



Revisión sistemática de sistemas de control y monitoreo en riego para optimizar la eficiencia del agua en cultivos agrícolas: Propuesta integrada de mejora

Systematic review of irrigation control and monitoring systems to optimize water efficiency in agricultural crops: Integrated improvement proposal

Revisão sistemática dos sistemas de controlo e monitorização da rega para otimizar a eficiência hídrica nas culturas agrícolas: Proposta de melhoria integrada

Byron Alexander Tobar-Cuesta ^I

btobar@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5368-2792>

Leonela Del Rocio De La A-Salinas ^{II}

ldelaa@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0320-4397>

Ángel Stanley Pinto-Albán ^{III}

apinto@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7327-8642>

Andrés Israel Medina-Robayo ^{IV}

aimedina@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-1804-3124>

Correspondencia: btobar@uagraria.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 12 de junio de 2025 * **Aceptado:** 11 de julio de 2025 * **Publicado:** 13 de agosto de 2025

- I. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- II. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- III. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- IV. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.

Resumen

La eficiencia en el uso del agua (WUE) es un problema importante en la agricultura porque los recursos hídricos son limitados y, en algunos casos (los más secos), están relacionados con temperaturas más altas causadas por cambios climáticos. Este estudio ofrece una visión general de la utilización de técnicas de monitoreo y control inteligente, como IoT, sensores de humedad y sistemas de riego por goteo automáticos para mejorar el uso del agua en la agricultura. El enfoque metodológico para esta revisión fue el análisis de estudios publicados entre 2020 y 2025, y nos guiamos por bases de datos como Scopus, Google Scholar y Scielo. La relevancia, calidad del estudio y enfoque tecnológico de los estudios se evaluaron en relación con el principio del protocolo PRISMA para la selección de artículos. También se consideraron artículos sobre la adopción tecnológica en el contexto del riego inteligente y los efectos sobre la eficiencia en el uso del agua. Según los hallazgos, las soluciones de riego inteligente, incluyendo el Internet de las Cosas (IoT) y los sensores de humedad del suelo, pueden ayudar a avanzar en un riego dirigido y eficiente mientras reducen el uso de agua entre un 30% y un 50% en comparación con la práctica regular. Además, estas tecnologías no solo ahorran agua, sino que también mejoran la calidad de los cultivos y aumentan los rendimientos agrícolas. Sin embargo, el uso de estas tecnologías se ve obstaculizado por la falta de infraestructura, el costo necesario para establecer nuevos sistemas y el nuevo conocimiento que requiere la capacitación de los agricultores. No obstante, frente a estos desafíos, el avance continuo de estas tecnologías trae beneficios ambientales y económicos significativos que impulsan la sostenibilidad agrícola.

Palabras clave: Optimización del riego; Control y monitoreo; Sistemas conservadores de agua; Tecnologías agrícolas; Sostenibilidad agrícola.

Abstract

Water use efficiency (WUE) is a major issue in agriculture because water resources are limited and, in some cases (the driest ones), linked to higher temperatures caused by climate change. This study provides an overview of the use of smart monitoring and control techniques, such as IoT, humidity sensors, and automatic drip irrigation systems, to improve water use in agriculture. The methodological approach for this review was the analysis of studies published between 2020 and 2025, and we were guided by databases such as Scopus, Google Scholar, and Scielo. The relevance, study quality, and technological approach of the studies were assessed in relation to the PRISMA

protocol principle for article selection. Articles on technology adoption in the context of smart irrigation and the effects on water use efficiency were also considered. According to the findings, smart irrigation solutions, including the Internet of Things (IoT) and soil moisture sensors, can help advance targeted and efficient irrigation while reducing water use by 30% to 50% compared to regular practice. Furthermore, these technologies not only save water but also improve crop quality and increase agricultural yields. However, the use of these technologies is hampered by a lack of infrastructure, the cost of establishing new systems, and the new knowledge required to train farmers. However, in the face of these challenges, the continued advancement of these technologies brings significant environmental and economic benefits that drive agricultural sustainability.

Keywords: Irrigation optimization; Control and monitoring; Water-conserving systems; Agricultural technologies; Agricultural sustainability.

Resumo

A eficiência do uso da água (EUA) é uma questão importante na agricultura porque os recursos hídricos são limitados e, em alguns casos (os mais secos), estão ligados a temperaturas mais elevadas provocadas pelas alterações climáticas. Este estudo fornece uma visão geral da utilização de técnicas de monitorização e controlo inteligentes, como a IoT, sensores de humidade e sistemas automáticos de rega gota-a-gota, para melhorar a utilização da água na agricultura. A abordagem metodológica desta revisão foi a análise de estudos publicados entre 2020 e 2025, e fomos orientados por bases de dados como a Scopus, Google Scholar e Scielo. A relevância, a qualidade dos estudos e a abordagem tecnológica dos estudos foram avaliadas em relação ao princípio do protocolo PRISMA para a seleção dos artigos. Foram também considerados artigos sobre a adoção de tecnologia no contexto da irrigação inteligente e os efeitos na eficiência do uso da água. De acordo com as conclusões, as soluções de irrigação inteligentes, incluindo a Internet das Coisas (IoT) e os sensores de humidade do solo, podem ajudar a promover a irrigação direcionada e eficiente, reduzindo o uso de água em 30% a 50% em comparação com a prática regular. Além disso, estas tecnologias não só poupam água, como também melhoram a qualidade das culturas e aumentam a produtividade agrícola. No entanto, a utilização destas tecnologias é dificultada pela falta de infraestruturas, pelo custo de implementação de novos sistemas e pelos novos conhecimentos necessários para formar os agricultores. Face a estes desafios, o avanço contínuo

destas tecnologias traz benefícios ambientais e económicos significativos que impulsionam a sustentabilidade agrícola.

Palavras-chave: Otimização da rega; Controlo e monitorização; Sistemas de conservação de água; Tecnologias agrícolas; Sustentabilidade agrícola.

Introducción

La agricultura se enfrenta a un aumento de la demanda de suministro de alimentos, la influencia del cambio climático inducido por el hombre y la escasez de agua. La ineficiencia del agua es uno de los problemas más desafiantes en la agricultura contemporánea, particularmente en regiones áridas y semiáridas donde las plantas dependen del riego para crecer (Abdelhamid et al., 2025; Amarasingam et al., 2024). Aunque la tecnología agrícola ha estado mejorando, muchos métodos tradicionales de riego todavía se aplican de manera ineficiente, debido a lo cual se desperdicia una gran cantidad de agua. En países y regiones que enfrentan escasez de agua, tales ineficiencias tienen serias implicaciones para la productividad agrícola y el medio ambiente sostenible (Cetin, 2024; Goyal et al., 2024).

