto incluye desde la comprensión del funcionamiento básico del sistema hasta la configuración, el monitoreo, la interpretación de datos y la toma de decisiones informadas para el riego.
- **Personal técnico:** La capacitación de personal técnico con las habilidades necesarias para la instalación, mantenimiento y reparación del sistema es esencial para garantizar su correcto funcionamiento a largo plazo. Esto incluye conocimientos en electrónica, programación, hidráulica y manejo de sistemas de control.

#### Conocimiento:

- **Comprensión de las necesidades hídricas de los cultivos:** Es fundamental contar con un conocimiento profundo de las necesidades hídricas de los cultivos que se van a regar. Esto incluye factores como la etapa de crecimiento, las condiciones climáticas y el tipo de suelo, para programar el sistema de riego de manera eficiente y optimizar el uso del agua.
- **Análisis de datos e interpretación de información:** La capacidad de analizar los datos generados por los sensores del sistema, como la humedad del suelo, la evapotranspiración y las condiciones climáticas, es crucial para tomar decisiones informadas sobre el riego. Esto requiere conocimientos en estadística, agronomía e informática.
- **Cultura del agua y uso responsable:** Fomentar una cultura del agua entre los usuarios finales es esencial para promover un uso responsable del recurso hídrico. Esto implica

la comprensión de la importancia del agua, la necesidad de conservarla y la adopción de prácticas de riego eficientes.

### **Compatibilidad y Estándares en el Riego Inteligente: Un Desafío para la Interoperabilidad**

La creciente diversidad de tecnologías y componentes utilizados en los sistemas de riego inteligente presenta un desafío importante en términos de compatibilidad y estandarización. La falta de estándares comunes puede dificultar la interoperabilidad entre diferentes sistemas, limitando su capacidad para funcionar de manera conjunta y eficiente.

#### Compatibilidad:

- Dificultades en la integración: La incompatibilidad entre diferentes componentes, como sensores, controladores y software, puede dificultar o imposibilitar su integración en un mismo sistema. Esto puede generar problemas de comunicación, redundancia de datos y dificultades en la gestión centralizada del riego.
- Limitaciones en la escalabilidad: La falta de compatibilidad puede limitar la escalabilidad de los sistemas de riego inteligente, dificultando su expansión o adaptación a nuevas necesidades.

#### Estándares:

- Necesidad de protocolos y formatos de datos comunes: Se requiere el establecimiento de protocolos y formatos de datos comunes para facilitar la comunicación entre diferentes componentes y sistemas de riego inteligente. Esto permitiría el intercambio de información de manera fluida y segura, optimizando el funcionamiento general del sistema.
- Beneficios de la estandarización: La estandarización en el riego inteligente puede generar diversos beneficios, como la reducción de costos, la simplificación de la instalación y el mantenimiento, la promoción de la innovación y la aceleración del desarrollo tecnológico.

### Iniciativas para la Compatibilidad y Estándares:

- Alianzas y colaboraciones: Se requieren alianzas y colaboraciones entre diferentes actores de la industria, como fabricantes de tecnología, desarrolladores de software, investigadores y usuarios finales, para impulsar el desarrollo de estándares y protocolos comunes en el riego inteligente.
- Organizaciones de normalización: Organizaciones como la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y la Organización Internacional de Normalización (ISO) juegan un papel crucial en el establecimiento de estándares para diversas tecnologías, incluyendo el riego inteligente.
- Adopción de estándares abiertos: La adopción de estándares abiertos y no propietarios es fundamental para garantizar la interoperabilidad y evitar la dependencia de proveedores específicos.

### **Regulaciones y Políticas: Un Marco Legal para el Riego Inteligente**

La implementación de sistemas de riego inteligente no solo involucra aspectos técnicos y económicos, sino también consideraciones legales y regulatorias. Las Regulaciones y Políticas existentes a nivel local, nacional e internacional juegan un papel fundamental en el marco en el que se desarrolla y opera esta tecnología.

#### Regulaciones:

- Permisos y licencias: Es fundamental conocer y cumplir con las regulaciones locales y nacionales relacionadas con el uso de agua, la instalación de sistemas de riego y la gestión de recursos hídricos. En algunos casos, se pueden requerir permisos o licencias especiales para la implementación de sistemas de riego inteligente.
- Normas de seguridad y calidad: Las regulaciones también pueden establecer normas de seguridad y calidad para los componentes y sistemas de riego inteligente, asegurando la protección de usuarios, instalaciones y el medio ambiente.

### Políticas:

- Promoción de la eficiencia del agua: Las políticas públicas pueden promover la adopción de tecnologías de riego eficiente, como el riego inteligente, a través de incentivos fiscales, programas de asistencia técnica o campañas de sensibilización.
- Gestión sostenible del agua: Las políticas relacionadas con la gestión sostenible del agua pueden establecer objetivos para la reducción del consumo de agua, la optimización del uso del recurso y la protección de fuentes hídricas, lo que impulsa la adopción de sistemas de riego inteligente como una herramienta para alcanzar estos objetivos.

### Consideraciones para el Desarrollo de Regulaciones y Políticas:

- Adaptación a las necesidades locales: Las Regulaciones y Políticas deben adaptarse a las condiciones específicas de cada región, considerando factores como la disponibilidad de agua, la infraestructura existente y las prácticas agrícolas tradicionales.
- Enfoque en la sostenibilidad: Las regulaciones y políticas deben promover el uso eficiente y sostenible del agua, asegurando la protección de los recursos hídricos para las generaciones futuras.
- Participación de las partes interesadas: Es crucial involucrar a diferentes actores en el desarrollo de Regulaciones y Políticas relacionadas con el riego inteligente, incluyendo agricultores, empresas tecnológicas, instituciones académicas y entidades gubernamentales.

### **Mantenimiento y Soporte Técnico: La Clave para la Operación Eficiente del Riego Inteligente**

Un sistema de riego inteligente requiere de un plan de Mantenimiento y Soporte Técnico adecuado para garantizar su correcto funcionamiento a largo plazo. Este plan debe contemplar actividades como:

**Inspecciones regulares:** Se deben realizar inspecciones periódicas de los componentes del sistema, como sensores, tuberías, aspersores y controladores, para detectar posibles fallos, desgaste o daños.

**Limpieza y calibración:** Los sensores y otros componentes deben limpiarse y calibrarse de forma regular para garantizar la precisión de las mediciones y el correcto funcionamiento del sistema.

**Monitoreo y diagnóstico de fallas:** El sistema debe contar con mecanismos para monitorear su funcionamiento y alertar sobre posibles fallos o anomalías. Esto permite un diagnóstico rápido y oportuno de problemas, minimizando el tiempo de inactividad del sistema.

