

Desarrollo de un Sistema de Riego Inteligente con Control Remoto y Activación Automática mediante Tecnología IoT

Integrantes

Javier Eduardo Arceo Escobar

Johanner Paul Arlante Salazar

Juan Felipe Riqueme Montiel

202016907 - Proyecto de grado

Tutor: Daniel Andrés Guzmán Arevalo

Programa de Ingeniería de Sistemas

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

05 de mayo de 2025

Tabla de Contenidos

ii

Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
Líneas y grupos de interés investigativo	5
Planteamiento del problema	6
Árbol causa – efecto del problema	10
Justificación	12
Objetivos.....	14
Objetivo general	14
Objetivos específicos	14
Marco referencial	16
Marco conceptual:	18
Marco Legal:	20
Metodología	26
Metodología de desarrollo de software de acuerdo a la que seleccionaron para el proyecto....	37
Validación del prototipo funcional y nivel de madurez tecnológica (TRL5)	47
Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema	48
Justificación del cumplimiento de TRL5	49
Github	49
Video Sustentación del Prototipo.....	49
Cronograma de actividades.....	50
Recursos necesarios para la implementación	51
Diseño de la solución	53
Fase 5 Sustentación del Proyecto.....	55
Conclusiones	56
Artículo IEEE	58
Referencias	63
Referencias	64

Tabla 1.....	5
Tabla 2.....	47

Figura 1.....	11
Figura 2	48

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo investigar el impacto de la implementación de tecnologías emergentes en la gestión de procesos dentro de las empresas. En un mundo cada vez más digitalizado, es esencial comprender cómo las herramientas tecnológicas influyen en la eficiencia operativa y la toma de decisiones estratégicas. Este estudio busca identificar las principales ventajas y desafíos que enfrentan las organizaciones al integrar nuevas tecnologías en sus sistemas, enfocándose especialmente en el uso de la inteligencia artificial, la automatización de procesos y el análisis de grandes volúmenes de datos. Además, el proyecto propone un modelo de optimización de procesos basado en la tecnología, con el fin de mejorar la competitividad y la sostenibilidad empresarial. Los resultados esperados incluyen un análisis profundo de las implicaciones prácticas de estas tecnologías en diferentes sectores, así como la elaboración de recomendaciones para su implementación efectiva. A través de este trabajo, se pretende proporcionar a los profesionales del área de ingeniería y gestión empresarial herramientas y conocimientos para adaptarse a las demandas del mercado tecnológico actual, favoreciendo el desarrollo de procesos más ágiles y rentables en sus organizaciones.

Palabras clave: Tecnología, optimización de procesos, inteligencia artificial, automatización, análisis de datos

Abstract

This project aims to investigate the impact of emerging technologies on process management within businesses. In an increasingly digitalized world, it is essential to understand how technological tools influence operational efficiency and strategic decision-making. This study seeks to identify the main advantages and challenges organizations face when integrating new technologies into their systems, with a particular focus on the use of artificial intelligence, process automation, and big data analytics. Additionally, the project proposes a process optimization model based on technology, aimed at improving business competitiveness and sustainability. Expected results include an in-depth analysis of the practical implications of these technologies across different sectors, as well as the development of recommendations for effective implementation. Through this work, the project intends to provide engineering and business management professionals with the tools and knowledge to adapt to the current technological market demands, fostering the development of more agile and profitable processes within their organizations.

Keywords: Technology, process optimization, artificial intelligence, automation, data analysis

Introducción

En la actualidad, el avance de la tecnología ha permitido que la automatización y el monitoreo remoto de procesos se conviertan en elementos esenciales para la optimización de actividades en diversos sectores productivos. En este contexto, la integración de dispositivos IoT ha revolucionado la manera en que se gestionan parámetros ambientales críticos, permitiendo el control eficiente y en tiempo real de variables como la humedad y la temperatura. Este proyecto de investigación se enmarca precisamente en esa tendencia tecnológica, cuyo propósito principal es desarrollar un sistema de monitoreo y control de humedad y temperatura, capaz de ofrecer datos precisos y confiables mediante el uso de sensores conectados a una plataforma digital, mejorando la toma de decisiones y garantizando la estabilidad de entornos controlados.

El control de la humedad y la temperatura no solo es vital en el ámbito industrial, sino también en la agricultura, la agroindustria, los invernaderos y sistemas de almacenamiento de alimentos, donde mantener condiciones ambientales específicas puede marcar la diferencia entre una producción exitosa y una pérdida significativa de recursos. La fluctuación no controlada de estas variables impacta directamente en la calidad de los productos y en la eficiencia de los procesos, lo cual genera pérdidas económicas y medioambientales. En este sentido, la incorporación de soluciones basadas en IoT brinda una oportunidad real y tangible para transformar la manera en que se

gestionan estos factores, permitiendo reducir márgenes de error, optimizar tiempos de respuesta y mejorar el rendimiento de los sistemas.

Este proyecto se centra en la creación de una solución integral que no solo permita visualizar datos en tiempo real a través de interfaces digitales accesibles, sino también ejecutar alertas automáticas y activar mecanismos de control que mantengan las condiciones dentro de parámetros seguros. La importancia de llevar a cabo esta investigación radica en su aplicabilidad directa en escenarios reales, su contribución a la sostenibilidad de los procesos y su capacidad para fortalecer la competitividad de los sectores que adopten este tipo de tecnologías. En un mundo cada vez más orientado a la digitalización y a la eficiencia energética, este tipo de desarrollos representan un paso crucial hacia la transformación inteligente de las industrias y del sector agrícola.

Líneas y grupos de interés investigativo

Tabla 1. Relación de intereses investigativos, líneas y grupos de investigación.

<i>Intereses en ingeniería e investigación</i>	<i>Línea de investigación y áreas temáticas</i>	<i>Grupo de investigación</i>
Aplicar IoT en la agricultura para optimizar recursos y mejorar la productividad	Automatización y Herramientas Lógicas	GRUPO DAVINCI Línea de investigación: Ingeniería de Software y Gestión de Sistemas Categoría: C Líder: Sixto Enrique Campaña Email: sixto.campana@unad.edu.co

Planteamiento del problema

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo abordar la problemática de la eficiencia en la agricultura a través del uso de tecnologías avanzadas, específicamente el Internet de las Cosas (IoT). En los últimos años, la agricultura ha enfrentado grandes desafíos relacionados con la sostenibilidad, la optimización de recursos y el aumento de la productividad. La necesidad de soluciones innovadoras para hacer frente a estas dificultades ha impulsado la investigación y el desarrollo de tecnologías como IoT, que permiten la automatización de procesos y la mejora en la toma de decisiones mediante la recopilación y análisis de datos en tiempo real.

¿Cuál es el problema?

El problema principal radica en la ineficiencia de los métodos tradicionales de monitoreo en la agricultura. Los agricultores enfrentan dificultades para obtener datos precisos sobre el estado de los cultivos, el clima, el suelo y otros factores críticos que afectan el rendimiento de las cosechas. Esta falta de información en tiempo real limita la capacidad para tomar decisiones informadas, lo que puede derivar en el uso excesivo de recursos como el agua, fertilizantes y pesticidas, además de reducir los rendimientos agrícolas.

¿Quién está viviendo el problema?

El problema afecta principalmente a los agricultores, especialmente a aquellos que gestionan grandes extensiones de tierras agrícolas. Sin embargo, también involucra a las autoridades gubernamentales y las empresas agrícolas, quienes deben garantizar la sostenibilidad y la eficiencia en la producción de alimentos para satisfacer la creciente demanda mundial.

¿Dónde está ocurriendo el problema?

Este problema se presenta de manera global, pero es especialmente relevante en países en vías de desarrollo, donde la agricultura es un pilar económico y las tecnologías avanzadas aún no han penetrado de manera significativa. En particular, las zonas rurales en países como Colombia, donde la agricultura sigue siendo una fuente principal de sustento, son las más afectadas por la falta de herramientas tecnológicas adecuadas.

¿Cuándo ocurre el problema?

El problema ocurre de manera continua, pero es más notorio durante las temporadas de siembra y cosecha, cuando la gestión de los recursos es crucial para asegurar una buena producción. Además, con el cambio climático, la variabilidad de las condiciones climáticas hace que la predicción de las cosechas sea aún más difícil.

¿Por qué ocurre el problema?

El problema de la ineficiencia en la agricultura se debe a la falta de herramientas tecnológicas adecuadas para realizar un monitoreo efectivo en tiempo real. Los métodos tradicionales, que dependen de la observación manual y registros escritos, son lentos, propensos a errores humanos y no permiten una respuesta rápida ante problemas imprevistos. Además, la agricultura no ha podido aprovechar en su totalidad el potencial de las tecnologías emergentes, como IoT, que permitirían un monitoreo continuo y automatizado.

Existen varias causas que contribuyen a este problema. En primer lugar, la falta de infraestructura tecnológica adecuada en las zonas rurales limita la implementación de soluciones avanzadas. En segundo lugar, la resistencia al cambio por parte de los agricultores, que están acostumbrados a métodos tradicionales, también juega un papel crucial. Finalmente, la falta de capacitación y apoyo en el uso de nuevas tecnologías impide que los agricultores aprovechen las ventajas de estas soluciones.

Causas y efectos

La falta de información precisa y en tiempo real sobre el estado de los cultivos puede generar un uso ineficiente de los recursos, lo que incrementa los costos operativos. Por ejemplo, el riego excesivo o insuficiente de los cultivos puede afectar negativamente su crecimiento y productividad. Además, el uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas puede tener efectos perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana. La falta de control sobre estos procesos también impacta directamente en la rentabilidad de los agricultores y, en última instancia, en la seguridad alimentaria del país.