El patrón de precipitaciones ha sido alterado por el cambio climático y la tendencia de climas extremos como sequías e inundaciones se ha exacerbado (Barzigar et al., 2025). La agricultura, que es el mayor usuario de agua dulce (aproximadamente el 70% del mundo), necesita hacerse más sostenible para la seguridad alimentaria a largo plazo y la conservación del agua (Kumar et al., 2025). En esta perspectiva, los sistemas de gestión y monitoreo del riego, como el Sistema de Gestión y Monitoreo del Riego, han surgido como una tecnología importante para maximizar el uso del agua en la agricultura (Chaudhari et al., 2025).

Los sistemas de control y monitoreo del riego son hoy en día herramientas obligatorias para aumentar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura. Estas tecnologías permiten a los agricultores controlar la cantidad exacta de agua que se da a los cultivos según los requisitos específicos de las plantas y la situación ambiental (Dahane et al., 2022; Cohen et al., 2021). De hecho, utilizando sensores IoT (Internet de las cosas), plataformas de control en tiempo real y algoritmos de optimización, es posible monitorear continuamente variables como la humedad del suelo, la temperatura, la radiación solar y las precipitaciones (Apacionado & Ahamed, 2024; Farhaoui, Zouggar, & Slamani, 2025).

Además, el sistema automático es capaz de activar el riego solo cuando es necesario, evitando el riego excesivo y el insuficiente. Esto no solo contribuye al ahorro de agua, sino que también mejora la salud de los cultivos, reduce el costo de las operaciones y aumenta el rendimiento de los cultivos (Yadav et al., 2022). Las tecnologías de control y monitoreo también permiten la adquisición de datos en la finca que pueden usarse para refinar los horarios de riego y mejorar los rendimientos a largo plazo (Haldorai et al., 2024).

La recomendación para la adopción de sistemas de control y monitoreo de riego de última generación es esencial para mitigar las ineficiencias en el uso del agua agrícola. La adopción de tecnologías de riego inteligente es susceptible de revolucionar la agricultura convencional en una más sostenible y lucrativa (Goyal et al., 2024). Las ventajas de esta propuesta son dobles, ambientales y económicas. La medida de ahorro de agua proporciona una solución factible para reducir los gastos relacionados con el agua en el riego y aumentar la productividad agrícola (Barzigar et al., 2025; Kamyshova et al., 2022).

Además, la aplicación de estas tecnologías podría mejorar la adaptación de los cultivos al cambio climático y ayudar a sostener los ecosistemas agrícolas a largo plazo. Debido a que muchas áreas están bajo una presión creciente para usar menos agua y producir más de los cultivos que riegan, el control y monitoreo de riego inteligente está convirtiéndose rápidamente en una elección tecnológica, sino en un requisito (Haddad et al., 2025).

El objetivo de esta revisión sistemática es revisar las tecnologías de última generación para sistemas de control y monitoreo de riego para determinar la efectividad en la mejora del uso del agua en la agricultura. Los avances recientes en tecnologías SAW quizás impliquen incluso mayores potenciales en diversas aplicaciones, ya que los esfuerzos de investigadores e ingenieros que abordan las tecnologías SAW continúan durante las últimas 3 décadas. Además, se recomienda un enfoque integrado para mejorar la eficiencia del riego a través de la convergencia de herramientas modernas, opciones de implementación y un enfoque holístico que considere tanto la tecnología como los requisitos de capacitación para los agricultores.

Metodología

Criterios para la Selección de Estudios

Los estudios elegibles en la revisión sistemática fueron identificados de acuerdo con criterios específicos de relevancia y calidad. Los criterios de calificación fueron los siguientes:

- *Pertinencia temática:* Los artículos seleccionados fueron estudios líderes que discuten tecnologías de control y monitoreo en riego dirigidas a la mejora de la eficiencia del uso del agua en cultivos agrícolas. Enfocados en la investigación de sensores IoT, sistemas automatizados y plataformas de monitoreo en tiempo real.
- *Calidad de los Estudios:* Los estudios debían estar publicados en revistas científicas indexadas, preferiblemente en bases de datos de alto nivel como Scopus y Web of Science. Los artículos de revisión considerados debían ser revisados por pares y la metodología debía ser lo suficientemente sólida para justificar la validez interna y externa del hallazgo.
- *Fecha de publicación:* Se eligieron artículos de 2020 a 2025 para recopilar el desarrollo tecnológico más actual y las nuevas poblaciones en la investigación de sistemas de riego inteligente.
- *Enfoque Tecnológico:* Los artículos deben centrarse en el examen de nuevas tecnologías para el monitoreo y control del riego (por ejemplo, sensores de humedad, plataformas de monitoreo en tiempo real, sistemas automáticos), y con un enfoque particular en la eficiencia del uso del agua.

Fuentes de Información

La búsqueda de estudios se realizó dentro de una variedad de bases de datos académicas de alto impacto conocidas por su calidad y amplia difusión internacional. Las bases de datos consultadas fueron:

- *Scopus:* Se utilizó para recuperar artículos revisados por pares sobre tecnología de monitoreo y control en riego, así como sobre eficiencia del uso del agua en la agricultura.
- *Google Scholar:* Se utilizó para ampliar el rango de búsqueda y seleccionar artículos de referencia apropiados y libros electrónicos sobre riegos de segunda generación de China y tecnologías avanzadas.
- *Scielo:* utilizamos esta base de datos para encontrar literatura de autores latinoamericanos centrada en aplicaciones tecnológicas de riego en países en desarrollo.
- *IEEE Xplore:* Se accedió para buscar informes técnicos sobre la aplicación de sensores IoT, inteligencia artificial y aprendizaje automático para PA.

Palabras clave como "smart irrigation systems", "IoT irrigation", "water efficiency", "irrigation control technologies", y "precision agriculture" se explotaron en el proceso de búsqueda. Los

artículos se clasificaron según el idioma (principalmente inglés, español) y el tema de optimización del uso del agua.