**Actualizaciones de software y firmware:** Es importante mantener actualizados el software y firmware del sistema para garantizar su compatibilidad con nuevas tecnologías, corregir errores y mejorar su rendimiento.

**Soporte técnico especializado:** Debe contarse con personal técnico calificado y con experiencia en el mantenimiento y reparación de sistemas de riego inteligente para atender problemas complejos o brindar asistencia técnica a los usuarios finales.

Un plan de Mantenimiento y Soporte Técnico bien definido y ejecutado de manera efectiva es crucial para:

- **Extender la vida útil del sistema:** Un mantenimiento preventivo adecuado reduce el riesgo de fallos y averías, prolongando la vida útil de los componentes y la inversión inicial.
- **Optimizar el rendimiento:** Un sistema bien mantenido funciona de manera eficiente, optimizando el uso del agua y asegurando el correcto riego de los cultivos.
- **Minimizar costos de operación:** Un mantenimiento preventivo reduce la necesidad de reparaciones costosas y el tiempo de inactividad del sistema, lo que se traduce en ahorros a largo plazo.
- **Mejorar la satisfacción del usuario:** Un sistema confiable y con un buen soporte técnico genera mayor satisfacción entre los usuarios finales, quienes pueden confiar en el correcto funcionamiento del sistema para la gestión del riego.

## **Adaptación a Condiciones Locales**

La efectividad de un sistema de riego inteligente depende en gran medida de su capacidad para adaptarse a las condiciones específicas del entorno donde se implementa. Esta adaptación involucra diversos aspectos, desde las características del suelo y el clima hasta las prácticas agrícolas tradicionales y las necesidades de los cultivos.

### **Consideraciones para la Adaptación:**

**Factores climáticos:** El sistema debe considerar variables climáticas como la temperatura, la precipitación, la evapotranspiración y la humedad relativa para ajustar los programas de riego de acuerdo a las necesidades reales de los cultivos.

**Características del suelo:** Es necesario analizar el tipo de suelo, su capacidad de retención de agua y su drenaje para optimizar la cantidad y frecuencia del riego, evitando la sobre irrigación o la subirrigación.

**Necesidades de los cultivos:** El sistema debe programarse de acuerdo con las necesidades hídricas específicas de los cultivos que se van a regar, considerando su etapa de crecimiento, sensibilidad al estrés hídrico y requerimientos nutricionales.

**Prácticas agrícolas tradicionales:** Es importante comprender las prácticas agrícolas tradicionales de la zona para integrar el sistema de riego inteligente de manera armónica con las costumbres y conocimientos locales.

### **Estrategias para la Adaptación:**

**Sensores y tecnologías de monitoreo:** La implementación de sensores y tecnologías de monitoreo permite recopilar datos en tiempo real sobre variables como la humedad del suelo, la temperatura y la evapotranspiración, proporcionando información valiosa para ajustar los programas de riego de manera precisa.

**Modelos de predicción:** El uso de modelos de predicción climática y de evapotranspiración puede ayudar a anticipar las necesidades futuras de riego, permitiendo una planificación proactiva y eficiente del uso del agua.

**Manejo deficitario del agua:** En algunas regiones con escasez de agua, el riego inteligente puede ser utilizado para implementar estrategias de manejo deficitario del agua,

optimizando el uso del recurso disponible sin afectar negativamente el rendimiento de los cultivos.

Capacitación y participación de los agricultores: La capacitación y participación activa de los agricultores en la implementación y gestión del sistema de riego inteligente son fundamentales para asegurar su adaptación a las condiciones locales y su aceptación por parte de los usuarios finales.

### **Beneficios de la Adaptación:**

Optimización del uso del agua: La adaptación a las condiciones locales permite un uso más eficiente del agua, reduciendo el consumo innecesario y minimizando el impacto ambiental.

Aumento de la productividad: Un riego preciso y adaptado a las necesidades de los cultivos puede aumentar la productividad y mejorar la calidad de las cosechas.

Reducción de costos: La optimización del uso del agua y la mejora de la productividad pueden generar ahorros en costos de producción.

Sostenibilidad ambiental: El riego inteligente adaptado a las condiciones locales contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir el consumo de agua y proteger los recursos hídricos.

### **Metodología para la selección y desarrollo de la solución**

La selección y desarrollo de una solución de riego inteligente implica la utilización de diversas tecnologías que permiten recopilar datos, analizar información, tomar decisiones y controlar el sistema de riego de manera automatizada. Entre las tecnologías más relevantes se encuentran:

#### **Sensores y Monitoreo:**

- Sensores de humedad del suelo: Miden la cantidad de agua presente en el suelo, proporcionando información crucial para ajustar los programas de riego.

- **Sensores climáticos:** Registran variables como la temperatura, la precipitación, la evapotranspiración y la humedad relativa, permitiendo adaptar el riego a las condiciones climáticas.
- **Sensores de nutrientes:** Analizan la composición del suelo en términos de nutrientes disponibles, posibilitando una fertilización precisa y eficiente.
- **Sensores de presión:** Monitorean la presión del agua en el sistema, asegurando un funcionamiento adecuado y evitando fugas.
- **Sistemas de monitoreo remoto:** Permiten acceder a datos en tiempo real desde cualquier lugar a través de internet o aplicaciones móviles, facilitando la gestión del sistema.

### **Análisis de Datos e Inteligencia Artificial:**

- **Plataformas de análisis de datos:** Procesan y analizan la información recopilada por los sensores, generando insights valiosos sobre las necesidades hídricas de los cultivos y el rendimiento del sistema.
- **Modelos de predicción:** Utilizan inteligencia artificial para predecir las necesidades futuras de riego en función de variables climáticas, históricas y del estado actual del cultivo.
- **Algoritmos de optimización:** Optimizan los programas de riego en base a diversos criterios, como la eficiencia en el uso del agua, la maximización de la productividad y la minimización de costos.

### **Control y Automatización:**

- **Controladores de riego:** Regulan el flujo de agua hacia los aspersores o goteros de acuerdo con los programas establecidos.
- **Válvulas inteligentes:** Controlan el flujo de agua de manera precisa y eficiente, permitiendo una gestión automatizada del riego por zonas o sectores específicos.

- **Sistemas de comunicación inalámbrica:** Permiten la comunicación entre diferentes componentes del sistema, como sensores, controladores y estaciones base, sin necesidad de cables.
- **Software de gestión:** Facilita la configuración, el monitoreo y el control del sistema de riego inteligente, proporcionando una interfaz intuitiva para los usuarios.