¿Qué se quiere hacer?

El propósito de este proyecto es diseñar e implementar un sistema basado en IoT para monitorear las condiciones de los cultivos en tiempo real. El sistema recogerá datos sobre la humedad del suelo, la temperatura, la luminosidad y otros factores ambientales, que serán procesados y analizados para proporcionar recomendaciones automatizadas a los agricultores sobre el riego, la fertilización y el control de plagas. De esta manera, se busca mejorar la eficiencia en el uso de los recursos, aumentar los rendimientos de las cosechas y reducir el impacto ambiental de las prácticas agrícolas.

¿Por qué y para qué?

Este proyecto tiene como objetivo proporcionar a los agricultores una herramienta accesible y de bajo costo que les permita optimizar sus procesos productivos mediante la recolección y análisis de datos. Al integrar tecnologías como IoT, se pretende mejorar la sostenibilidad de la agricultura y hacer frente a los desafíos derivados del cambio climático, aumentando la productividad sin comprometer el medio ambiente. Además, este proyecto tiene la intención de generar un impacto positivo en la economía local y regional, promoviendo la adopción de tecnologías innovadoras en el sector agrícola.

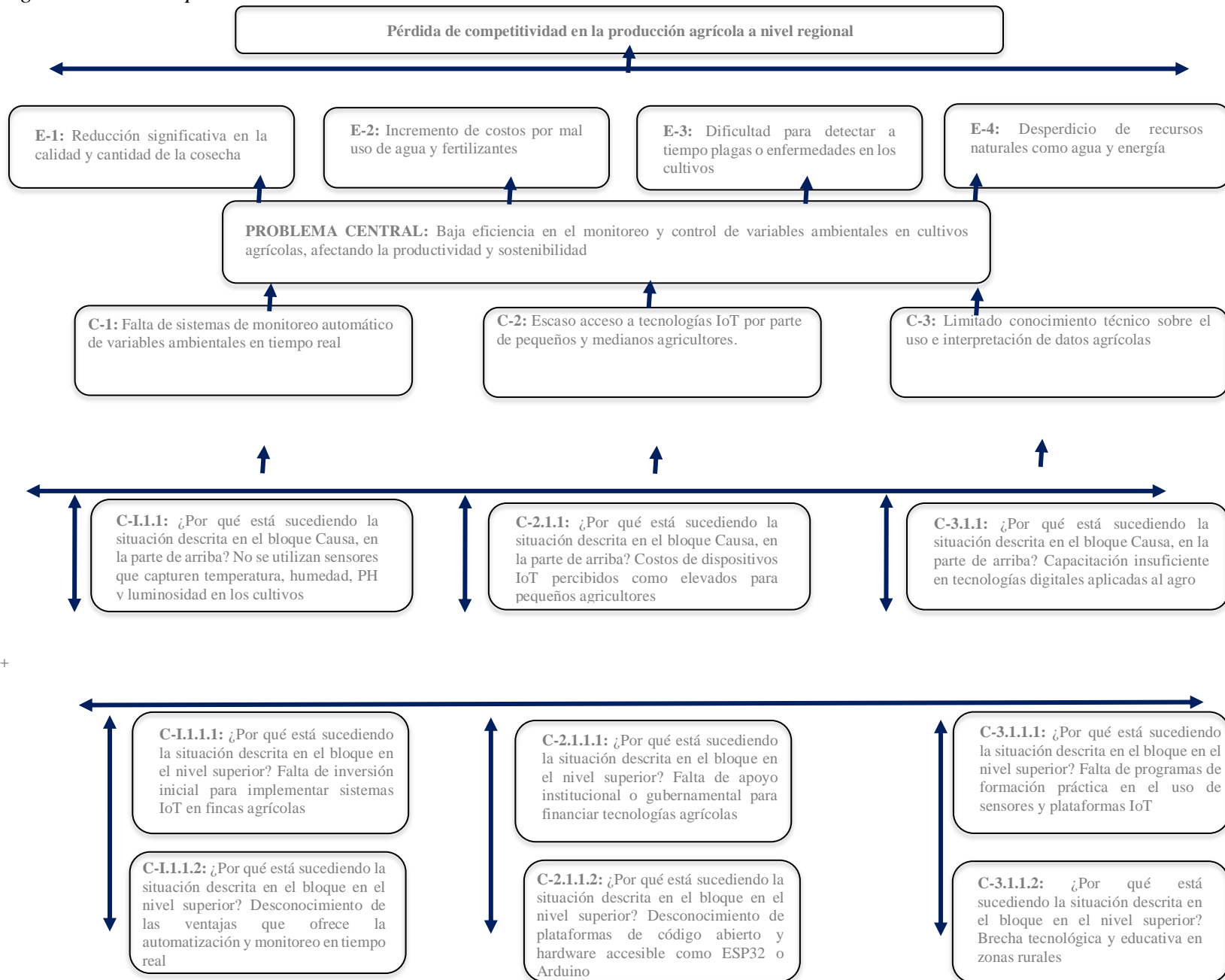
¿De dónde se parte y a dónde se pretende llegar?

El proyecto parte de la necesidad de modernizar la agricultura mediante la adopción de tecnologías avanzadas. A través del diseño y la implementación de un prototipo basado en IoT, se busca mejorar el monitoreo de los cultivos y optimizar el uso de los recursos. Se pretende llegar a una solución funcional y escalable que pueda ser implementada en diferentes contextos agrícolas, comenzando con una fase piloto en una pequeña comunidad agrícola.

Este planteamiento del problema es viable dentro de los tiempos y recursos disponibles, ya que la tecnología IoT ya está lo suficientemente avanzada y accesible como para ser utilizada en este tipo de soluciones. Además, el proyecto puede ejecutarse dentro del marco temporal del curso y con los recursos técnicos y humanos necesarios para desarrollar el prototipo.

Árbol causa – efecto del problema

Figura 1 Árbol de problema



Justificación

El agua es un recurso vital para la agricultura, pero su uso desmedido y la falta de planificación en los sistemas de riego han provocado grandes pérdidas económicas y daños al medio ambiente en muchas regiones agrícolas. En este contexto, la implementación de un Sistema de Riego Automatizado basado en IoT se convierte en una solución eficaz y necesaria para optimizar la gestión del agua y mejorar la productividad en los cultivos.

Este proyecto propone diseñar e implementar un sistema que, mediante sensores de humedad, temperatura, luminosidad y pH, sea capaz de tomar decisiones automáticas sobre el riego de las plantas, activando o deteniendo el flujo de agua de manera inteligente según las condiciones reales del suelo y del ambiente. Este enfoque permite evitar el riego excesivo o insuficiente, garantizando así un uso racional y eficiente del agua.

La importancia de esta solución radica en que aborda directamente la problemática que enfrentan muchos agricultores, quienes dependen de métodos manuales o estimaciones imprecisas para regar sus cultivos, lo que genera desperdicio de recursos y afecta el rendimiento agrícola. Además, este proyecto se alinea con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia que demanda la agricultura moderna, reduciendo costos operativos y contribuyendo al cuidado ambiental.

Desde el ámbito académico y disciplinario, este proyecto es altamente pertinente, ya que pone en práctica conceptos fundamentales de la Ingeniería de Sistemas como la automatización, el manejo de datos en tiempo real, la integración de hardware y software, y el desarrollo de soluciones tecnológicas que resuelven problemas concretos en el sector agrícola. Al mismo tiempo, permite al estudiante aplicar habilidades de análisis, programación y diseño de sistemas, fortaleciendo su formación profesional.

Socialmente, la implementación de este sistema beneficia a pequeños y medianos agricultores, que usualmente no cuentan con los recursos para acceder a tecnologías agrícolas de alto costo. Un sistema eficiente, accesible y automatizado, además de mejorar la productividad, les permitirá dedicar más tiempo a otras labores del cultivo y menos tiempo a supervisar manualmente el riego.

A nivel personal, la ejecución de este proyecto representa una oportunidad de crecimiento, al permitir aplicar y consolidar conocimientos adquiridos en la carrera, enfrentando un reto real y aportando una solución con impacto directo en la calidad de vida de las comunidades agrícolas.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar el Sistema de Riego Inteligente basado en tecnología IoT, con el fin de optimizar la gestión del agua en huertas mediante el control automático y manual de los aspersores, permitiendo un uso eficiente de los recursos hídricos y mejorando la productividad agrícola.

Objetivos específicos

1. Analizar los requisitos funcionales y técnicos necesarios, para establecer las bases de desarrollo del Sistema de Riego Inteligente basado en tecnología IoT en huertas agrícolas.
2. Diseñar la arquitectura y los componentes del Sistema de Riego Inteligente, integrando sensores de nivel de agua, control remoto vía página web y supervisión con cámaras, para garantizar un monitoreo eficiente en entornos agrícolas.
3. Desarrollar el Sistema de Riego Inteligente, implementando la automatización y el control manual de aspersores mediante tecnologías IoT, para optimizar el uso de recursos hídricos en huertas.

4. Implementar sensores, control web y cámaras de supervisión en un entorno simulado, para validar el funcionamiento y la operatividad del Sistema de Riego Inteligente.
5. Evaluar el rendimiento del Sistema de Riego Inteligente, mediante pruebas de funcionalidad, eficiencia y uso de recursos hídricos, para garantizar su efectividad en la gestión del riego en huertas.