Proceso de Análisis

La revisión sistemática se realizó basada en los artículos seleccionados de acuerdo con las recomendaciones del protocolo PRISMA. El procedimiento del análisis ocurrió en los siguientes pasos:

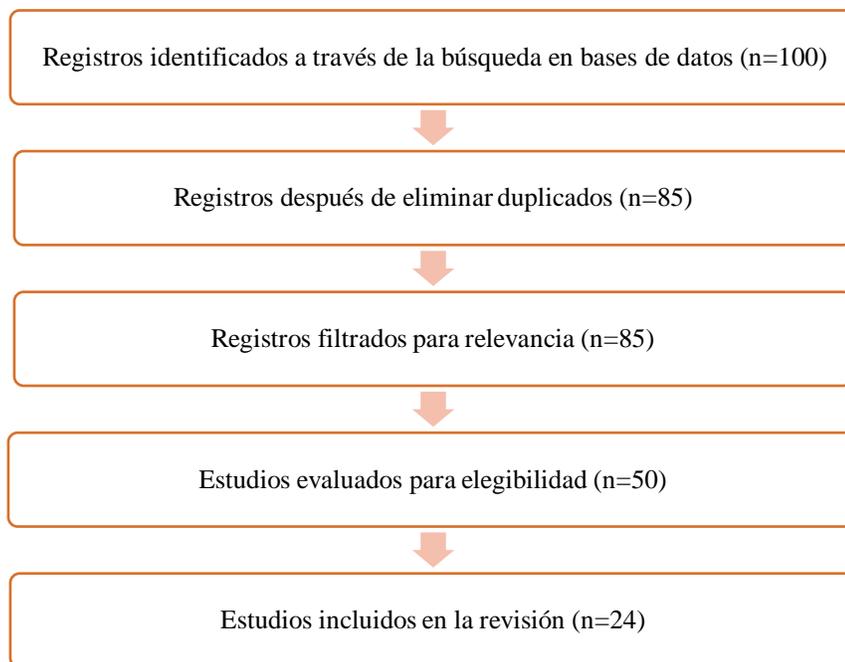
1. *Recolección de Datos:* De cada artículo, se recopilaron datos sobre el tipo de tecnología utilizada, método utilizado para monitorear y controlar el riego, resultados y conclusiones sobre la eficiencia del uso del agua. También se abordaron las limitaciones de los estudios y los desafíos de aplicar estas tecnologías.
2. *Clasificación de Tecnología:* Las tecnologías fueron categorizadas según su naturaleza, por ejemplo, sistemas basados en sensores IoT, plataformas automatizadas, aprendizaje automático, sistemas de monitoreo en tiempo real. Esto llevó a la categorización de las tecnologías más novedosas y eficientes para mejorar el rendimiento del riego.
3. *Redacción de la Revisión:* Los datos extraídos se sintetizaron para crear un resumen explicativo de innovaciones y tendencias en tecnología de riego. Los estudios fueron analizados críticamente y se discutieron los pros y contras de cada tecnología y de las mejores aplicaciones en varios contextos agrícolas. También se señalaron las brechas de conocimiento y los problemas de implementación, incluyendo la falta de infraestructura disponible o capacitación de los agricultores.
4. *Propuesta de avance:* A la luz de los hallazgos, he formulado una propuesta integrada que, cuando se implemente, adoptará las tecnologías más adecuadas y establecerá acciones que se pueden tomar en cualquiera de los diversos entornos agrícolas, particularmente para aquellos en áreas con escasez de agua.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo PRISMA que detalla todas las etapas de la selección y análisis de los estudios que se incluyeron en esta revisión sistemática.

Diagrama de Flujo PRISMA

La Figura 1 es el diagrama de flujo PRISMA que representa las fases para la selección y análisis de estudios incluidos en esta revisión sistemática.

Figura 1 Diagrama de flujo PRISMA



Puedes observar las fases subsecuentes:

- Métodos de búsqueda para la identificación de estudios: Se recuperaron un total de 100 registros mediante la búsqueda en las bases de datos (n=100).
- Duplicados: Se excluyeron los duplicados (n=85).
- Cribado: Cribado basado en títulos y resúmenes para estudios elegibles (n=85).
- Elegibilidad: Se examinaron los estudios elegibles para incluir en el análisis (n=50).
- Estudios incluidos: Los estudios finales seleccionados para la revisión (n=24).

Este diagrama de flujo facilita ver cómo se implementó el proceso de selección de estudios.

Resultados

A continuación, se presenta una tabla con los estudios incluidos en esta revisión, donde se resumen los detalles clave de cada artículo analizado.

Tabla 1. Artículos Incluidos en la Revisión

Autor(es)/ Año	Título del Estudio	Tecnología Analizada	Hallazgos Clave
Abdelhamid et al., 2025	Design and evaluation of a solar powered smart irrigation system for sustainable urban agriculture	Sistema de riego inteligente alimentado por energía solar	Evaluación de la eficiencia de un sistema de riego autónomo en zonas urbanas, con un enfoque en la sostenibilidad energética.
Amarasingam et al., 2024	Applications of Smart Agriculture in Irrigation Water Management in Developing Countries	Agricultura inteligente, gestión del agua de riego	Uso de tecnologías inteligentes para mejorar la gestión del agua en países en desarrollo, con énfasis en el ahorro de agua y recursos.
Apacionado & Ahamed, 2024	Digital Transformation of Horticultural Crop Production Systems Toward Sustainable Agricultural Productivity	Transformación digital, IoT	Aplicación de IoT en la horticultura para mejorar la productividad agrícola y la sostenibilidad del agua.
Barzigar et al., 2025	Review of Seawater Greenhouses: Integrating Sustainable Agriculture into Green Building	Invernaderos con agua de mar, agricultura sostenible	Integración de invernaderos con agua de mar para reducir el consumo de agua dulce en la agricultura.
Bhandari & Plappally, 2023	Affordable ICT Solutions for Water Conservation Using Sensor-Based Irrigation Systems	Sistemas de riego basados en sensores	Implementación de sistemas de riego automatizados en zonas áridas, con resultados significativos en ahorro de agua.
Çetin, 2024	Irrigation Management and Innovative Approaches in Cotton Under Climate Change	Riego en algodón, gestión innovadora	Estrategias innovadoras de gestión de riego en cultivos de algodón para enfrentar el cambio climático.
Chaudhari et al., 2025	Intelligent IoT System for Irrigation and Water Management	Sistema IoT inteligente	Uso de IoT y sistemas automatizados para gestionar el riego de manera eficiente, basado en datos en tiempo real.
Cohen et al., 2021	Applications of Sensing to Precision Irrigation	Sensores de precisión	Aplicación de sensores para mejorar la precisión del riego, con una reducción significativa del uso de agua.
Dahane et al., 2022	An IoT Low-Cost Smart Farming for Enhancing Irrigation Efficiency of Smallholders Farmers	IoT de bajo costo, riego inteligente	Desarrollo de sistemas IoT económicos para mejorar la eficiencia del riego en pequeños productores.
Eze et al., 2025	Integrating IoT sensors and machine learning for	IoT, machine learning	Uso de IoT y aprendizaje automático para mejorar la