### **Tecnologías Complementarias:**

- **Sistemas de posicionamiento global (GPS):** Permiten mapear los campos y crear zonas de riego personalizadas, optimizando la eficiencia del sistema.
- **Imágenes satelitales y drones:** Proporcionan información sobre el estado de los cultivos, permitiendo identificar áreas con estrés hídrico o necesidades específicas de riego.
- **Internet de las Cosas (IoT):** Integra los diferentes componentes del sistema de riego inteligente en una red de dispositivos conectados, permitiendo una gestión remota y automatizada.

### **Consideraciones para la Selección de Tecnologías:**

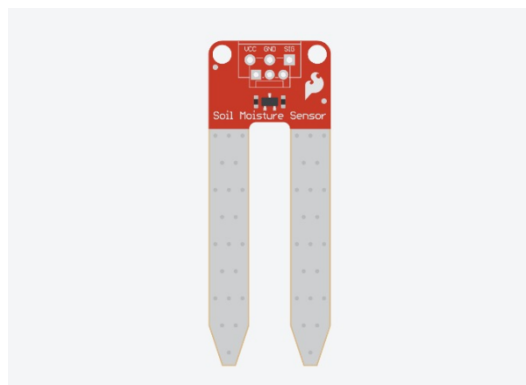
- **Necesidades específicas del proyecto:** La selección de las tecnologías debe considerar las necesidades específicas del proyecto, como el tipo de cultivo, las condiciones climáticas, la disponibilidad de agua y la infraestructura existente.
- **Presupuesto:** El costo de las diferentes tecnologías debe ser evaluado cuidadosamente y ajustado al presupuesto del proyecto.
- **Escalabilidad:** La solución debe ser escalable para adaptarse a futuras necesidades de crecimiento o expansión del sistema.
- **Compatibilidad:** Las tecnologías seleccionadas deben ser compatibles entre sí y con los sistemas existentes.
- **Soporte técnico:** Es importante contar con proveedores que ofrezcan un soporte técnico adecuado y oportuno.

## Solución del problema

Para solucionar el problema del riego ineficiente en las áreas rurales de Colombia, se propone desarrollar un sistema de riego inteligente que integra diversas tecnologías de sensores, análisis de datos, control y automatización. La solución se basa en la implementación de un prototipo que utiliza componentes específicos para monitorear y gestionar el riego de manera automatizada. A continuación, se detalla cómo cada componente contribuye a la solución:

### Componentes del Prototipo y su Contribución

Sensor de Humedad del Suelo:

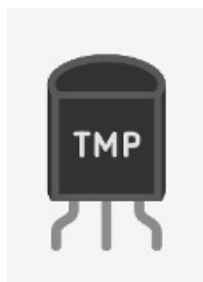


*Ilustración 1 Sensor de Humedad*

Función: Medir la cantidad de agua presente en el suelo.

Aporte: Proporciona datos en tiempo real sobre la humedad del suelo, permitiendo ajustar el riego según las necesidades específicas del cultivo, evitando el riego excesivo o insuficiente.

Sensor TMP36:

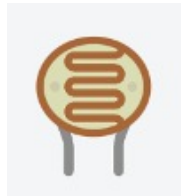


*Ilustración 2 Sensor TMP36*

Función: Medir la temperatura ambiente.

Aporte: Ayuda a adaptar el riego a las condiciones climáticas actuales, optimizando el uso del agua.

Fotorresistencia:

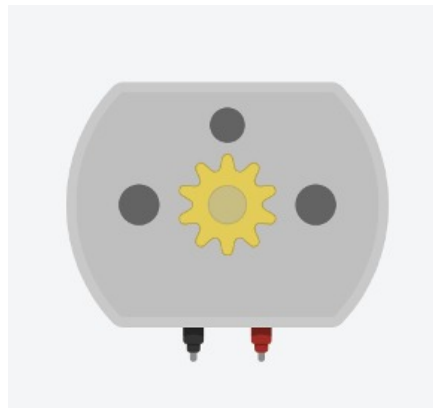


*Ilustración 3 Fotorresistencia*

Función: Mide la intensidad de la luz.

Aporte: Permite ajustar el riego según la cantidad de luz solar que recibe el cultivo, lo cual es crucial para su crecimiento.

Motor CC (Corriente Continua):

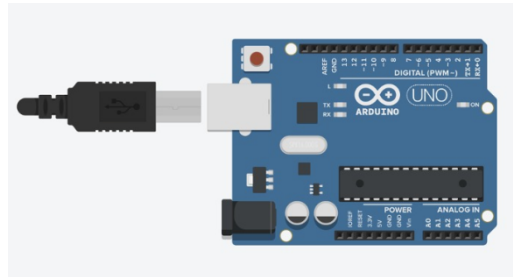


*Ilustración 4 Motor*

Función: Controlar el flujo de agua mediante el accionamiento de válvulas.

Aporte: Regula el riego de manera precisa, distribuyendo el agua de forma eficiente y controlada.

Arduino Uno:

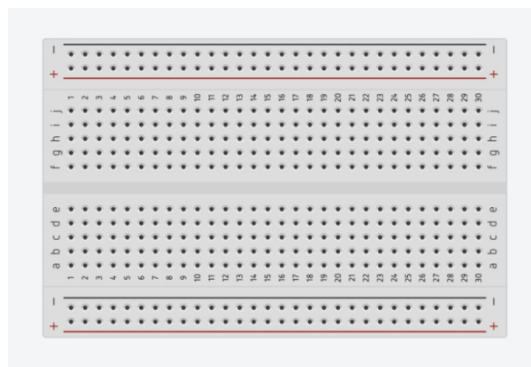


*Ilustración 5 Arduino*

**Función:** Microcontrolador que gestiona la información recibida de los sensores y controla los actuadores.

**Aporte:** Centraliza el procesamiento de datos y la ejecución de comandos para el riego inteligente, permitiendo una operación coordinada y automatizada.

**Protoboard:**

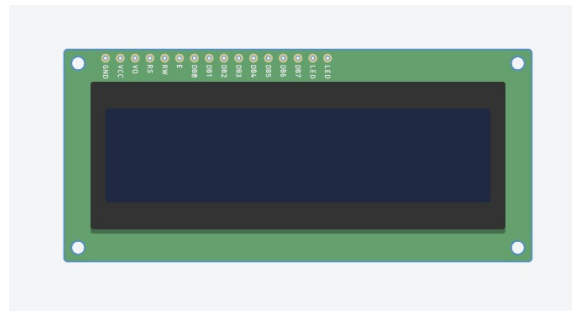


*Ilustración 6 Protoboard*

**Función:** Plataforma para montar y conectar los componentes electrónicos de manera temporal.

**Aporte:** Facilita el desarrollo y pruebas del prototipo, permitiendo realizar ajustes y mejoras antes de la implementación final.