Marco referencial

Marco Teórico:

La implementación de sistemas de riego automatizados basados en Internet de las Cosas IoT representa una solución innovadora y eficiente para la gestión sostenible del agua en la agricultura, una de las áreas más afectadas por el cambio climático y la escasez hídrica a nivel global. Estos sistemas permiten automatizar el proceso de riego a través de sensores y dispositivos conectados, que monitorizan variables como la humedad del suelo, temperatura, y niveles de agua, con el fin de optimizar el uso de recursos hídricos y garantizar un desarrollo agrícola más sostenible.

González y Pérez (2021) destacan que la adopción del Internet de las Cosas en el sector agropecuario ha generado transformaciones significativas, ya que permite la toma de decisiones basadas en datos en tiempo real, disminuyendo las pérdidas de agua y energía. Los sistemas de riego inteligentes, gracias a sus capacidades de censado y control, permiten ajustar el riego de acuerdo a las condiciones ambientales específicas de cada cultivo.

Por su parte, Martínez y Rodríguez (2020) realizaron una investigación sobre redes de sensores inalámbricos en invernaderos, demostrando que este tipo de sistemas incrementa la eficiencia de riego hasta en un 40%, en comparación con

métodos tradicionales. Esto es posible gracias a la detección precisa de la humedad en el suelo, permitiendo activar o desactivar el riego automáticamente según las necesidades reales de la planta.

López y Sánchez (2022) desarrollaron un sistema de monitoreo para cultivos de tomate, el cual integra sensores de humedad, temperatura y luminosidad. Los autores concluyen que la correcta integración de tecnologías IoT mejora la productividad agrícola, ya que garantiza el suministro de agua en las dosis exactas requeridas por las plantas, evitando tanto el riego insuficiente como el excesivo.

Asimismo, Ramírez y Torres (2021) aportan en su investigación que los sistemas de monitoreo basados en IoT no solo optimizan recursos, sino que también permiten prever situaciones críticas como sequías o sobre humedecimiento, reduciendo el impacto ambiental y aumentando la rentabilidad del cultivo a largo plazo.

Finalmente, Waybell-López (2023) plantea que la combinación de tecnologías IoT en sistemas de tratamiento y distribución de agua permite una gestión más inteligente y sostenible, no solo en entornos urbanos sino también en espacios rurales, lo que refuerza la viabilidad y la necesidad de implementar este tipo de soluciones en la agricultura.

En síntesis, la literatura evidencia que los sistemas de riego automatizados basados en IoT son herramientas esenciales para enfrentar los retos que supone la agricultura moderna, ya que aportan eficiencia, sostenibilidad y precisión en el uso de los recursos hídricos. Estas investigaciones respaldan directamente el desarrollo de este proyecto, demostrando que su implementación tiene un alto potencial de impacto positivo tanto en el rendimiento agrícola como en la conservación del agua.

Marco conceptual:

1. Internet de las Cosas IoT en la Agricultura

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la interconexión de dispositivos físicos a través de redes, permitiendo la recopilación y análisis de datos en tiempo real. En el ámbito agrícola, el IoT facilita el monitoreo y control de variables como la humedad del suelo, temperatura y condiciones climáticas, optimizando así los procesos de riego y cultivo. Según Gubbi et al. (2013), el IoT ofrece una visión arquitectónica que integra sensores y sistemas de comunicación para mejorar la eficiencia en diversas aplicaciones, incluida la agricultura.

2. Sistemas de Riego Automatizado

Los sistemas de riego automatizado integran sensores y actuadores para controlar el suministro de agua a los cultivos de manera eficiente. Estos sistemas responden a las condiciones del suelo y climáticas, asegurando que las plantas reciban la cantidad adecuada de agua. La implementación de estos sistemas contribuye a la sostenibilidad agrícola al reducir el desperdicio de agua y mejorar la eficiencia del riego.

3. Redes de Sensores Inalámbricos (WSN) en Agricultura

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) consisten en múltiples sensores distribuidos que recopilan y transmiten datos sobre diversas variables agrícolas. Estas redes permiten un monitoreo continuo y en tiempo real de las condiciones del cultivo, facilitando decisiones informadas para el manejo agrícola. La implementación de WSN en la agricultura mejora la precisión en la aplicación de insumos y el manejo del riego.

4. Gestión Sostenible del Agua en la Agricultura

La gestión sostenible del agua en la agricultura implica el uso eficiente y responsable de los recursos hídricos para satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las futuras. La FAO (2021) enfatiza la importancia de prácticas agrícolas que optimicen el uso del agua, como la implementación de tecnologías de riego eficientes y el monitoreo constante de las condiciones del suelo y clima.

Marco Legal:

El desarrollo e implementación de sistemas de riego automatizados mediante tecnología IoT en la agricultura colombiana se encuentra respaldado por un conjunto de normativas y políticas públicas que promueven la sostenibilidad, la innovación tecnológica y el uso eficiente de los recursos hídricos.

1. Ley 373 de 1997 – Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA):

Esta ley establece el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua, orientado a promover prácticas que reduzcan el consumo de agua en actividades económicas, incluyendo la agricultura, sin afectar la producción ni la calidad de los cultivos. La

implementación de sistemas de riego automatizados con sensores de humedad y control remoto se alinea con los objetivos de esta ley al optimizar el uso del recurso hídrico.

2. Ley 1715 de 2014 – Energías Renovables:

Esta ley promueve la integración de energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. La utilización de fuentes de energía limpia, como la solar, en sistemas de riego automatizados contribuye a la sostenibilidad ambiental y a la reducción de la dependencia de fuentes de energía tradicionales.

3. Ley 1341 de 2009 – Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC):

Esta ley regula el uso de las TIC en Colombia, estableciendo principios y conceptos sobre la sociedad de la información. La implementación de tecnologías IoT en la agricultura, como los sistemas de riego automatizados, se enmarca dentro de esta ley al fomentar la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector agropecuario.

4. Decreto 1076 de 2015 – Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible:

Este decreto compila y racionaliza las normas relacionadas con el sector ambiental, incluyendo disposiciones sobre el uso y conservación del recurso hídrico. La adopción de tecnologías que optimicen el uso del agua en la agricultura, como los sistemas de riego automatizados, contribuye al cumplimiento de las metas ambientales establecidas en este decreto.

5. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH):

Esta política establece lineamientos para la planificación, uso y conservación del recurso hídrico en Colombia. La implementación de sistemas de riego eficientes y tecnológicamente avanzados se alinea con los objetivos de la PNGIRH al promover el uso sostenible del agua en el sector agrícola.

6. Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 – Colombia Potencia Mundial de la Vida:

Este plan establece como uno de sus ejes la transformación productiva sostenible, promoviendo la innovación tecnológica en el sector agropecuario para mejorar la productividad y sostenibilidad. La adopción de sistemas de riego automatizados con tecnología IoT contribuye a este objetivo al optimizar los procesos agrícolas y reducir el impacto ambiental.

Marco Tecnológico:

El desarrollo de un Sistema de Riego Automatizado impulsado por tecnologías IoT representa una solución innovadora y eficiente que combina hardware, software y comunicación de datos para optimizar la gestión del agua en huertas agrícolas. La integración de estas tecnologías permite no solo el monitoreo en tiempo real, sino también el control preciso de los sistemas de riego, lo cual impacta directamente en la sostenibilidad y productividad agrícola.

1. Internet de las Cosas IoT:

El IoT es un paradigma tecnológico que permite conectar objetos físicos a internet para intercambiar datos de forma automática. En el contexto agrícola, facilita la recopilación de información sobre variables ambientales como la humedad del suelo, la temperatura y la luminosidad, posibilitando la toma de decisiones automatizada para activar o desactivar el riego de forma remota o programada, logrando una eficiencia en el uso de recursos y reduciendo el desperdicio de agua (Gubbi et al., 2013).

2. Sensores de Humedad de Suelo:

Los sensores de humedad son dispositivos electrónicos que permiten medir el contenido de agua presente en el suelo en tiempo real. Estos sensores son clave en un sistema de riego automatizado, ya que permiten activar el riego solo cuando los

niveles de humedad descienden por debajo de un umbral crítico, evitando el riego excesivo o insuficiente que podría afectar el desarrollo de los cultivos (FAO, 2021).

3. Microcontroladores y Placas de Desarrollo:

Los microcontroladores, como Arduino o ESP32, son el cerebro del sistema. Estos dispositivos programables permiten procesar la información que reciben de los sensores y ejecutar las órdenes para accionar las válvulas y bombas de riego. Además, gracias a su conectividad Wi-Fi o Bluetooth, facilitan la integración con plataformas de monitoreo y control remoto a través de aplicaciones móviles o entornos web.

4. Actuadores y Válvulas de Riego Automatizadas:

Los actuadores y las electroválvulas son componentes esenciales que convierten las señales eléctricas enviadas por el microcontrolador en acciones físicas, como abrir o cerrar el paso del agua en las tuberías. Este mecanismo garantiza una respuesta rápida y precisa en función de las necesidades hídricas de las plantas, reduciendo la intervención manual y fomentando prácticas agrícolas inteligentes.

5. Plataformas de Gestión en la Nube:

La incorporación de plataformas de almacenamiento y análisis de datos en la nube, como ThingSpeak, Blynk o Google Cloud, permite registrar datos históricos, visualizar tendencias y recibir notificaciones en tiempo real sobre el estado de los cultivos y las condiciones del sistema. Esto facilita la toma de decisiones basada en datos y habilita un control eficiente y a distancia, mejorando la planificación y productividad agrícola.