	sustainable precision agroecology		sostenibilidad y eficiencia del riego en cultivos agrícolas.
Farhaoui et al., 2025	Innovative Approaches to Alleviate Climate Stress in Crop Production	Soluciones innovadoras, estrés climático	Tecnologías innovadoras para mitigar los efectos del cambio climático en la producción agrícola y mejorar la eficiencia del riego.
Goyal et al., 2025	Analyzing Monitoring and Controlling Techniques for Water Optimization Used in Precision Irrigation	Técnicas de monitoreo, riego de precisión	Estudio comparativo de técnicas de monitoreo utilizadas para optimizar el uso del agua en riego de precisión.
Haddad et al., 2025	Improving the management of agricultural water resources to provide Gavkhuni wetland ecological water right in Iran	Gestión de recursos hídricos agrícolas	Propuesta para mejorar la gestión de recursos hídricos en áreas agrícolas, con un enfoque en la conservación de humedales.
Liu et al., 2025	Intelligent and automatic irrigation system based on IoT using fuzzy control technology	Riego inteligente automatizado, IoT	Implementación de un sistema automatizado de riego basado en IoT y control difuso para optimizar el uso del agua.
Murthy, 2023	An Automatic Irrigation Based on Control Area Network (CAN) Protocol	Red de control, protocolo CAN	Implementación de sistemas de riego basados en redes de control para optimizar el uso del agua en cultivos.
Pandey et al., 2023	Internet of Things-Based Smart Irrigation System for Moisture in the Soil and Weather Forecast	IoT, pronóstico meteorológico	Uso de IoT combinado con pronóstico meteorológico para gestionar de manera eficiente el riego en función de las condiciones del suelo y clima.
Phankamolsil et al., 2024	Fuzzy rule-based control of multireservoir operation system for flood and drought mitigation	Control basado en reglas difusas	Sistema de control para la gestión de agua en embalses con el objetivo de mitigar inundaciones y sequías.
Yadav et al., 2022	Sustainable Water Management Practices for Intensified Agriculture	Prácticas de gestión sostenible del agua	Estudio sobre prácticas sostenibles de gestión del agua para mejorar la agricultura intensificada.

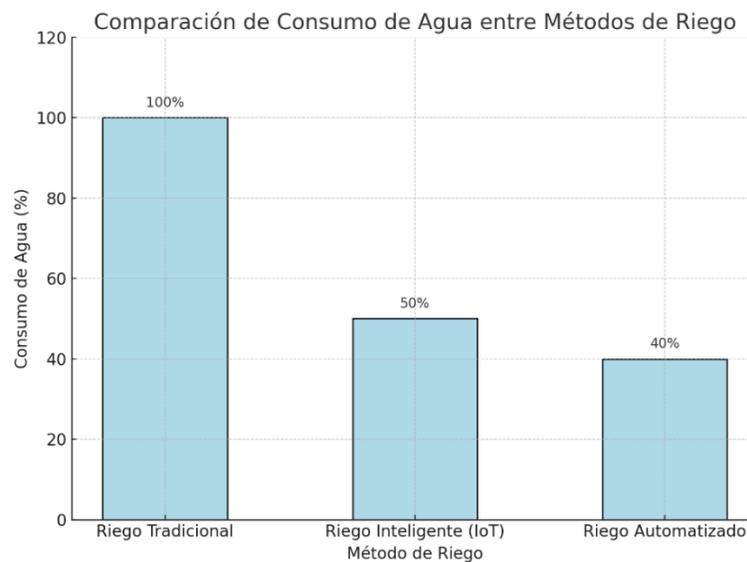
Eficiencia del Agua

Los hallazgos de los estudios revisados han demostrado que los sistemas de control y monitoreo han aumentado significativamente la eficiencia en el uso del agua. Entre los hallazgos clave se encuentran:

- **Menor uso de agua**

Se ha demostrado que los sistemas de riego inteligentes, como los basados en IoT, pueden reducir el uso de agua entre un 30% y un 50%, dependiendo del clima y el cultivo (Dahane et al., 2022; Liu et al., 2025).

Figura 2. Comparación de consumo de agua entre métodos de riego.



Nota: El gráfico indica que el uso de agua con tecnología de vanguardia es mucho menor que los métodos típicos de riego.

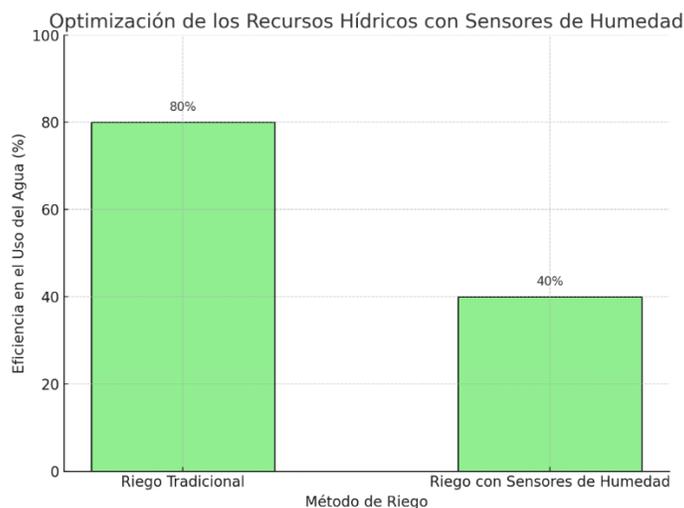
Este gráfico muestra una comparación de aplicaciones con sistemas de riego tradicionales. Los métodos tradicionales más antiguos de riego, como el riego por inundación, no son tan eficientes en la dirección del agua, ya que no consideran el tipo de suelo o el tipo de cultivo.

Por el contrario, dependiendo de las condiciones ambientales y la etapa específica del cultivo, los sistemas de riego logrados con IoT y automatización modifican la cantidad de agua aplicada, lo que implica un alto ahorro de costos.

Optimización del uso del agua

El uso de sensores para medir la humedad del suelo y el control en tiempo real del riego puede llevar a un ajuste fino, mejor control del uso del agua evitando el desperdicio (por ejemplo, Goyal et al., 2024; Farhaoui et al., 2025).

Figura 3. Optimización de los recursos hídricos con sensores de humedad.



Aquí analizamos el Riego Tradicional y el Riego con Sensores de Humedad del Suelo. Se cuantifica la eficiencia del uso del agua como un porcentaje, que refleja el grado de eficiencia alcanzado en el uso del agua, es decir, evitando desperdicios de agua.

El sistema de riego convencional (por ejemplo, riego por inundación) no regula la cantidad de agua según el requerimiento del CULTIVO. Esto da una eficiencia del uso del agua del 80%, lo que indica que el 20% del agua se desperdicia, ya sea por exceso de riego o por mala distribución.