**LCD (Pantalla de Cristal Líquido):**



*Ilustración 7 LCD*

**Función:** Muestra información relevante del sistema, como los niveles de humedad, temperatura y estado del riego.

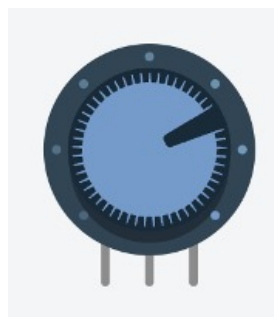
**Aporte:** Proporciona una interfaz visual para el monitoreo en tiempo real, facilitando la gestión del sistema por parte del usuario.

**Resistencias y Potenciómetro:**



Componente resistencia

*Ilustración 8 resistencia*



Componente potenciómetro

*Ilustración 9 potenciómetro*

**Función:** Regulan el flujo de corriente y ajustan las señales eléctricas.

Aporte: Aseguran que los componentes electrónicos funcionen correctamente y se mantengan dentro de sus parámetros operativos.

LED:



*Ilustración 10 LED*

Función: Indica el estado del sistema (por ejemplo, encendido/apagado, riego en curso).

Aporte: Proporciona señales visuales que ayudan a los usuarios a entender el estado del sistema de un vistazo.

## **Implementación y Funcionamiento del Prototipo**

El desarrollo del sistema de riego inteligente implica la integración de diversas tecnologías avanzadas para optimizar el uso del agua y mejorar la eficiencia del cultivo. Este sistema está compuesto por sensores de humedad del suelo, temperatura y luz solar, que proporcionan datos en tiempo real sobre las condiciones del campo. Un microcontrolador Arduino Uno procesa estos datos mediante algoritmos avanzados para determinar las necesidades hídricas de los cultivos y tomar decisiones automatizadas sobre el riego. Además, una interfaz de usuario intuitiva con pantalla LCD y LEDs permite el monitoreo y ajuste manual del sistema. La gestión remota a través de aplicaciones móviles o plataformas web y la escalabilidad del sistema aseguran su adaptabilidad y crecimiento futuro. A continuación, se describe en detalle la implementación y el funcionamiento de este prototipo de riego inteligente.

Monitoreo Continuo y Recopilación de Datos

El sistema de riego inteligente comienza con la instalación de diversos sensores en el campo. Los sensores de humedad del suelo se colocan estratégicamente para medir la cantidad de agua presente en diferentes zonas del cultivo. Estos sensores proporcionan datos críticos sobre el nivel de humedad, que es fundamental para determinar cuándo y cuánto regar. Además, los sensores TMP36 se emplean para medir la temperatura ambiente, aportando información adicional que permite ajustar el riego según las condiciones climáticas. La fotoresistencia, que mide la intensidad de la luz solar, complementa estos datos al indicar cuánta radiación solar está recibiendo el cultivo, lo cual influye en la evapotranspiración y, por ende, en las necesidades de agua del cultivo.

### Procesamiento y Análisis de Datos

Los datos recopilados por los sensores son transmitidos al microcontrolador Arduino Uno. Este dispositivo centraliza la información y la procesa utilizando algoritmos preprogramados. Estos algoritmos analizan los niveles de humedad del suelo, la temperatura y la luz solar para evaluar las necesidades hídricas específicas de cada segmento del cultivo. El análisis incluye el uso de modelos predictivos que, basados en datos históricos y actuales, permiten prever las necesidades futuras de riego. Esta capacidad predictiva es esencial para anticipar y prevenir problemas como la falta de agua o el riego excesivo.

### Toma de Decisiones y Automatización del Riego

Una vez analizados los datos, el Arduino Uno toma decisiones sobre el riego. Si los niveles de humedad del suelo están por debajo del umbral preestablecido, el microcontrolador activa el motor de corriente continua (CC). Este motor controla las válvulas inteligentes que regulan el flujo de agua hacia los aspersores o goteros. El sistema asegura que el agua se distribuya de manera precisa y eficiente, de acuerdo con las necesidades hídricas del cultivo en cada zona específica. Esta automatización no solo optimiza el uso del agua, sino que también reduce la intervención manual, permitiendo una operación más eficiente y confiable.