Metodología

El desarrollo del Sistema de Riego Automatizado basado en IoT para huertas agrícolas se estructura en un enfoque metodológico de carácter aplicado, experimental y tecnológico, orientado a la creación de un prototipo funcional que permita optimizar el uso eficiente del agua en cultivos. La metodología se compone de diversas fases que garantizan la planificación, construcción, validación y optimización del sistema, conforme a principios de ingeniería, automatización y computación distribuida.

A continuación, se describen las etapas que componen el proceso de desarrollo:

Fase 1: Análisis y Diseño del Sistema IoT

Durante esta fase inicial se efectúa un levantamiento de requerimientos técnicos, ambientales y funcionales de la huerta agrícola, con el fin de seleccionar los componentes electrónicos adecuados: sensores de humedad del suelo, microcontroladores (Arduino o ESP32), módulos de comunicación Wi-Fi y válvulas automatizadas. Se realiza la diagramación esquemática de la arquitectura IoT, definiendo flujos de información, protocolos de comunicación (MQTT, HTTP o WebSockets) y criterios de escalabilidad para futuras ampliaciones del sistema.

Fase 2: Configuración de la Red y Conexiones

Se establece la infraestructura de red mediante la configuración de un Home Gateway que actúa como nodo central para la interconexión de todos los dispositivos. Se asignan direcciones IP estáticas a sensores, actuadores y cámaras, lo que garantiza una comunicación eficiente dentro de la red local (LAN) y permite su vinculación a plataformas de supervisión remota a través de internet.

Fase 3: Programación de la Lógica de Riego

En esta etapa se diseña y codifica el algoritmo de control basado en parámetros ambientales. La lógica establece que el sistema active o desactive automáticamente las válvulas de riego en función de los valores arrojados por los sensores de humedad, los cuales son enviados al microcontrolador. Este proceso busca garantizar un uso racional del recurso hídrico y mantener los niveles de humedad óptimos para el cultivo.

Fase 4: Desarrollo de la Interfaz Web de Control

Se construye una aplicación web alojada en el Home Gateway que permite a los usuarios visualizar los datos de humedad y activar o desactivar manualmente el sistema de riego. La interfaz incluye mecanismos de autenticación para restringir el acceso solo a personal autorizado y proporciona reportes en tiempo real sobre el estado operativo de la infraestructura de riego.

Fase 5: Integración de Cámaras de Supervisión

Como parte de la supervisión visual, se integran cámaras IP conectadas a la red local, que permiten el monitoreo en tiempo real de las condiciones de la huerta y el estado de los aspersores. Este sistema de vigilancia se incorpora a la interfaz web, ofreciendo al usuario acceso remoto a imágenes y videos en vivo para reforzar la toma de decisiones sobre la operación del riego.

Fase 6: Simulación del Sistema

Utilizando la herramienta Cisco Packet Tracer 8.2, se ejecutan simulaciones virtuales del sistema para validar la correcta comunicación de dispositivos, el flujo de datos entre sensores y microcontroladores, y la respuesta de las válvulas automatizadas ante las condiciones establecidas. Esta fase permite detectar posibles fallos en el diseño antes de la implementación física.

Fase 7: Pruebas de Campo y Ajustes

Tras la implementación física, se llevan a cabo pruebas en condiciones reales, verificando la funcionalidad de los sensores, la precisión de los datos recolectados y la ejecución automática de las acciones de riego. Los datos obtenidos se analizan para realizar ajustes finos en la lógica de control y la interfaz de usuario.

Fase 8: Validación Final y Optimización

En la fase de cierre, se ejecuta una validación integral del sistema para comprobar su robustez y desempeño en condiciones de uso prolongadas. Se optimizan parámetros de eficiencia energética, tiempos de respuesta y consumo de datos. Finalmente, se documentan las mejores prácticas y se realizan recomendaciones para futuras escalas del sistema en ambientes agrícolas de mayor tamaño.

Metodología de Investigación cuantitativo o mixta de acuerdo con el tipo seleccionado para el proyecto.

El presente proyecto adopta un enfoque de investigación cuantitativo, complementado con elementos descriptivos y experimentales, que permiten validar objetivamente el funcionamiento y la eficiencia del Sistema de Riego Automatizado basado en IoT para huertas agrícolas.

Enfoque

El enfoque cuantitativo se selecciona debido a que el proyecto busca recopilar, analizar y validar datos numéricos, específicamente los relacionados con niveles de humedad del suelo, tiempos de riego, consumo de agua y eficiencia de respuesta del sistema automatizado. Este enfoque permite comprobar hipótesis mediante el análisis estadístico y la recolección sistemática de información a través de sensores y dispositivos electrónicos.

Diseño de Estudio

El diseño del estudio es de tipo experimental, ya que se construye un prototipo funcional que es sometido a pruebas controladas en escenarios reales, donde se manipulan variables específicas (humedad, volumen de agua, tiempos de activación) y se observan sus efectos sobre el rendimiento de los cultivos y el consumo hídrico.

Este diseño experimental permite validar la hipótesis de que la implementación de un sistema de riego automatizado basado en IoT optimiza el uso de agua en huertas agrícolas, comparado con sistemas tradicionales.

Método de Recolección de Datos

Los datos serán recolectados de manera automatizada a través de sensores de humedad y registros de actividad en la plataforma web. Estos datos serán almacenados en bases de datos estructuradas, donde se documentarán:

- Niveles de humedad del suelo antes y después de cada ciclo de riego.
- Tiempos de activación y desactivación de los aspersores.
- Cantidad de agua consumida por sesión de riego.
- Condiciones ambientales complementarias (temperatura y humedad relativa, si se integra posteriormente).

Método Estadístico

El análisis de los datos se realizará mediante técnicas estadísticas descriptivas y comparativas:

- Medidas de tendencia central (media, mediana y moda) para interpretar la eficiencia del consumo de agua.
- Desviación estándar para evaluar la estabilidad y constancia del sistema.

- Pruebas de hipótesis (T de Student o ANOVA) en caso de contar con datos de comparación entre métodos tradicionales y automatizados.
- Gráficas de series temporales para identificar patrones de comportamiento en la humedad del suelo y en el consumo de agua durante diferentes periodos.

Tipo de Análisis

El análisis de datos será de tipo cuantitativo y descriptivo, con apoyo de herramientas como Excel, Python (bibliotecas como Pandas y Matplotlib) o software de simulación como Cisco Packet Tracer para validar la comunicación entre dispositivos antes de la instalación física. Este análisis permitirá extraer conclusiones objetivas respecto al comportamiento del sistema bajo condiciones reales, optimizando su programación y mejorando la toma de decisiones para futuras aplicaciones.

Muestra y población del proyecto

La población objeto de estudio en este proyecto está constituida por pequeñas y medianas huertas agrícolas urbanas y rurales, que requieren optimizar sus sistemas de riego para mejorar la eficiencia en el uso del recurso hídrico, reducir el desperdicio de agua y asegurar un crecimiento sostenible de los cultivos. Este segmento incluye huertas domésticas, comunitarias, educativas y productivas, donde el riego tradicional suele depender de métodos manuales o de control empírico.

Población

La población total es definida como todas aquellas huertas agrícolas que presentan necesidades de automatización y gestión eficiente del riego en entornos locales de pequeña y mediana escala, especialmente en zonas con limitaciones de agua o dificultades de supervisión continua. Este universo incluye diferentes tipos de cultivos como hortalizas, plantas aromáticas, frutales pequeños y ornamentales.

Muestra

La muestra seleccionada para la implementación y validación del sistema de riego automatizado estará compuesta por dos huertas experimentales de tamaño reducido (aproximadamente 5 m² cada una), ubicadas en un entorno controlado. Estas huertas serán equipadas con sensores de humedad, actuadores y el sistema de riego inteligente basado en IoT.

- El criterio de selección de la muestra se basa en las siguientes características:
- Huertas que dependan actualmente de riego manual.
- Terreno con características homogéneas en cuanto a tipo de suelo.
- Accesibilidad para la instalación y supervisión de sensores.
- Cultivos de rápido crecimiento que permitan validar el impacto del riego automatizado en un ciclo corto de observación.

Definición del Tamaño Muestral

Para este proyecto, se empleará un tamaño muestral que se ajusta a la etapa de validación del sistema, ya que se trabajará con dos huertas experimentales de aproximadamente 5 metros cuadrados cada una. Estas huertas han sido seleccionadas de manera intencional, ya que permitirán observar y medir de forma controlada el funcionamiento del sistema de riego automatizado basado en IoT.

Este tamaño muestral se ha definido pensando en facilitar la supervisión de cada variable, como la humedad del suelo, el consumo de agua y la respuesta de los aspersores en condiciones reales. Además, permitirá hacer ajustes sobre la programación y las conexiones del sistema sin que se escape ningún detalle.

Cabe aclarar que este tamaño es suficiente para la fase de prueba y validación, ya que se busca garantizar que el sistema funcione correctamente antes de pensar en una aplicación a mayor escala, donde en su momento sí se aplicará un cálculo estadístico formal para definir la muestra adecuada dependiendo de la población total de huertas a intervenir.

Instrumento de medición y recolección de los datos

El proyecto empleará instrumentos tanto tecnológicos como analíticos para la recolección de datos, que garantizan precisión y consistencia en la evaluación del sistema.