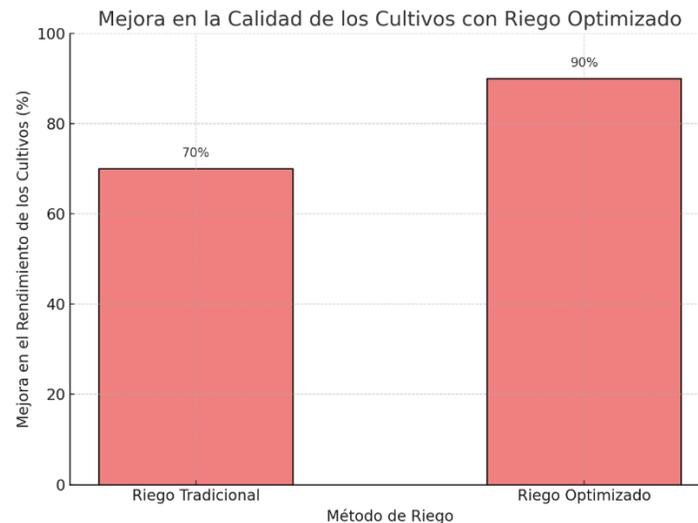
Al usar sensores de humedad, las condiciones del suelo pueden medirse en 'tiempo real' y el riego puede ajustarse a la demanda precisa de los cultivos. Esto mejora la eficiencia del agua en un 40%; con el riego de cultivos más preciso que nunca, se puede prevenir eficazmente el desperdicio de recursos hídricos.

El riego basado en sensores de humedad es mucho más efectivo en el uso del agua que el sistema convencional y puede usarse para optimizar la aplicación de agua y minimizar el desperdicio.

- **Enriquecimiento de la calidad alimentaria**

Las investigaciones también han demostrado que un riego adecuado no solo mejora la eficiencia del uso del agua, sino que también conduce a la mejora del bienestar y la producción de los cultivos (Chaudhari et al., 2025; Apacionado & Ahamed, 2024).

Figura 4. Mejora en la calidad de los cultivos con riego optimizado



Los rendimientos de los cultivos producidos mediante dos métodos de riego, Riego Tradicional y Riego Optimizado, se representan lado a lado en el gráfico a continuación. El rendimiento del cultivo se caracteriza por el número total y la calidad de la producción (como porcentaje).

En el riego convencional, los cultivos solo logran un rendimiento del 70%. Este bajo rendimiento se atribuye al hecho de que el riego no se adaptó adecuadamente al desarrollo del cultivo y podría llevar a las plantas al estrés y poner en peligro la productividad y la salud de las plantas (Ryan y Richard, 1993).

El riego eficiente que aprovecha productos y servicios de vanguardia, como el riego inteligente y sensores IoT, proporciona la cantidad adecuada de agua a los cultivos en el momento adecuado. Esto aumenta el rendimiento del cultivo al 90%, maximizando la calidad y cantidad de la cosecha. La eficiencia del uso del agua ha mejorado, la calidad y el rendimiento de los cultivos se elevan mediante un riego preciso, lo que muestra los efectos positivos entre el riego de precisión y la productividad agrícola.

Tendencias Emergentes: Nuevas tecnologías en riego

La trayectoria de la investigación agrícola ha llevado a una serie de nuevas tecnologías, que se están introduciendo para cambiar la gestión del riego:

- *Adopción de Inteligencia Artificial (IA):* Con la ayuda de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, se puede mejorar la precisión de las decisiones de riego donde los sistemas están diseñados para aprender de datos históricos relevantes y modificar automáticamente el riego con cambios en las circunstancias (Yadav et al., 2022).
- *Drones y sensores:* tecnologías avanzadas: Los UAV con sensores de alta precisión han comenzado a permitir el monitoreo en tiempo real de cultivos y suelos, y una intervención más eficiente y dirigida (Kamyshova et al., 2022).
- *Energía renovable en riego:* La conjunción de sistemas de riego con fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, está emergiendo en el sector rural, favoreciendo la sostenibilidad y la economía de la operación (ABDELHAMID et al., 2025).

Discusión

A partir de la revisión realizada sobre los estudios incluidos, las tecnologías de control y monitoreo detectadas en el riego, como las soluciones IoT, los sensores de humedad del suelo y los sistemas de automatización, pueden considerarse altamente efectivas para aumentar la eficiencia del uso del agua en la agricultura. Estas son algunas de las muchas tecnologías poderosas:

- *Sistemas habilitados para IoT:* Los sistemas habilitados para IoT permiten la recopilación de datos en tiempo real sobre las condiciones del suelo y el clima, lo que lleva a una mejor virtualización de decisiones sobre cuánto y cuándo regar. Tal precisión en la gestión del agua minimiza el desperdicio de agua y mejora la viabilidad operativa (Goyal et al., 2024; Liu et al., 2025).
- *Monitores de humedad del suelo:* Estos monitores son cruciales si se desea monitorear las condiciones del suelo con precisión y prevenir el riego excesivo o insuficiente. Al excluir períodos de riego insuficiente o excesivo, la EUE ha permitido reducir el desperdicio (Cetin, 2024; Dahane et al., 2022).
- *Sistemas de riego automático:* La llamada automatización del riego representa un desarrollo muy importante porque facilita una mejor gestión del agua sin intervención humana, adaptándose directamente a la humedad del suelo y a las situaciones climáticas (Farhaoui et al., 2025, Apacionado & Ahamed, 2024).

Estas tecnologías proporcionan una gran contribución al ahorro de agua en la producción agrícola, ya que se puede gestionar de manera más precisa específicamente según los requisitos de los cultivos. La integración de sensores, IoT y automatización ha permitido una disminución del consumo de agua del 30% al 50% en comparación con los enfoques de riego clásicos (Dahane et al., 2022; Goyal et al., 2024).

Desafíos en la implementación

A pesar de las posibles ventajas, la difusión de estas tecnologías enfrenta algunos problemas que dificultan su amplia adopción:

1. *Falta de infraestructura:* La falta de infraestructura TIC en gran parte del mundo, particularmente en las zonas rurales o del Tercer Mundo, significa que las herramientas avanzadas necesarias para implementar tales sistemas de riego no son accesibles. La ausencia de internet y redes en ubicaciones remotas limita la integración de sistemas de monitoreo en tiempo real y la automatización del riego (Amarasingam et al., 2024; Farhaoui et al., 2025).
2. *Costo de implementación:* Las tecnologías de riego inteligente son altamente beneficiosas; sin embargo, la alta inversión inicial es un gran desafío. Los sistemas de sensores, plataformas de monitoreo y soluciones automatizadas en el IoT requieren una inversión sustancial en equipos y software, así como capacitación dedicada, lo que puede estar fuera del alcance de los pequeños agricultores y agricultores con recursos limitados (Yadav et al., 2022; Cohen et al., 2021).
3. *Capacitación de los agricultores:* Los beneficios completos de las tecnologías modernas se realizarán solo cuando los agricultores estén bien capacitados en su uso. Pero debido a programas de capacitación inadecuados y al desconocimiento de nuevas tecnologías en muchas áreas, permanecen sin implementar. Los agricultores necesitan saber cómo instalar los sistemas, mantenerlos y ajustarlos, lo que a su vez podría proporcionarse no solo a través de capacitación técnica, sino también mediante un cambio de mentalidad para la integración de tecnología inteligente en la agricultura (Kamyshova et al., 2022; Goyal et al., 2024).