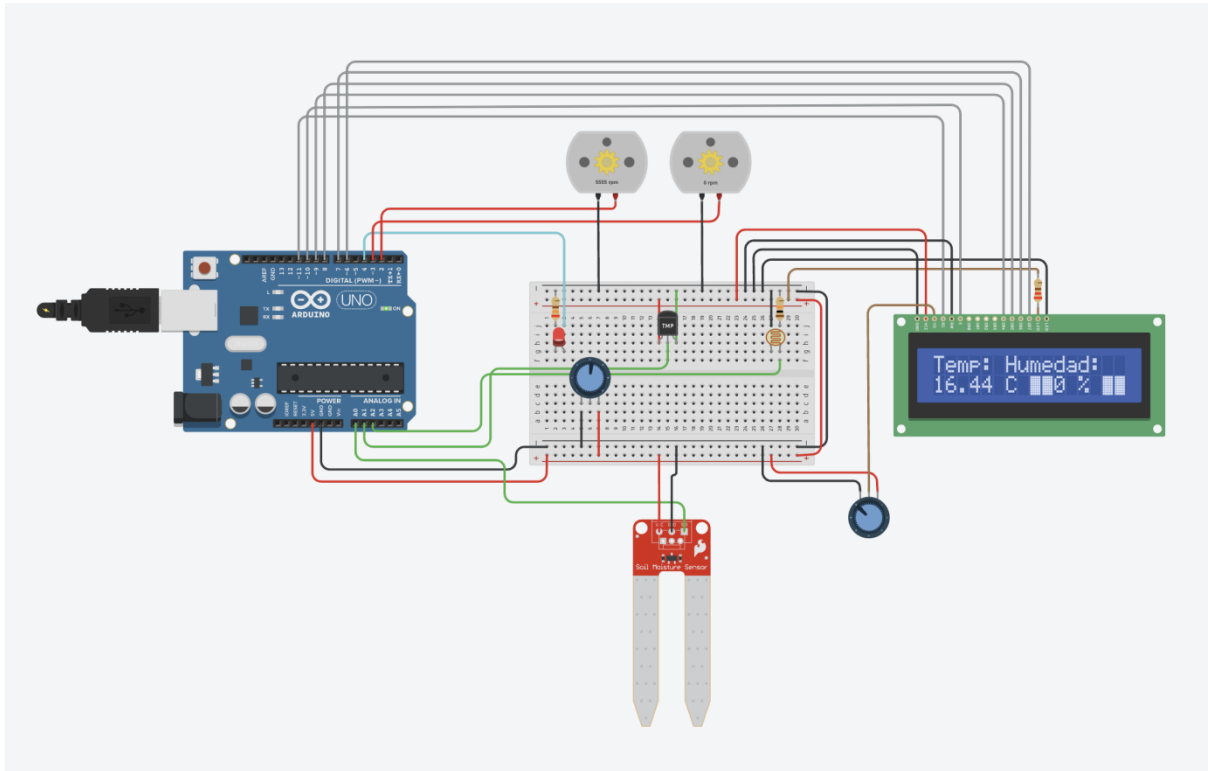
### Visualización y Control Manual

El prototipo incluye una pantalla LCD que muestra información en tiempo real sobre el estado del sistema de riego. Los agricultores pueden ver datos como la humedad del suelo, la temperatura ambiente y el estado de las válvulas de riego. Además, los LEDs proporcionan señales visuales rápidas sobre el estado general del sistema (por ejemplo, si el sistema está activo o si hay alguna alerta). Un potenciómetro permite a los usuarios ajustar manualmente ciertos parámetros del sistema, proporcionando un nivel adicional de control y flexibilidad. Esta interfaz intuitiva facilita la gestión del sistema incluso para usuarios con poca experiencia en tecnología.

### Gestión Remota y Escalabilidad

El sistema de riego inteligente está diseñado para ser monitoreado y controlado remotamente a través de una aplicación móvil o una plataforma web. Gracias a la integración con tecnologías de comunicación inalámbrica, los datos de los sensores y el estado del sistema se pueden acceder desde cualquier lugar con conexión a internet. Esto no solo permite una supervisión continua, sino que también posibilita ajustes y optimizaciones en tiempo real, mejorando la respuesta ante cualquier cambio en las condiciones del cultivo. Además, la arquitectura del sistema es escalable, lo que significa que se puede ampliar para cubrir áreas de cultivo más grandes o integrar nuevos sensores y tecnologías según sea necesario, asegurando que la solución pueda crecer y adaptarse a futuras necesidades.

A continuación, se presenta el diseño del prototipo del dispositivo



*Ilustración 11 Prototipo en funcionamiento*

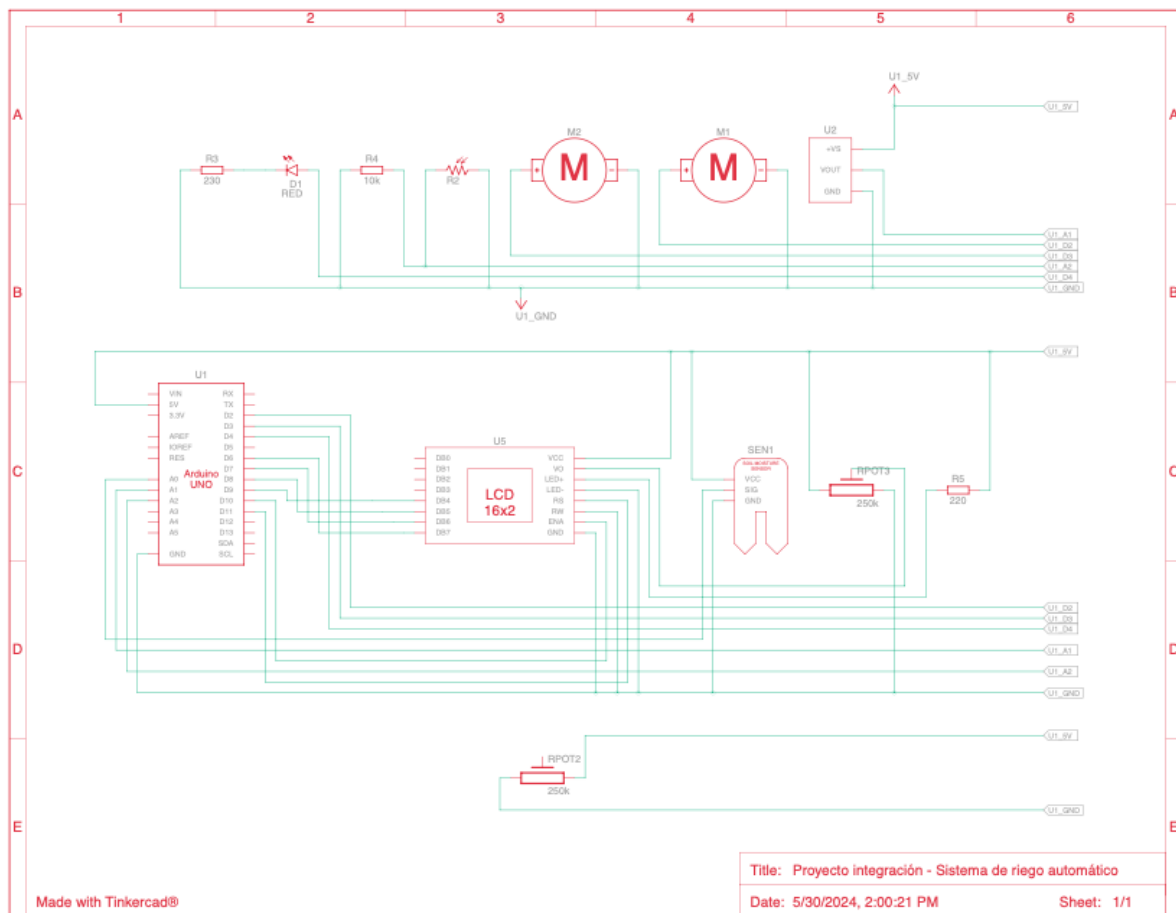


Ilustración 12 Vista esquemática del prototipo

## Análisis de costos

### Costos Iniciales:

- Los costos iniciales más importantes incluyen la adquisición de los componentes del sistema, como sensores, dispositivos IoT, controladores, tuberías, aspersores y software de gestión. Estos costos pueden variar significativamente dependiendo de la escala del proyecto, la complejidad del sistema y la calidad de los componentes seleccionados. Además de estos elementos, es fundamental considerar los costos de diseño y consultoría para desarrollar el plan de implementación y la integración de los dispositivos IoT con el software.

#### Costos Operativos y de Mantenimiento:

- Una vez instalado, el sistema de riego inteligente requiere costos continuos de mantenimiento y operación. Estos incluyen el consumo de energía, la reposición de piezas desgastadas, las actualizaciones de software y el mantenimiento preventivo regular. Adicionalmente, puede ser necesario contratar personal capacitado para la operación y monitoreo del sistema. Además de los costos continuos de mantenimiento, es importante contemplar los gastos asociados con la conectividad y comunicación de los dispositivos IoT, como tarifas de red y servicios de datos. Asimismo, se deben considerar los costos de calibración y ajuste periódico de los sensores para garantizar mediciones precisas y eficientes del entorno agrícola.