Instrumentos tecnológicos:

- Sensores de humedad del suelo (Soil Moisture Sensors): encargados de medir de forma continua el porcentaje de humedad en tiempo real. Estos datos permiten determinar la necesidad de activar o desactivar el sistema de riego.
- Sistema IoT de monitoreo: que recoge las lecturas de los sensores y las almacena en una base de datos para su posterior análisis.
- Cámaras de supervisión IP: utilizadas para registrar el estado visual de los cultivos y validar la activación oportuna del sistema de riego.
- Plataforma web de control: que almacena logs de activación manual y automática de los aspersores, permitiendo rastrear cada acción realizada sobre el sistema.

Instrumentos analíticos:

- Registros de campo: bitácoras físicas o digitales donde se anotarán manualmente observaciones sobre el crecimiento de las plantas, fechas de riego, incidencias técnicas y condiciones climáticas durante el experimento.
- Planillas de análisis estadístico: para realizar el procesamiento de datos recopilados, usando medidas descriptivas como promedio, desviación estándar y comparación de datos antes y después de la automatización.

Análisis y diagnóstico del proceso investigativo

Durante el desarrollo del presente proyecto se ha realizado un análisis detallado que me ha permitido identificar claramente la problemática relacionada con la gestión ineficiente del recurso hídrico en huertas. A partir de esta situación, el diagnóstico ha sido enfocado en comprender cómo la falta de control automatizado en los sistemas de riego genera desperdicio de agua y afecta directamente la productividad agrícola.

Este análisis me ha llevado a visualizar que muchas huertas, especialmente de pequeña escala, siguen utilizando métodos de riego tradicionales que dependen de la supervisión manual del agricultor, lo que no solo representa una carga de tiempo, sino que también expone a la sobre o sub-irrigación, dañando cultivos y provocando pérdidas económicas. Gracias a esta revisión,

confirmé que la solución debía ir más allá de solo instalar aspersores automáticos; era necesario integrar un sistema inteligente que combinara sensores, conectividad IoT y una interfaz de control accesible.

El diagnóstico también reveló que, al aplicar tecnología de riego inteligente, se lograría una optimización en la distribución del agua, una toma de decisiones basada en datos reales y la posibilidad de supervisión remota, lo cual representa una ventaja competitiva para los pequeños y medianos agricultores. Este proceso investigativo ha permitido establecer que el enfoque tecnológico no solo mejora la eficiencia, sino que también contribuye al uso sostenible de los recursos, que es uno de los principios que hoy en día demanda la agricultura moderna.

Metodología de desarrollo de software de acuerdo a la que seleccionaron para el proyecto.

Para el desarrollo del Sistema de Riego Inteligente, se empleará la metodología Ágil en su versión Scrum. Esta metodología es particularmente adecuada para proyectos de tecnología como el nuestro, debido a su enfoque iterativo y flexible que permite ajustes durante todo el proceso de desarrollo y asegura la entrega de resultados en ciclos cortos.

Fases del Desarrollo

Planificación: En esta fase inicial, se establecerán los requisitos funcionales y no funcionales del sistema, basándonos en el análisis previo del proyecto. Se determinarán los objetivos principales del sistema de riego inteligente y se priorizarán las funcionalidades críticas, como la integración de sensores, la automatización del riego y la interfaz web de control.

Sprint 1 - Diseño de la Arquitectura: Se llevará a cabo el diseño del sistema, el cual incluye la configuración de la red, la selección de dispositivos IoT y la estructuración de la base de datos para la recolección de datos. También se diseñará la interfaz de usuario que permitirá a los agricultores controlar el sistema de manera remota.

Sprint 2 - Implementación de los Componentes: En este sprint se implementarán los sensores de humedad y los dispositivos de control de riego, con su correspondiente integración al sistema IoT. Se trabajará en el desarrollo del código necesario para la recolección de datos, el análisis de los niveles de agua y la activación o desactivación de los aspersores.

Sprint 3 - Desarrollo de la Interfaz Web: Se desarrollará la página web para permitir el control manual del sistema de riego. La interfaz será diseñada para ser amigable y accesible desde dispositivos móviles, asegurando que los usuarios puedan gestionar el riego en tiempo real.

Sprint 4 - Pruebas y Validación: En esta fase se realizarán pruebas de integración del sistema, validando que todos los componentes funcionen correctamente. Se realizarán pruebas en campo para asegurar que el sistema automatizado de riego responda adecuadamente a los niveles de humedad y que la interfaz web permita un control eficaz del sistema.

Sprint 5 - Optimización y Entrega Final: Tras la validación del sistema, se procederá a realizar los ajustes necesarios para optimizar el rendimiento. Finalmente, el sistema será entregado para su implementación real en las huertas.

Herramientas y Tecnologías

- Lenguaje de programación: Python para la programación de la lógica del riego y la integración de los sensores.
- Plataforma IoT: Arduino o Raspberry Pi para la conexión de los sensores y dispositivos IoT.
- Interfaz web: HTML, CSS y JavaScript para el desarrollo de la página web de control.
- Base de datos: MySQL o Firebase para la recolección de datos de los sensores y su posterior análisis.

Análisis de requerimientos

El análisis de requerimientos para el Sistema de Riego Inteligente tiene como objetivo identificar y definir todas las necesidades y funcionalidades que el sistema debe cumplir. Este análisis se enfoca tanto en los requerimientos funcionales como en los no funcionales del sistema, para asegurar que se logren los objetivos establecidos y se obtenga un producto final eficiente y funcional.

1. Requerimientos Funcionales

Los requerimientos funcionales definen lo que el sistema debe hacer. A continuación, se describen las principales funcionalidades del sistema de riego inteligente.

1.1. Monitoreo y Control Automático del Riego

- El sistema debe contar con sensores de humedad ubicados en los terrenos de cultivo que registren el nivel de humedad del suelo en tiempo real.
- Los sensores de humedad deben transmitir los datos al sistema central para su procesamiento y análisis.
- Si los niveles de humedad caen por debajo de un umbral predeterminado (por ejemplo, 50%), el sistema debe activar automáticamente los aspersores de riego.
- El sistema debe permitir que los usuarios configuren el umbral de humedad a través de la interfaz web, de modo que se pueda personalizar el sistema según las necesidades específicas de cada huerta.

1.2. Interfaz de Control Manual

- El sistema debe contar con una interfaz web accesible desde dispositivos móviles, tabletas y computadoras.
- Los usuarios deben poder controlar manualmente el encendido y apagado de los aspersores desde la interfaz.
- Se debe proporcionar una visualización en tiempo real del estado del riego (encendido o apagado) y los niveles de humedad en cada huerta.
- Los usuarios deben poder acceder a una vista de la cámara de seguridad instalada en las huertas para monitorear visualmente el estado del riego y las condiciones de las huertas.

1.3. Registro y Almacenamiento de Datos

- El sistema debe almacenar de forma continua los datos de los sensores (niveles de humedad, estado de los aspersores) en una base de datos segura.
- Los usuarios deben tener la capacidad de visualizar y descargar los datos históricos de riego y niveles de humedad a través de la interfaz web.
- El sistema debe ser capaz de generar reportes automáticos sobre el rendimiento de los aspersores, la eficiencia del uso del agua y el historial de riego.

1.4. Alertas y Notificaciones

- El sistema debe enviar alertas automáticas a los usuarios en caso de fallos en los sensores, interrupciones en el sistema de riego o niveles de humedad inadecuados.
- Las alertas deben ser enviadas a través de notificaciones en la interfaz web y por correo electrónico.

1.5. Supervisión Visual en Tiempo Real

- El sistema debe contar con cámaras de seguridad instaladas en las huertas que transmitan imágenes en vivo de las áreas regadas.
- Las cámaras deben ser controladas y visualizadas a través de la interfaz web para una supervisión remota.

1.6. Optimización de Recursos Hídricos

- El sistema debe ser capaz de gestionar el riego de manera eficiente, activando los aspersores solo cuando sea necesario, con base en las lecturas de los sensores de humedad.
- El sistema debe permitir al usuario ajustar manualmente los tiempos de riego, para asegurar una mejor gestión del agua en función de las condiciones climáticas y las necesidades de cada tipo de cultivo.

2. Requerimientos No Funcionales

Los requerimientos no funcionales definen los atributos y características del sistema que no están directamente relacionados con las funcionalidades específicas, pero que son igual de importantes para su éxito.

2.1. Usabilidad

- El sistema debe ser fácil de usar, con una interfaz intuitiva que permita a los usuarios gestionar y controlar el riego sin necesidad de conocimientos técnicos avanzados.
- La interfaz web debe ser compatible con dispositivos móviles y debe estar optimizada para una visualización clara en diferentes tamaños de pantalla.

2.2. Fiabilidad y Disponibilidad

- El sistema debe ser altamente confiable, con tiempos mínimos de inactividad. El sistema de riego debe estar operativo las 24 horas del día, 7 días a la semana, con un mantenimiento programado para garantizar su funcionamiento continuo.
- Las cámaras de seguridad y los sensores de humedad deben ser robustos y funcionar en diferentes condiciones climáticas sin afectar su precisión.

2.3. Escalabilidad

- El sistema debe ser escalable, permitiendo la expansión a más huertas o la incorporación de nuevos sensores y dispositivos IoT sin necesidad de realizar modificaciones mayores en la infraestructura.
- Se debe permitir la adición de nuevas funcionalidades en el futuro, como la integración de otros sensores ambientales (temperatura, presión, etc.).

2.4. Seguridad

- El sistema debe garantizar la protección de los datos almacenados y las comunicaciones entre dispositivos, utilizando protocolos de seguridad adecuados, como el cifrado SSL para las comunicaciones entre el usuario y la interfaz web.
- Los usuarios deben autenticarse antes de acceder a la interfaz de control y administración del sistema, utilizando un sistema de autenticación robusto (nombre de usuario y contraseña, autenticación de dos factores, etc.).