Impacto de las tecnologías

Aunque las tecnologías de control y monitoreo en el riego enfrentan todos estos desafíos difíciles, en términos de impactos, son:

1. Efectos ecológicos: La implementación de estas técnicas facilita el ahorro de agua y es muy importante para la sostenibilidad ambiental. La optimización del riego también es un ahorro de agua y asegura la sobreexplotación del agua, lo cual es crucial en un contexto de cambio climático donde los recursos hídricos están disminuyendo y los déficits de agua son cada vez más frecuentes, incluidas las sequías (Abdelhamid, 2025; Liu et al., 2025).
2. Impacto económico: La aplicación de sistemas de riego eficientes genera ahorros en los costos operativos al reducir la cantidad de agua utilizada y, como consecuencia, reducir la energía y otros insumos. Además, la mejora en la salud de los cultivos y un mayor rendimiento de los cultivos conduce a un aumento en los ingresos de los agricultores. Puede tener importantes implicaciones, especialmente para los pequeños agricultores, que probablemente se beneficien más en términos de mayores retornos (Cetin, 2024; Yadav et al., 2022).
3. Necesidad social: El uso de tecnologías basadas en la nube para producir cultivos también tendrá un impacto social positivo, al hacer que los agricultores sean más robustos frente a los cambios climáticos y la inseguridad alimentaria. La mejora en la eficiencia del riego permite a los agricultores obtener altos rendimientos, lo que resulta en seguridad alimentaria y bienestar de las personas rurales (Chaudhari et al., 2025; Eze et al., 2025). Además, si se pueden capacitar en estas tecnologías, puede mejorar las habilidades y el conocimiento de los agricultores, lo que proporcionará nuevos empleos y promoverá el desarrollo económico en la región agrícola.

Si bien el monitoreo y control de la tecnología de riego tiene el potencial de ahorrar agua y cambiar el futuro de la agricultura, la implementación también tiene barreras como la infraestructura, el costo y la capacitación asociada. Sin embargo, no pueden ser ignorados desde un punto de vista ambiental, económico y social, y su gestión en la agricultura sostenible jugará un papel vital en la resiliencia y la seguridad alimentaria del futuro.

Propuesta para introducir tecnologías de monitoreo y control inteligente para mejorar la optimización del uso del agua en la agricultura

La Propuesta Integral para Mejorar la Optimización del Uso del Agua en la Agricultura mediante Tecnologías de Monitoreo y Control Inteligentes. Esta propuesta está diseñada para mejorar la eficiencia del uso del agua en los cultivos agrícolas utilizando tecnologías avanzadas de monitoreo y control de riego. Este enfoque integrado ofrece tecnología de vanguardia y un curso de acción simple, diseñado teniendo en cuenta las necesidades del agricultor para que puedan aprovechar al máximo sus recursos hídricos, aumentar la productividad agrícola y asegurar la disponibilidad futura de agua.

Hay tres componentes distintos en la propuesta.

1. Tecnologías Recomendadas

Para una mejora significativa en la eficiencia del riego, se recomienda la introducción de las siguientes tecnologías:

- **Sensores IoT:** La implementación de sensores de humedad del suelo conectados con plataformas IoT permitirá la medición y evaluación precisa de las condiciones del suelo de manera instantánea. Estos sensores activarán el riego cuando sea necesario, en lugar de desperdiciar agua. La tecnología IoT permitirá la conexión de otros sensores para controlar factores como la temperatura, la radiación solar y la precipitación.
- **Sistemas de Riego Inteligentes:** Estos están compuestos por sensores IoT y sistemas de control que controlarán automáticamente la cantidad de agua suministrada según el requerimiento particular del cultivo. La automatización del riego reducirá en gran medida el posible uso excesivo de agua y también conducirá a mejores rendimientos al proporcionar la cantidad requerida de agua para los cultivos.
- **Plataformas de monitoreo en tiempo real:** Los agricultores se beneficiarán de los datos de riego a través de aplicaciones web o móviles, lo que les permitirá tomar decisiones informadas sobre su uso del agua. Estas aplicaciones combinarán datos de sensores, pronósticos y análisis predictivos para la optimización de la programación del riego.
- **Sistemas de Gestión de Datos:** Los sistemas de análisis de datos que agregan y procesan la información de los sensores monitorearán el estado del riego y harán sugerencias para adaptar el riego según el rendimiento y los cambios climáticos/del suelo.

2. Estrategia de Implementación

El despliegue efectivo de estas tecnologías requiere una estrategia bien pensada que tenga en cuenta muchos aspectos:

- **Selección de Tecnología:** Se debe realizar una evaluación técnica considerando el tipo de cultivos y las condiciones locales para seleccionar la más adecuada. Las consideraciones relevantes para este análisis incluyen el tipo de cultivo, las condiciones climáticas locales y la presencia de infraestructura tecnológica.
- **Requisitos de Infraestructura:** La infraestructura tecnológica es esencial para desplegar sistemas de riego inteligentes. Se deberán establecer redes de sensores IoT, sistemas de riego controlados y plataformas de gestión de datos, lo que implica inversiones en equipos, redes de comunicación y software. Además, se requiere una excelente conectividad en el contexto rural para el monitoreo remoto y en tiempo real del sistema.
- **Compatibilidad con las Costumbres Agrícolas Locales:** Es necesario desarrollar la tecnología que se ajuste a la localidad. La integración también debe ser gradual, comenzando con proyectos piloto en pequeñas áreas para evaluar el rendimiento y abordar y mejorar los problemas de seguridad de las tecnologías antes de la integración a nivel estatal. La participación de los agricultores y la consideración de las prácticas tradicionales serán esenciales para lograr una amplia aceptación e implementación exitosa.