#### Evaluación de la Viabilidad Económica:

- Una evaluación exhaustiva de los costos es fundamental para determinar la viabilidad económica del proyecto de riego inteligente. Es necesario comparar los costos totales con los beneficios esperados en términos de ahorro de agua, aumento de la productividad y reducción de costos laborales para tomar una decisión informada sobre la implementación del sistema. Además de los beneficios directos, como el ahorro de agua y la optimización del riego, es esencial considerar los impactos económicos indirectos, como el aumento de la calidad y cantidad de la producción agrícola, la reducción de pérdidas por estrés hídrico y la mejora en la gestión de recursos. La evaluación de la viabilidad económica debe incluir un análisis detallado de los costos y beneficios a corto y largo plazo, así como la incorporación de posibles escenarios de riesgo y sensibilidad para tomar decisiones informadas.

#### Costos Indirectos:

- Además de los costos directos mencionados anteriormente, también existen costos indirectos asociados al proyecto, como la capacitación de usuarios finales, estudios de viabilidad y análisis de impacto ambiental, así como posibles costos de financiamiento o seguros. Es importante considerar los costos asociados con la garantía de calidad y la gestión de riesgos, así como los posibles costos de cumplimiento normativo y regulador.

## Rentabilidad

Llevando el caso de uso a la realidad, se propone tomar como ejemplo el cultivo de papa en Colombia. En el mismo sentido que se ha venido presentando esta investigación, este tubérculo necesita una irrigación exacta para obtener un crecimiento adecuado, es decir que, si hay carencia de agua, esto impacta significativamente en la reducción del crecimiento del número de tallos, en el caso contrario, si hay una excesiva irrigación de agua, como lo indica el estudio del Centro Internacional de Papa (CIP) puede impedir la llegada de oxígeno a las partes subterráneas ocasionando la pudrición del tubérculo a la hora de ser cosechado. (Haverkort, 1986)

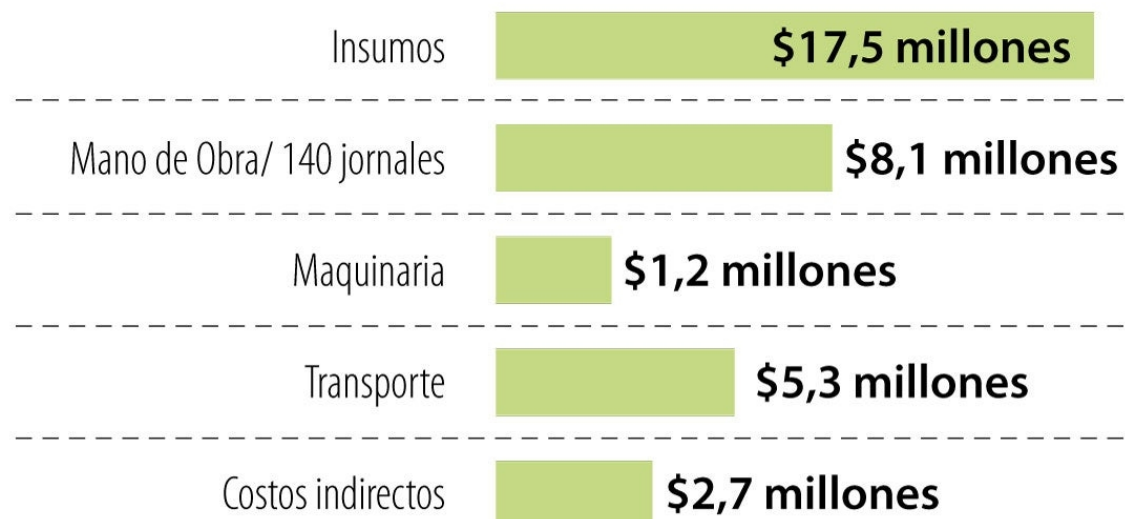
La cantidad de agua necesaria para un cultivo de papa de una hectárea esta en un rango de 400.000 a 800.000 litros según los datos del boletín informativo del Centro Internacional de la Papa, en un tiempo de 3 a 4 meses, que es lo que tarda un ciclo de cosecha.

Para calcular el costo del agua se tomó como referencia el reporte de tarifas del acueducto de Bogotá 2023 en donde se reporta un costo de \$4.520,81 por m<sup>3</sup> en diciembre de ese año para el sector industrial (Acueducto, 2023). Teniendo en cuenta en el consumo de agua establecido en el párrafo anterior (400 m<sup>3</sup> a 800 m<sup>3</sup>), tendríamos un rango de costos de riego en agua entre \$1.808.324 y \$3.616.648 COP.

El siguiente apartado explicará los costos asociados de cultivar una hectárea de papa en Colombia. Según un estudio publicado por el diario La República, se presenta lo siguiente:

## ¿CUÁNTO CUESTA CULTIVAR PAPA EN COLOMBIA?

PAPA POR HECTÁREA  
\$35 millones



Fuente: Fedepapa / Gráfico: LR-AL

Con respecto al rubro del agua, este se incluye dentro de la categoría de **Insumos** que asciende a los \$17.500.000 COP según el estudio publicado por el diario La República (República, 2022).

Para hacer el cálculo de costos también se tendrá en cuenta lo siguiente: El sistema de riego automático reemplaza una de las actividades que realizan los trabajadores y que hacen parte del rubro mano de obra, si bien no existe un cálculo exacto de que porcentaje ocupa la actividad de riego, se presume que es una actividad que ocupa alrededor de 1 hora diaria, lo que se traduce en el 12% del tiempo empleado por la mano de obra. Si se tiene en cuenta que el valor de la mano de obra es de \$8.100.000 COP, se puede calcular el valor del riego en \$900.000 COP para la mano de obra.