2.5. Mantenibilidad

- El sistema debe ser fácil de mantener, con una arquitectura modular que permita la sustitución o actualización de componentes sin interrumpir su funcionamiento.
- Debe existir una documentación técnica detallada para los técnicos encargados del mantenimiento del sistema, así como un manual de usuario para los administradores y operadores del sistema.

2.6. Rendimiento

- El sistema debe ser capaz de procesar y transmitir los datos en tiempo real, asegurando que el control del riego sea inmediato y que no haya retrasos en la respuesta a los cambios en los niveles de humedad.
- La plataforma web debe ser capaz de manejar múltiples usuarios simultáneamente sin afectar su rendimiento.

3. Requerimientos Técnicos

3.1. Plataforma IoT

- El sistema debe usar dispositivos IoT como Raspberry Pi o Arduino para la conexión y manejo de los sensores de humedad y los aspersores automáticos.
- Los sensores deben ser de alta calidad y precisión, capaces de medir la humedad en el suelo con un margen de error mínimo.

3.2. Conectividad

- El sistema debe operar sobre una red Wi-Fi de banda ancha para garantizar una comunicación continua entre los sensores, los aspersores y la plataforma de control.
- El sistema debe permitir la conectividad remota a través de Internet para que los usuarios puedan acceder al sistema desde cualquier lugar.

3.3. Base de Datos

- El sistema debe usar una base de datos relacional (por ejemplo, MySQL o Firebase) para almacenar los datos históricos de riego, los registros de los sensores de humedad, los eventos de control manual y las notificaciones.

4. Requerimientos de Integración

- El sistema debe ser compatible con otras tecnologías y plataformas utilizadas en la agricultura inteligente, como sistemas de meteorología para obtener datos climáticos que puedan ser utilizados para ajustar los parámetros de riego.
- Se debe permitir la integración futura con sistemas de gestión agrícola más complejos, como los que gestionan la fertilización, la plantación y la cosecha.

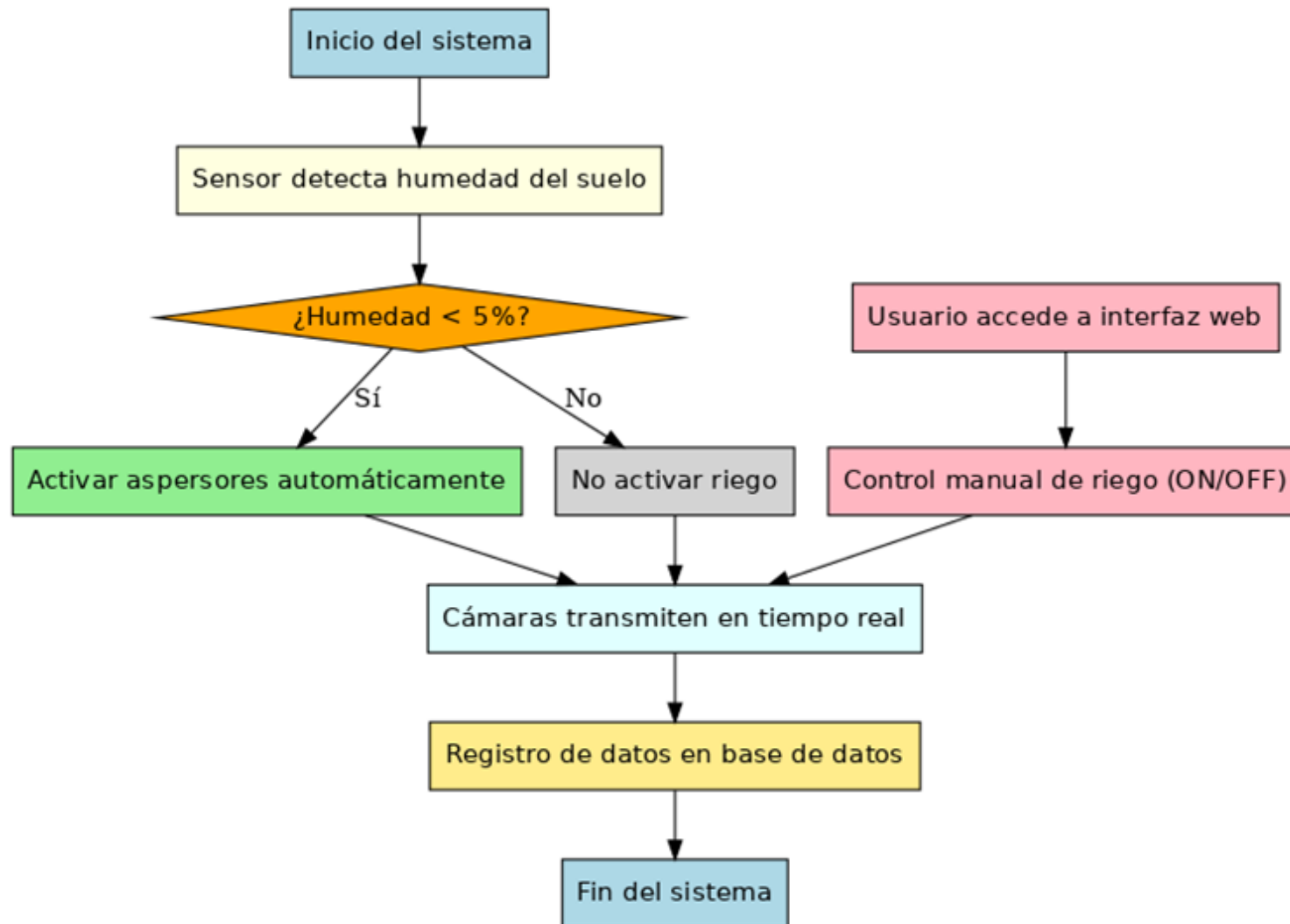
Validación del prototipo funcional y nivel de madurez tecnológica (TRL5)

El desarrollo del Sistema de Riego Inteligente con Control Remoto y Activación Automática ha alcanzado un nivel de madurez tecnológica correspondiente a un TRL5 (Technology Readiness Level 5), el cual indica que la tecnología ha sido validada en un entorno relevante y simulado. Esta validación ha sido posible gracias al uso de la plataforma Cisco Packet Tracer 8.2, donde se ha replicado el funcionamiento completo del sistema bajo condiciones similares a las del entorno agrícola real, integrando todos los componentes necesarios y evaluando su comportamiento como conjunto.

Descripción técnica de los componentes simulados – Tabla 2

Componente	Funcionalidad en el sistema	Representación en la realidad agrícola
Sensores de humedad	Detectan niveles del suelo y envían datos al microcontrolador.	Sondas de humedad del suelo conectadas a un microcontrolador físico.
Microcontrolador (Nodo IoT)	Procesa datos del sensor y ejecuta la lógica de riego.	Arduino o ESP32 real programado.
Aspersores automáticos	Se activan automáticamente si la humedad baja del umbral.	Válvulas eléctricas o bombas de agua.
Interfaz web de usuario	Permite control manual del riego, consulta de datos y monitoreo.	Plataforma de gestión remota accesible desde cualquier dispositivo.
Cámaras IP simuladas	Transmiten imagen en tiempo real desde las huertas.	Cámaras reales instaladas para supervisión remota del riego.
Gateway Wi-Fi	Gestiona la red local y conecta todos los dispositivos.	Router doméstico o agrícola con acceso a Internet.
Base de datos (simulada)	Registra humedad, estados de riego, acciones manuales.	MySQL, Firebase

Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema



Justificación del cumplimiento de TRL5

De acuerdo con la definición de TRL5, una tecnología alcanza este nivel cuando ha sido validada en un entorno simulado que reproduce condiciones operativas reales, y cuando se verifica que todos los componentes están integrados y funcionando como sistema.

En este caso:

- El entorno simulado de Cisco Packet Tracer 8.2 reproduce condiciones de red, control, monitoreo y visualización.
- Todos los módulos del sistema fueron integrados de forma funcional: sensores, aspersores, cámaras, interfaz web y base de datos.
- Se probaron múltiples escenarios de uso (automático, manual y de falla).
- La arquitectura permite la escalabilidad a un sistema real, cumpliendo con los principios de ingeniería de sistemas e IoT.

Github

Enlace al Repositorio: <https://github.com/JavieArceo/Sistema-Riego-IoT>

Video Sustentación del Prototipo

Link: https://youtu.be/yQHeW_FFQrw

Cronograma de actividades

Establecer el cronograma de actividades para el diseño e implementación de la solución. Ver: Vera, C, (2019). El cronograma de actividades. [OVI]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/26984>

Actividades	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
1. Análisis del problema y levantamiento de requerimientos	X			
2. Diseño del sistema y selección de hardware IoT	X	X		
3. Configuración de la red y conexión de sensores		X	X	
4. Desarrollo de la lógica de control de riego			X	X
5. Desarrollo de la interfaz web y control manual			X	X
6. Instalación y pruebas de sensores y cámaras				X
7. Simulación y pruebas integradas del sistema				X

Recursos necesarios para la implementación

Definir el presupuesto necesario para la implementación de la solución.