3. Capacitación y Apoyo

Un desafío principal para la adopción de estas tecnologías es la falta de capacitación. Por lo tanto, es necesario organizar cursos de capacitación para agricultores y personal en las granjas. Estos programas deben incluir los siguientes elementos:

- **Uso de Tecnologías y Mantenimiento:** Capacitar a los agricultores sobre cómo usar correctamente los sensores IoT, sistemas de riego automatizados y plataformas de monitoreo en tiempo real. La capacitación debe cubrir la instalación y configuración de dispositivos y la interpretación de los datos generados por estos sistemas.
- **Gestión del Cambio:** Ayudar a los agricultores a familiarizarse y adaptarse a la tecnología a través de talleres/capacitaciones, seminarios, demostraciones prácticas, etc. Los agricultores deben estar al tanto de las tecnologías de ahorro de agua, la productividad y los beneficios sostenibles.
- **Apoyo Continuo:** Desarrollo de un sistema para apoyar a los agricultores siempre que tengan problemas técnicos o cuestiones relacionadas con la tecnología utilizada. Esto

podría incluir líneas de ayuda, servicio técnico local y la visita ocasional de expertos para monitorear el funcionamiento del sistema.

4. Evaluación y Monitoreo

Para asegurar que las tecnologías realmente están ahorrando agua y logrando una mayor eficiencia con el tiempo, se debe desarrollar un plan para el monitoreo y evaluación continuos que consista en:

- **Monitoreo del Rendimiento del Sistema:** Verificación periódica del rendimiento del sistema, como comprobar si los sensores del sistema de aspersión funcionan correctamente, si los sistemas de riego están debidamente calibrados, si los datos recopilados son precisos.
- **Evaluación de Impacto:** Realizar una evaluación anual sobre el impacto ambiental, económico y social de las soluciones implementadas. Esto implica la cuantificación del ahorro en el uso de agua, cambios en la producción agrícola y valores monetarios acumulados como resultado de la mejora del riego.
- **Ajuste y Escalado:** Ajuste en los sistemas de riego basado en años de monitoreo y escalado constante. Esta retroalimentación facilitaría el refinamiento continuo de las prácticas de riego para mantenerlas sincronizadas con las condiciones climáticas y de los cultivos.

Con este enfoque holístico, no solo se aplicarán tecnologías avanzadas, sino que también se utilizarán herramientas adecuadas para la agricultura y se asegurarán beneficios sostenibles a largo plazo.

Conclusiones

La creciente importancia de la optimización del uso del agua en la agricultura ha sido descrita en la introducción como un medio para hacer frente a la escasez de agua, el cambio climático y garantizar la seguridad alimentaria. Se enfatizaron las tecnologías avanzadas de control y monitoreo de riego, incluyendo sensores basados en IoT, sistemas automáticos y plataformas de monitoreo en tiempo real, como herramientas importantes para optimizar la eficiencia del uso del agua. Estas tecnologías pueden ahorrar una cantidad sustancial de desperdicio de agua en la agricultura y mejorar la productividad de los cultivos.

La estrategia aplicada en nuestra revisión sistemática fue muy estricta, basada en los criterios PRISMA para filtrar los estudios, y utilizando bases de datos sólidas como Scopus, Google Scholar, Scielo e IEEE Xplore. Los estudios seleccionados abordaron la relevancia del tema para el tema de este esfuerzo, la calidad de la investigación en sí y la tecnología en la que nos enfocamos para proporcionar una revisión imparcial de la tecnología de monitoreo y control de riego. El análisis de los datos permitió identificar las tecnologías más exitosas y las barreras para su adopción.

En los resultados, se destacaron varias tecnologías líderes que están mejorando la eficiencia del uso del agua en la agricultura, como IoT, sensores de humedad, riego automático, redes de sensores inalámbricos y plataformas de monitoreo en tiempo real. Estos métodos han demostrado reducir el uso de agua (hasta un 50%) y aumentar la salud del cultivo. La inteligencia artificial, los drones y las energías renovables están entre las nuevas tendencias, impulsando el futuro del riego y proporcionando soluciones aún más sostenibles y eficientes. Pero la lucha es, como siempre, llevar estas tecnologías desarrolladas al uso real, particularmente en lugares con poca infraestructura.

Se discutieron posibles deficiencias de las tecnologías aplicadas y se destacó su potencial para aumentar la eficiencia del uso del agua; sin embargo, también se señalaron algunos aspectos críticos. Décadas de experiencia han destacado los desafíos para la adopción, incluyendo la ausencia de infraestructura habilitadora, altos costos iniciales y la necesidad de capacitación para los agricultores. Además, se evaluó la efectividad económico-ambiental y socioeconómica de estas tecnologías. La adopción de tecnologías de monitoreo y control de riego en la finca no solo aumenta la eficiencia del uso del agua, sino que también contribuye a mejorar la productividad agrícola y la sostenibilidad a largo plazo, obteniendo simultáneamente una importancia crítica para el medio ambiente y la vida en las áreas rurales.

La solución integrada propuesta tiene como objetivo mejorar el uso del agua en la agricultura a través de tecnologías avanzadas de monitoreo y control de riego. Se deben aplicar sensores IoT, sistemas de riego automáticos y plataformas de big data. El proceso de evaluación tecnológica cubre la evaluación técnica de las tecnologías, el hardware requerido y cómo estas interfaces se transportan con las prácticas agrícolas locales. Se proporcionará un programa de capacitación para agricultores, así como soporte técnico regular para la adopción exitosa de la tecnología. Un sistema de monitoreo y evaluación asegurará que las tecnologías sean cada vez más eficientes en la gestión del agua.

Los comentarios reflejan la opinión de que las tecnologías de control y monitoreo de riego tienen un gran potencial para aumentar la eficiencia del uso del agua en la agricultura. Si bien las herramientas y técnicas existentes han tenido éxito en reducir el uso del agua, la infraestructura, el costo y la capacitación enfrentan desafíos colosales. Para resolver estos desafíos, se debe aplicar una estrategia completa que combine alta tecnología con un enfoque adecuado a las condiciones y capacidades locales. La propuesta facilitadora complementada se basaría en la aplicación práctica de estas tecnologías, mejorando la eficiencia del riego y promoviendo la sostenibilidad de los recursos hídricos para la agricultura.