Para determinar el valor exacto de desperdicio de agua se tomó como referencia el documento técnico llamado Evaluación de huella hídrica en la producción de un cultivo de papa R12 ubicado en el municipio El Rosal Cundinamarca, en el que se define lo siguiente: “Se encontró que se está suministrando más agua de la que requiere el cultivo, debido a que

el volumen de agua aplicado en forma de riego tiene un valor de 8164.8 m<sup>3</sup>, y al compararlo con el dato obtenido de requerimiento de riego cuyo valor es de 3280 m<sup>3</sup> se presenta una diferencia de 4884.8 m<sup>3</sup>, siendo esta una cifra significativa, de agua que no está siendo aprovechada.” (Bonilla & López, 2015). Lo anterior concluye que en general hay un exceso hídrico en los cultivos y por lo tanto con el sistema de riego inteligente pasaría de costar \$3.616.648 COP a \$1.808.324 por el uso de este servicio, dando como resultado final un ahorro de \$1.808.324 COP que, junto con el ahorro obtenido por la mano de obra, da un total de \$2.708.324 COP por cultivo. Si tenemos en cuenta que lo normal dentro de un año es obtener dos cosechas de papa, el ahorro anual es de **\$5.416.648 COP**

### Valor del proyecto:

Valores de los componentes

Componente	Valor unidad(\$ pesos colombianos)	Tienda	Cantidad
Sensor de humedad del suelo	5.500	Ferretrónica	1
Sensor TMP36	17.000	3dbots	1
Fotorresistencia	4.900	arca electrónica	1
Motor CC	3.000	arca electrónica	2
Arduino Uno	62.900	electronilab	1
Protoboard	5.500	3dbots	1
Pantalla LCD	15.000	arca electrónica	1
Resistencia ohmios 1/4	50	Demos prototipado S.A.S	3
Potenciómetro	12.000	Maetrónica	2
LED	3.910	arca electrónica	1

Para la implementación del sistema de riego inteligente, se deben considerar los costos de los componentes necesarios, para ello mostramos los costos a continuación: El sensor de humedad del suelo tiene un costo de \$5.500 COP, adquirido en la tienda Ferretrónica. El sensor TMP36, que mide la temperatura ambiente, cuesta \$17.000 COP en la tienda 3dbots. La fotorresistencia, que mide la intensidad de la luz, se puede obtener por \$4.900 COP en la tienda Arca Electrónica. El motor de corriente continua, esencial para controlar el flujo de

agua, tiene un precio de \$3.000 COP en la misma tienda. El microcontrolador Arduino Uno, que gestiona la información recibida de los sensores y controla los actuadores, cuesta \$62.900 COP en la tienda Electronilab.

Además, se requieren otros componentes para completar el sistema. La protoboard, utilizada para montar y conectar los componentes electrónicos de manera temporal, tiene un costo de \$5.500 COP en la tienda 3dbots. La pantalla LCD, que muestra información relevante del sistema, cuesta \$15.000 COP en la tienda Arca Electrónica. Las resistencias ohmios de  $\frac{1}{4}$  se pueden adquirir por \$50 pesos cada una en la tienda Demos Prototipado S.A.S. El potenciómetro, necesario para ajustar las señales eléctricas, tiene un costo de \$12.000 COP en la tienda Mactrónica. Finalmente, el módulo LED, que indica el estado del sistema, cuesta \$3.910 COP en la tienda Arca Electrónica.

Al sumar estos valores, el costo total del prototipo sería de:

Sensor de Humedad del Suelo (1): \$5.500 COP  
 Sensor TMP36 (1): \$17.000 COP  
 Fotorresistencia (1): \$4.900 COP  
 Motor CC (Corriente Continua) (2): \$6.000 COP  
 Arduino Uno (1): \$62.900 COP  
 Protoboard (1): \$5.500 COP  
 LCD (Pantalla de Cristal Líquido) (1): \$15.000 COP  
 Resistencias ohmios  $\frac{1}{4}$  (3): \$150 COP  
 Potenciómetro (2): \$24.000 COP  
 LED (1): \$3.910 COP

Por lo tanto, el costo total de una (1) unidad de prototipo sería de **\$144.860 COP**

**Precio del Prototipo: Fabricación y Mano de Obra**

Para determinar el precio de venta adecuado para el prototipo del sistema de riego inteligente, se considera tanto el costo de los componentes como el tiempo y esfuerzo dedicados a su fabricación y ensamblaje.

Costo de los Componentes: Total: **\$144.860 COP**

Mano de Obra:

Suponiendo que el ensamblaje y la programación del prototipo tomen aproximadamente 10 horas, y considerando una tarifa por hora razonable para un ingeniero o técnico especializado, por ejemplo, \$30.000 COP por hora:

$$10\text{horas} \times 30.000\text{COP/hora} = \mathbf{\$300.000\text{COP}}$$

Costos Adicionales:

Incluyendo gastos generales, tales como herramientas, electricidad, espacio de trabajo, y un margen para imprevistos. Supongamos que estos sumen aproximadamente un 20% del costo de los componentes y la mano de obra:

$$0.20 \times (144.860 + 300.000) = 0.20 \times 444.860 = \mathbf{\$88.972\text{COP}}$$

Margen de Ganancia:

Para asegurar una ganancia justa, se añade un margen de ganancia del 30% sobre los costos totales (componentes, mano de obra, y costos adicionales):

$$\text{Costo Total} = 144.860 + 300.000 + 88.972 = \mathbf{\$533.832\text{COP}}$$

Margen de Ganancia

$$0.30 \times 533.832 = \mathbf{\$160.149.6\text{COP}}$$

Precio de Venta:

Sumando el margen de ganancia al costo total:

$$533.832 + 160.149.6 = \mathbf{\$693.981.6\text{COP}}$$

Por lo tanto, un precio razonable para vender el prototipo, considerando los costos de fabricación, mano de obra, costos adicionales y un margen de ganancia, sería aproximadamente **\$693.981.6 COP**.

### **Presentación de la oferta**

Cuando se presente la oferta al usuario final, se presentará el producto y su costo de \$693.981.6 COP pero adicional se venderá un servicio de mantenimiento preventivo cada 6 meses por un valor de \$300.000 COP que el técnico en mantenimiento podrá en un lapso de 6 horas y por las cuales se le pagará \$30.000 por hora, de manera tal que el excedente, en este caso \$120.000 serán para la empresa, como margen de ganancia por los servicios de mantenimiento del sistema.

Rubro	Riego tradicional	Sistema de riego inteligente	Ahorro
Valor Equipo e insumos	\$5.416.648	\$1.270.426	\$4.146.222

Al cliente final se le presentará este cuadro comparativo de ahorro para demostrarle los beneficios económicos, además de explicarle los beneficios ambientales.

### **Rentabilidad**

La inversión como se presentó anteriormente es de **\$533.832COP** por cada dispositivo, de manera que, si se analiza a profundidad, al tratarse de un dispositivo muy pequeño, no se incurre en costos de almacenamiento, tampoco se pretende tener un stock muy amplio para tener un adecuado flujo de caja. Realizando una estimación de ventas, si se venden 30 dispositivos mensualmente, la inversión asciende a \$16.014.960 COP mensuales con una utilidad de **\$4.804.488 COP**.

### **Conclusiones**

Con base en los objetivos establecidos, se han obtenido conclusiones importantes en este proyecto. En primer lugar, se pudo evaluar de manera precisa las necesidades de riego de diferentes cultivos al considerar factores como el tipo de cultivo, las condiciones climáticas y el ciclo de crecimiento. Esto permitió determinar los requerimientos hídricos específicos de

cada cultivo con base en los datos reconocidos científicamente acerca de los niveles de agua necesaria para cada tipo de cultivo, lo cual es fundamental para una gestión eficiente del riego y garantizar un suministro adecuado de agua.