Recurso	Descripción	Presupuesto
Equipo Humano	Técnicos e ingenieros responsables del desarrollo y programación del sistema IoT, implementación de la red, y pruebas de funcionamiento.	\$5.000 USD
Equipos y Software	<ul style="list-style-type: none"> - Home Gateway con IP estática (192.168.1.10) y red Wireless (Simulacion_IoT). - Equipos necesarios para la programación de la página web y las condiciones del sistema. - Software utilizado: Cisco Packet Tracer para la simulación y herramientas de desarrollo web. 	\$5.000 USD
Viajes y Salidas de Campo	Desplazamientos para supervisar la instalación de los dispositivos en las huertas y realizar pruebas del sistema.	\$1.500 USD
Materiales y suministros	<ul style="list-style-type: none"> - 3 Lawn Sprinklers manuales (controlados por la página web). - 3 Lawn Sprinklers automáticos (con control automático basado en los monitores de nivel de agua). - 2 Water Level Monitors (para medir los niveles de agua y activar los aspersores automáticamente). - 2 cámaras de supervisión (una en cada huerta para monitoreo de aspersores manuales y automáticos). - Dispositivos de usuario: 1 celular y 1 tableta para acceder a la página web. 	\$3.000 USD
Bibliografía	<p>Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. Computer Communications, 54, 1-31.</p> <p>Cisco Systems. (2016). Cisco IoT solution for agriculture: Smart farming, sustainable and scalable solutions. Cisco White Paper.</p> <p>El-Hassan, Z., & Abed, F. (2016). Wireless sensor networks and applications: The case of agriculture and water management. International Journal of Computer Applications, 133(9), 1-7.</p>	\$500 USD

Hussain, A., & Salah, K. (2019). Smart agriculture systems: Concepts, technologies, and applications. Springer.

Pereira, L. S., & Cordery, I. (2012). Improved water-use efficiency in agriculture: The role of irrigation systems. Springer Science & Business Media.

Razi, P., & Khan, Z. (2018). Web-based irrigation control systems for agriculture using IoT. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(1), 1-6.

Xu, L., & He, H. (2015). Design and Implementation of an IoT-based smart irrigation system. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 8(5), 33-38.

Zhang, C., & Li, J. (2017). IoT-based smart farming: A survey of research, applications, and challenges. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(4), 1-12.

TOTAL \$15.000 USD

Diseño de la solución

El diseño de la solución propuesta para este proyecto se centra en la implementación de un sistema de riego inteligente que optimice el uso del agua en huertas mediante la integración de dispositivos IoT, sensores y una plataforma web de monitoreo y control. Esta solución permitirá automatizar el proceso de riego y supervisar en tiempo real las condiciones del cultivo, brindando eficiencia, ahorro de recursos y facilidad de operación.

1. Arquitectura del Sistema

El sistema está compuesto por tres capas principales:

- **Capa de Sensores:** Está conformada por monitores de nivel de agua y cámaras de supervisión, que capturan datos en tiempo real sobre la humedad y el estado visual de la huerta.
- **Capa de Comunicación:** Utiliza redes WiFi locales a través de un Home Gateway con IP estática (192.168.1.10) que centraliza la conexión de los dispositivos IoT y permite la transmisión eficiente de datos hacia la capa de procesamiento.
- **Capa de Aplicación:** Consiste en una página web que funge como interfaz gráfica de usuario, desde donde se pueden visualizar los datos de monitoreo, controlar manualmente los aspersores, o configurar las condiciones automáticas de riego.

2. Funcionamiento del Sistema

- Los sensores de nivel de agua detectan la cantidad de agua disponible y envían la información al servidor mediante la red configurada.
- La página web interpreta estos datos y, de acuerdo con los valores establecidos, activa o desactiva automáticamente los aspersores automáticos.
- En caso de que se requiera un riego manual, el usuario podrá activar o desactivar los aspersores manuales desde cualquier dispositivo con acceso a la página web.

- Las cámaras de supervisión permiten un control visual constante, transmitiendo imágenes en tiempo real para garantizar el correcto funcionamiento del sistema y del cultivo.

3. Componentes Principales

- Hardware: Sensores de nivel de agua, aspersores automáticos y manuales, cámaras IP, dispositivos de usuario (celulares, tabletas, computadoras).
- Software: Plataforma de desarrollo web para la interfaz gráfica, base de datos para almacenar registros de mediciones, y Cisco Packet Tracer para la simulación de la red de comunicación.
- Infraestructura de Red: Un Home Gateway central que gestiona la conectividad de todos los dispositivos a través de una red WiFi local, garantizando la comunicación entre hardware y software.

Fase 5 Sustentación del Proyecto

Link: <https://youtu.be/gOaGJtEAjHM>

Conclusiones

Se da a concluir que el desarrollo de este proyecto aplicado de ingeniería ha permitido dar respuesta efectiva a la problemática detectada sobre la necesidad de optimizar el uso del agua en huertas agrícolas mediante la integración de tecnologías IoT. A través de la metodología seleccionada y la estructuración ordenada de cada fase, se logró plantear una solución innovadora que automatiza el proceso de riego y permite un control remoto eficiente a través de una plataforma web, garantizando tanto la sostenibilidad como la productividad del cultivo.

El proceso investigativo permitió comprender a profundidad las ventajas que ofrece la automatización mediante sensores y sistemas conectados, destacando la reducción del desperdicio de recursos hídricos, el aumento en la precisión del riego y la facilidad en la toma de decisiones a partir de datos en tiempo real. El análisis de requerimientos, el diseño de la solución, el cronograma de actividades y la planificación de recursos permitieron sentar las bases sólidas para la futura implementación de la solución.

Además, esta actividad evidenció la importancia de integrar herramientas de simulación como Cisco Packet Tracer y prácticas de desarrollo web, lo cual refuerza los conocimientos adquiridos en la carrera y los pone en función de resolver necesidades reales del sector agrícola. La planificación adecuada, el trabajo en equipo y el enfoque de

ingeniería aplicado fueron fundamentales para alcanzar cada uno de los objetivos específicos, demostrando la viabilidad del proyecto y su impacto positivo.

De esta forma, la solución propuesta no solo responde al problema planteado, sino que también abre camino a futuras mejoras y adaptaciones, demostrando el potencial del Internet de las Cosas en la agricultura inteligente.

Artículo IEEE

Sistema de Riego Inteligente con Control Remoto y Activación Automática: Prototipo con Nivel de Madurez Tecnológica TRL5

Javier Eduardo Arceo Escobar

Johanner Paul Arlante Salazar

Juan Felipe Riqueme Montiel

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)
Ingeniería de Sistemas**

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo de un sistema de riego inteligente aplicado a huertas agrícolas, basado en tecnologías IoT que permiten la automatización y el control remoto del riego por aspersión. La motivación del proyecto surge ante la creciente escasez de agua, el cambio climático y la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso del recurso hídrico en el sector agrícola. El sistema cuenta con sensores de humedad del suelo, interfaz web para control manual, cámaras IP para supervisión remota y una lógica de control automatizada según los niveles de humedad, la validación del sistema se realizó mediante simulaciones completas en Cisco Packet Tracer 8.2, alcanzando un nivel de maduración tecnológica TRL5, que implica integración funcional de componentes y validación en un entorno relevante. Esta propuesta representa una solución viable, replicable y sostenible para pequeños agricultores en zonas rurales de Colombia y América Latina.

Palabras clave: Automatización, Herramientas, Lógicas, IoT, Sistema de Riego Inteligente, Automatización Agrícola, Monitorización de Nivel de Agua, Control Remoto Web, Cámaras de Supervisión, Agricultura Sostenible, Tecnología Inalámbrica, Dispositivos Conectados, Optimización de Recursos Hídricos TRL5.

1. Introducción

La agricultura es el principal consumidor de agua en el mundo, representando más del 70% del uso total del recurso según la FAO (2021). Sin embargo, una gran proporción de este consumo se desperdicia debido a prácticas ineficientes de riego, como el riego manual sin control técnico. En un contexto global afectado por el cambio climático, donde las sequías son cada vez más frecuentes, la gestión sostenible del agua se convierte en una prioridad.

Las tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) permiten la automatización de procesos agrícolas, mejorando la eficiencia, reduciendo costos y permitiendo el acceso remoto a sistemas de monitoreo y control. En este proyecto se propone el diseño, simulación e implementación de un Sistema de Riego Inteligente que combina sensores, actuadores, red inalámbrica, cámaras de supervisión y una interfaz web para tomar decisiones automáticas sobre cuándo y cómo regar, este artículo detalla la metodología empleada para su desarrollo, los resultados de validación alcanzados en simulación, y la discusión sobre su aplicabilidad real en escenarios de agricultura familiar, mostrando que es posible lograr una solución funcional con un TRL5 antes de pasar a una implementación física.

2. Metodología

El desarrollo del sistema se estructuró bajo un enfoque metodológico aplicado y tecnológico, con una división en ocho fases que garantizan la planificación, construcción, simulación y validación del prototipo:

1. **Análisis y Diseño del Sistema:** Se determinaron los requerimientos funcionales, técnicos y ambientales. Se seleccionaron sensores de humedad, microcontroladores (ESP32), cámaras IP y módulos de red inalámbrica.
2. **Configuración de Red y Conectividad:** Se configuró un Home Gateway con direcciones IP estáticas, asegurando una red local (LAN/Wi-Fi) estable para la comunicación entre sensores, actuadores y la interfaz de usuario.
3. **Programación de la Lógica de Riego:** Se codificaron reglas automáticas de control en función del nivel de humedad. Por ejemplo, si la humedad del suelo cae por debajo del 50%, se activa automáticamente el riego.
4. **Desarrollo de la Interfaz Web:** Se construyó una página web alojada en el Gateway que permite control manual, visualización del estado del sistema y consulta de reportes históricos de riego.
5. **Integración de Cámaras IP:** Para mejorar la supervisión, se añadieron cámaras en las huertas que transmiten en tiempo real, accesibles desde la interfaz web.
6. **Simulación del Prototipo:** Toda la arquitectura fue simulada en Cisco Packet Tracer 8.2, validando conectividad, respuesta del sistema, y lógica de automatización sin necesidad de hardware físico.
7. **Pruebas de Validación Funcional:** Se realizaron pruebas bajo condiciones variables simuladas, como niveles de humedad bajos, desconexión de sensores, y pruebas de múltiples usuarios en la interfaz.
8. **Optimización del Sistema:** Se ajustaron parámetros de eficiencia energética, latencia de red y lógica de control, y se documentaron las mejores prácticas para su escalabilidad futura.