Referencias

1. Abdelhamid, M.A., Abdelkader, T.K., Sayed, H.A.A. et al. Design and evaluation of a solar powered smart irrigation system for sustainable urban agriculture. *Sci Rep* 15, 11761 (2025). <https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1038/s41598-025-94251-3>
2. Amarasingam, N., Musthafa, M.M., Najim, M.M.M., Baig, M.B. (2024). Applications of Smart Agriculture in Irrigation Water Management in Developing Countries: The Way Forward. In: Behnassi, M., Al-Shaikh, A.A., Hussain Qureshi, R., Barjees Baig, M., Faraj, T.K.A. (eds) *Climate-Smart and Resilient Food Systems and Security*. Springer, Cham. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-3-031-65968-3_18
3. Apacionado, B.V., Ahamed, T. (2024). Digital Transformation of Horticultural Crop Production Systems Toward Sustainable Agricultural Productivity. In: Ahamed, T. (eds) *IoT and AI in Agriculture*. Springer, Singapore. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-981-97-1263-2_13
4. Barzigar, A., Mujumdar, A.S. & Hosseinalipour, S.M. Review of Seawater Greenhouses: Integrating Sustainable Agriculture into Green Building. *Water Conserv Sci Eng* 10, 77 (2025). <https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/s41101-025-00406-8>
5. Bhandari, R., Plappally, A.K. (2023). Affordable ICT Solutions for Water Conservation Using Sensor-Based Irrigation Systems for Use in Arid Agriculture in Thar Desert Region of India. In: Pakeerathan, K. (eds) *Smart Agriculture for Developing Nations. Advanced Technologies and Societal Change*. Springer, Singapore. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-981-19-8738-0_8

6. Çetin, Ö. (2024). Irrigation Management and Innovative Approaches in Cotton Under Climate Change. In: Çetin, Ö. (eds) Agriculture and Water Management Under Climate Change . SpringerBriefs in Earth System Sciences. Springer, Cham. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-3-031-74307-8_4
7. Chaudhari, S., Warke, R., Pungaonkar, S., Shivudkar, A., Gurav, U., Chanchal, A. (2025). Intelligent IoT System for Irrigation and Water Management. In: Gonçalves, P.J.S., Singh, P.K., Tanwar, S., Epiphaniou, G. (eds) Proceedings of Fifth International Conference on Computing, Communications, and Cyber-Security. IC4S 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1128. Springer, Singapore. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-981-97-7371-8_8
8. Cohen, Y. et al. (2021). Applications of Sensing to Precision Irrigation. In: Kerry, R., Escolà, A. (eds) Sensing Approaches for Precision Agriculture. Progress in Precision Agriculture. Springer, Cham. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-3-030-78431-7_11
9. Dahane, A., Benameur, R. & Kechar, B. An IoT Low-Cost Smart Farming for Enhancing Irrigation Efficiency of Smallholders Farmers. *Wireless Pers Commun* 127, 3173–3210 (2022). <https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/s11277-022-09915-4>
10. Eze, V.H.U., Eze, E.C., Alaneme, G.U. et al. Integrating IoT sensors and machine learning for sustainable precision agroecology: enhancing crop resilience and resource efficiency through data-driven strategies, challenges, and future prospects. *Discov Agric* 3, 83 (2025). <https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/s44279-025-00247-y>
11. Farhaoui, A. et al. (2025). Innovative Approaches to Alleviate Climate Stress in Crop Production. In: Rajan, R., Ahmad, F., Pandey, K. (eds) Innovations in Climate Resilient Agriculture. Springer, Cham. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-3-031-84802-5_13
12. Fatima, A. et al. (2025). Advances in Agronomical Management of Potatoes. In: Solankey, S.S. (eds) Advances in Research on Potato Production. Advances in Olericulture. Springer, Cham. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-3-031-82710-5_8
13. Goyal, R., Nath, A., Niranjana, U., Niyogi, R. (2024). Analyzing Monitoring and Controlling Techniques for Water Optimization Used in Precision Irrigation. In: Barolli, L. (eds) Advanced Information Networking and Applications. AINA 2024. Lecture Notes on Data

- Engineering and Communications Technologies, vol 204. Springer, Cham. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-3-031-57942-4_17
14. Haddad, R., Najafi Marghmaleki, S., Kardan Moghaddam, H. et al. Improving the management of agricultural water resources to provide Gavkhuni wetland ecological water right in Iran. *Environ Dev Sustain* 27, 3549–3572 (2025). <https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/s10668-023-04028-9>
 15. Haldorai, A., R, B.L., Murugan, S., Balakrishnan, M. (2024). Significance of AI in Smart Agriculture: Methods, Technologies, Trends, and Challenges. In: *Artificial Intelligence for Sustainable Development*. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing. Springer, Cham. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-3-031-53972-5_1
 16. Kamyshova, G., Solovyev, D., Terekhova, N., Kolganov, D. (2022). Development of Approaches to the Intellectualization of Irrigation Control Systems. In: Ronzhin, A., Berns, K., Kostyaev, A. (eds) *Agriculture Digitalization and Organic Production . Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 245. Springer, Singapore. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-981-16-3349-2_30
 17. Kumar, A., Kumari, B., Mishra, P. (2025). Strategy for Artificial Intelligence. In: Lal, P., Mishra, P. (eds) *Transforming Agriculture through Artificial Intelligence for Sustainable Food Systems*. Springer, Singapore. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-981-96-4795-8_10
 18. Limachi, B.A.C., Barra, M.A.Q., Yeresi, E.C.M., Condori, S.M., Ponce, G.R.V. (2025). Optimizing Lettuce Crop Irrigation: A Microcontroller-Based Automatic Drip System Using Soil Moisture Sensing. In: Iano, Y., et al. *Proceedings of the 10th Brazilian Technology Symposium (BTSym'24)*. BTSym 2024. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 443. Springer, Cham. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-3-031-92651-8_22
 19. Liu, X., Zhao, Z. & Rezaeipanah, A. Intelligent and automatic irrigation system based on internet of things using fuzzy control technology. *Sci Rep* 15, 14577 (2025). <https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1038/s41598-025-98137-2>
 20. Meriç, M.K. Implementation of a wireless sensor network for irrigation management in drip irrigation systems. *Sci Rep* 15, 14157 (2025). <https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1038/s41598-025-97303-w>

21. Murthy, N.S. An Automatic Irrigation Based on Control Area Network (CAN) Protocol. *Natl. Acad. Sci. Lett.* 46, 563–569 (2023). <https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/s40009-023-01235-w>
22. Pandey, D., Vidyarthi, A., Kushwah, J.S. (2023). Internet of Things-Based Smart Irrigation System for Moisture in the Soil and Weather Forecast. In: Tomar, R.S., et al. *Communication, Networks and Computing. CNC 2022. Communications in Computer and Information Science*, vol 1894. Springer, Cham. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-3-031-43145-6_9
23. Phankamolsil, Y., Rittima, A., Sawangphol, W. et al. Fuzzy rule-based control of multireservoir operation system for flood and drought mitigation in the Upper Mun River Basin. *Model. Earth Syst. Environ.* 10, 5605–5619 (2024). <https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/s40808-024-02081-5>
24. Yadav, M., Vashisht, B.B., Jalota, S.K., Kumar, A., Kumar, D. (2022). Sustainable Water Management Practices for Intensified Agriculture. In: Dubey, S.K., Jha, P.K., Gupta, P.K., Nanda, A., Gupta, V. (eds) *Soil-Water, Agriculture, and Climate Change. Water Science and Technology Library*, vol 113. Springer, Cham. https://doi-org.ecups.idm.oclc.org/10.1007/978-3-031-12059-6_8

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).