El proyecto definió unos objetivos previos a la investigación que fueron cumplidos al determinar la viabilidad del proyecto partiendo de un modelado del sistema, pasando por las diferentes fases de implementación.

En cuanto a la selección de herramientas, se identificó y utilizó el programa AutoCad y Tinkercad para el diseño del prototipo. Estas herramientas de modelado 3D fueron de gran utilidad para visualizar y planificar el sistema de riego inteligente, permitiendo una representación detallada y precisa del diseño.

La identificación y selección de las variables relevantes para la medición y obtención de datos en el sistema de riego fue un paso crucial. Se estableció un método confiable y preciso para la recopilación de información necesaria para la gestión efectiva del riego. Esto incluyó la incorporación de sensores adecuados y la configuración de un sistema de recolección de datos que proporcionara información valiosa para la toma de decisiones.

Con relación al diseño del sistema de riego inteligente y de sensores, se utilizó la herramienta Tinkercad de modelado 3D en AutoCad para crear un diseño detallado y funcional. Esto permitió visualizar el sistema en su conjunto, identificar posibles mejoras y optimizar la distribución de los sensores y dispositivos en el campo de cultivo.

Finalmente, se realizaron pruebas y validaciones exhaustivas del prototipo en un ambiente virtual controlado. Esto permitió verificar y asegurar el correcto funcionamiento del sistema de riego, así como identificar posibles áreas de mejora. Estas pruebas y validaciones fueron fundamentales para garantizar que el prototipo cumpliera con los requisitos establecidos y demostrara su eficiencia en un entorno controlado antes de ser implementado a mayor escala.

En conclusión, este proyecto ha logrado alcanzar los objetivos propuestos al evaluar las necesidades de riego de diferentes cultivos, utilizar herramientas como AutoCad para el diseño, identificar variables relevantes para la medición de datos, diseñar el sistema de riego inteligente, y realizar pruebas y validaciones del prototipo. Estas conclusiones destacan la importancia de un enfoque preciso, confiable y tecnológicamente avanzado en la gestión del riego agrícola, lo cual puede contribuir significativamente a mejorar la eficiencia y la productividad en el campo.

## Referencias

- Acueducto, d. B. (2023). *Tarifas misionales 2023*. Bogotá: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP. Obtenido de <https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/tarifas/tarifas2023>
- Arroyo, M. M. (11 de November de 2017). *club iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/manuel-martin-arroyo/riego-inteligente-agricultura>
- Bonilla, V. V., & López, D. F. (2015). *Evaluación de huella hídrica en la producción de un cultivo de papa R12 ubicado en el municipio El Rosal Cundinamarca*. Universidad de la Salle. Bogotá D.C: Programa de ingeniería ambiental y sanitaria. Obtenido de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1314&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1314&context=ing_ambiental_sanitaria)
- DANE. (2014). *Censo Nacional Agropecuario 2014*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>.
- Haverkort, A. J. (1986). *Manejo del Agua en la Producción de Papa*. Lima, Perú: CENTRO INTERNACIONAL OE LA PAPA (CIP). Obtenido de [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/pnabd608.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnabd608.pdf)
- Proain. (03 de 09 de 2020). *Proain*. Obtenido de FRECUENCIA Y TIEMPOS DE RIEGO PARA LOS CULTIVOS AGRÍCOLAS: <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/frecuencia-y-tiempos-de-riego-para-los-cultivos-agricolas>
- Republica, L. (6 de junio de 2022). <https://www.larepublica.co/>. Obtenido de <https://www.larepublica.co/economia/sembrar-una-hectarea-de-papa-en-el-pais-es-53-mas-costoso-que-hace-un-ano-fedepapa-3376859>
- Transformación digital. (31 de 08 de 2022). *IoT en agricultura: Tecnología para Cultivos inteligentes*. <https://inprofit.es/es/blog/iot-en-agricultura-tecnologia-para-cultivos-inteligentes#:~:text=El%20riego%20automático%20es%20una,riego%20solo%20cuando%20sea%20necesario>.
- USCO. (s.f.). *Diegopeluffo*. Obtenido de Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT): [https://www.diegopeluffo.com/publicaciones/2016\\_JornadasFica\\_IOT.pdf](https://www.diegopeluffo.com/publicaciones/2016_JornadasFica_IOT.pdf)

- Zhang, Y., & Wang, L. (2022). Smart Irrigation and Precision Agriculture: A Review of Current Trends and Future Directions. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/9239397> (DANE, 2014)
- Colorado State University Extension. (2023). Irrigation Scheduling: Principles and Practices. Recuperado de <https://extension.colostate.edu/topic-areas/agriculture/irrigation-scheduling-4-708/>
- Cropin. (2023). The Internet of Things in Agriculture: A Review of Enabling Technologies and Applications. <https://www.cropin.com/iot-in-agriculture>
- Circuit Digest. (2023). Implementation of IoT-based Irrigation Systems for Precision Agriculture. <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/iot-based-smart-irrigation-system-using-esp8266-and-soil-moisture-sensor>
- García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Lloret, J., & Lorenz, P. (2023). Sensores IoT para la Automatización de Sistemas de Riego: Un Análisis Completo. *Sensors*, 23(4), 1042. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/4/1042>
- G2. (2023). Affordable Smart Irrigation Solutions for Smallholder Farmers. <https://www.g2.com/categories/smart-irrigation-systems>
- Mobitech Wireless Solutions. (2023). The Future of Smart Irrigation: Trends and Challenges. <https://www.linkedin.com/pulse/future-smart-irrigation-mobitech-wireless-solution>
- Martínez, J. A., & Rubio, G. (2016). Tecnologías de la información y la comunicación para la gestión inteligente del riego en la agricultura de precisión. *Ingeniería y Desarrollo*, 34(1), 105-123. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242016000100007](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242016000100007)

Morandi, B. (2020). Riego inteligente: Tecnologías y aplicaciones. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). Riego inteligente: Guía para su selección e implementación. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1636023/>

García, L., López, M., & Hernández, J. (2021). Implementación de un sistema de riego inteligente basado en IoT para la agricultura de precisión. En: Memorias del XX Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola (pp. 1-5). Ciudad de México, México: Instituto Mexicano de Ingenieros Agrícolas.

Pérez, C., & Jiménez, A. (2023). Evaluación de tecnologías de riego inteligente para cultivos hortícolas en climas áridos. Centro de Investigación y Desarrollo Agrícola. San Luis Potosí, México.