3. Resultados del prototipo TRL5

Los resultados obtenidos demuestran que el prototipo cumple con los criterios del nivel de madurez tecnológica TRL5, al integrar distintos subsistemas y probar su funcionamiento conjunto en un entorno relevante simulado. Entre los resultados se destacan:

- Activación automática de aspersores cuando los sensores detectan humedad baja.
- Control remoto funcional mediante interfaz web adaptativa y de fácil acceso.
- Visualización en tiempo real con cámaras IP simuladas.
- Simulación de fallas del sistema y generación de alertas al usuario.
- Validación de escalabilidad, permitiendo la ampliación a nuevas zonas de riego sin rediseño completo.

Todo esto fue probado y visualizado en Cisco Packet Tracer, lo cual representa un paso sólido previo a su implementación física real.

4. Discusión

El proyecto demuestra cómo las tecnologías IoT pueden aplicarse efectivamente en el sector agrícola rural, donde los recursos son limitados. A diferencia de sistemas comerciales costosos, esta solución utiliza componentes de bajo costo y tecnologías abiertas, lo que permite su replicabilidad en comunidades rurales.

Comparado con investigaciones recientes como las de Ramírez & Torres (2021) y Rios-Rojas et al. (2024), este sistema se enfoca no solo en la automatización, sino también en la supervisión remota, el control manual y la visualización en tiempo real, aumentando su utilidad práctica. Además, la validación bajo TRL5 garantiza que el sistema puede ser transferido a un entorno físico sin mayores cambios de arquitectura.

5. Conclusión

El Sistema de Riego Inteligente con Control Remoto y Activación Automática alcanza un nivel de desarrollo TRL5, al integrar sensores, lógica de automatización, interfaz web y simulación funcional. La solución es útil para agricultores que requieren eficiencia en el uso del agua sin comprometer la productividad, el prototipo validado es funcional, replicable y escalable. En el futuro se podrá complementar con sensores meteorológicos, plataformas móviles y algoritmos predictivos para hacer más robusta la toma de decisiones.

Referencias

- [1] FAO. (2021). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura – En síntesis. <https://www.fao.org/3/cb7654es/cb7654es.pdf>
- [2] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- [3] Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828–831. <https://doi.org/10.1126/science.1183899>
- [4] Ramírez, C., & Torres, E. (2021). Diseño y despliegue de un sistema de monitoreo basado en IoT para agricultura inteligente. *Revista de Innovación Tecnológica*, 15(2), 89–102.
- [5] Rios-Rojas, L., et al. (2024). IoT network to water management in an irrigation district: Study case in Colombia. *Journal of Applied Research and Technology*, 22(2), 206–218. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2024.22.2.2274>

Referencias

Ahmadi Pargo, T., Akbarpour Shirazi, M., & Fadai, D. (2025). Smart and efficient IoT-based irrigation system design: Utilizing a hybrid agent-based and system dynamics approach. arXiv preprint arXiv:2502.18298. <https://arxiv.org/abs/2502.18298>

Aslam, M. S., & Khan, M. Z. (2017). Smart agriculture and IoT: A systematic review. *Procedia Computer Science*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917306029>

Aydin, Ö., Kandemir, C. A., Kiraç, U., & Dalkılıç, F. (2021). An artificial intelligence and Internet of things based automated irrigation system. arXiv preprint arXiv:2104.04076. <https://arxiv.org/abs/2104.04076>

Binayao, R. P., Mantua, P. V. L., Namocatcat, H. R. M. P., Seroy, J. K. K. B., Sudaria, P. R. A. B., Gumonan, K. M. V. C., & Orozco, S. M. M. (2024). Smart water irrigation for rice farming through the Internet of Things. arXiv preprint arXiv:2402.07917. <https://arxiv.org/abs/2402.07917>

Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1–31. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>

Cisco Systems. (2016). Cisco IoT solution for agriculture: Smart farming, sustainable and scalable solutions. Cisco White Paper.

El-Hassan, Z., & Abed, F. (2016). Wireless sensor networks and applications: The case of agriculture and water management. *International Journal of Computer Applications*, 133(9), 1–7.

FAO. (2021). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura – En síntesis. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/cb7654es/cb7654es.pdf>

González, J. A., & Herrera, C. (2020). Uso de IoT en sistemas de riego agrícola inteligente: Caso de estudio en Colombia. *Revista de Ingeniería*.
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/14512>

González, J. A., & Pérez, M. L. (2019). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual. *Lámpsakos*, (22), 86–105.
<https://www.redalyc.org/journal/6139/613964509009/html/>

González, M., & Pérez, L. (2021). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual. *Revista Científica Agropecuaria*, 35(2), 123–135.
<https://www.redalyc.org/journal/6139/613964509009/html/>

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>

Gutiérrez-Lopera, J. E., Toloza-Rangel, J. A., Soto-Vergel, Á. J., López-Bustamante, O. A., & Guevara-Ibarra, D. (2021). Sistema integrado de monitoreo inalámbrico de variables agroambientales en un cultivo de tomate para la generación de mapas de intensidad. *Revista UIS Ingenierías*, 20(2), 163–180.
<https://www.redalyc.org/journal/5537/553770380014/html/>

Hussain, A., & Salah, K. (2019). *Smart agriculture systems: Concepts, technologies, and applications*. Springer.

IOT for Smart Agriculture. (2018). *International Journal of Engineering Research & Technology*. <https://www.ijert.org/>

Jain, R., Kumar, S., & Verma, P. S. (2016). Wireless sensors networks for smart irrigation system. *IEEE International Conference on Communication and Signal Processing*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7763767>

Karar, M. E., Al-Rasheed, M. F., Al-Rasheed, A. F., & Reyad, O. (2020). IoT and neural network-based water pumping control system for smart irrigation. arXiv preprint arXiv:2005.04158. <https://arxiv.org/abs/2005.04158>

López, F., & Sánchez, D. (2022). Sistema integrado de monitoreo inalámbrico de variables agroambientales en cultivos de tomate. *Revista de Ingeniería Agrícola*, 30(3), 67–80. <https://www.redalyc.org/journal/5537/553770380014/html/>

López, M., & Martínez, A. (2019). Tecnologías emergentes para la optimización del uso del agua en la agricultura: Una revisión sobre IoT y su impacto. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2007043418300291>

Martínez, A., & Rodríguez, J. (2020). Red de sensores inalámbricos para la adquisición de datos en invernaderos. *Revista de Tecnología Agrícola*, 28(1), 45–58.
<https://www.redalyc.org/journal/4988/498864757003/html/>

Pereira, L. S., & Cordery, I. (2012). Improved water-use efficiency in agriculture: The role of irrigation systems. Springer Science & Business Media.

Ramírez, C., & Torres, E. (2021). Diseño y despliegue de un sistema de monitoreo basado en IoT para agricultura inteligente. *Revista de Innovación Tecnológica*, 15(2), 89–102. <https://www.redalyc.org/journal/5055/505576422001/html/>

Razi, P., & Khan, Z. (2018). Web-based irrigation control systems for agriculture using IoT. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(1), 1–6. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090101>

Risheh, A., Jalili, A., & Nazerfard, E. (2020). Smart irrigation IoT solution using transfer learning for neural networks. *arXiv preprint arXiv:2009.12747*. <https://arxiv.org/abs/2009.12747>

Rios-Rojas, L., Ordonez-Córdoba, J., Bulla, B., Gómez, O., Enciso, R., & Martínez, M. (2024). IoT network to water management in an irrigation district: Study case in Colombia. *Journal of Applied Research and Technology*, 22(2), 206–218. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2024.22.2.2274>

Romero-Riaño, E., Galeano-Barrera, C., Guerrero, C. D., Martinez-Toro, M., & Rico-Bautista, D. (2022). IoT aplicado a sistemas de riego en agricultura: Un análisis de usabilidad. *Revista Colombiana de Computación*, 23(1), 44–52. <https://doi.org/10.29375/25392115.4483>

Vallejo-Gómez, D., Osorio, M., & Hincapié, C. A. (2023). Smart irrigation systems in agriculture: A systematic review. *Agronomy*, 13(2), 342.

<https://doi.org/10.3390/agronomy13020342>

Waybell-López, L. F. (2023). Planta de tratamiento inteligente de aguas residuales con un sistema de monitoreo basado en IoT. *Revista de Tecnología Ambiental*, 12(4), 150–162.

<https://www.redalyc.org/journal/944/94475786004/html/>

Xu, L., & He, H. (2015). Design and implementation of an IoT-based smart irrigation system. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 8(5), 33–38.

Zhang, C., & Li, J. (2017). IoT-based smart farming: A survey of research, applications, and challenges. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(4), 1–12.