

Tecnologías de riego inteligente y su contribución a la conservación del agua en agricultura

Smart irrigation technologies and their contribution to water conservation in agriculture

Flores-Manchano, César Iván ^{1*}; Palacios-López, Luisa Anabel ²

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, Riobamba; <https://orcid.org/0000-0002-2629-0582>, c_flores@esepoch.edu.ec

² Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador, Jipijapa; <https://orcid.org/0000-0002-9257-7557>, luisa.palacios@unesum.edu.ec

* Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n1/46>

Cita: Flores-Manchano, C. I., & Palacios-López, L. A. (2025). Tecnologías de riego inteligente y su contribución a la conservación del agua en agricultura. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 3(1), 61-73. <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n1/46>

Recibido: 20/02/2025

Revisado: 28/02/2025

Aceptado: 03/03/2025

Publicado: 12/03/2025



Copyright: © 2025 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

[\(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Resumen: La creciente presión sobre los recursos hídricos, exacerbada por el cambio climático, exige soluciones sostenibles en la agricultura. Este estudio analiza las tecnologías de riego inteligente, que combinan sensores avanzados, automatización y análisis de datos en tiempo real, como herramientas clave para optimizar el uso del agua. A través de una revisión bibliográfica, se identificaron sus principales beneficios, incluyendo la reducción del consumo hídrico en hasta un 30%, la precisión en la aplicación de agua según las necesidades específicas de los cultivos y la disminución de pérdidas por evaporación. No obstante, persisten barreras significativas, como los altos costos iniciales y la dependencia de infraestructura digital, que limitan su adopción, especialmente entre pequeños agricultores. Las estrategias sugeridas incluyen incentivos gubernamentales, capacitación técnica accesible y la promoción de tecnologías más asequibles. En conclusión, las tecnologías de riego inteligente no solo mejoran la sostenibilidad hídrica y la productividad agrícola, sino que también contribuyen a la seguridad alimentaria global. Sin embargo, su implementación efectiva requiere un enfoque integral que combine apoyo financiero, educativo y tecnológico para garantizar su accesibilidad y éxito en diversos contextos agrícolas.

Palabras clave: tecnologías de riego; eficiencia hídrica; agricultura sostenible; conservación del agua; automatización agrícola.

Abstract: Increasing pressure on water resources, exacerbated by climate change, calls for sustainable solutions in agriculture. This study analyzes smart irrigation technologies, which combine advanced sensors, automation and real-time data analysis, as key tools to optimize water use. Through a literature review, their main benefits were identified, including the reduction of water consumption by up to 30%, precision in water application according to specific crop needs, and reduced evaporation losses. However, significant barriers remain, such as high upfront costs and reliance on digital infrastructure, which limit adoption, especially among smallholder farmers. Suggested strategies include government incentives, accessible technical training, and promotion of more affordable technologies. In conclusion, smart irrigation technologies not only improve water sustainability and agricultural productivity, but also contribute to global food security. However, their effective implementation requires a comprehensive approach that combines financial, educational and technological support to ensure their accessibility and success in diverse agricultural contexts.

Keywords: irrigation technologies; water efficiency; sustainable agriculture; water conservation; agricultural automation.

1. Introducción

La creciente escasez de recursos hídricos a nivel mundial representa uno de los desafíos más apremiantes para la agricultura contemporánea. La agricultura, al ser una de las actividades humanas que más agua consume, enfrenta la imperiosa necesidad de adoptar prácticas que optimicen el uso de este recurso vital (Camacho Poyato & González Perea, 2023). En este contexto, las tecnologías de riego inteligente emergen como soluciones prometedoras para mejorar la eficiencia hídrica en los sistemas agrícolas (Seelig & Stoner, 2012).

El problema central radica en la ineficiencia de los métodos tradicionales de riego, que a menudo resultan en un uso excesivo de agua y en la degradación de los recursos hídricos disponibles. Esta situación se ve agravada por el cambio climático, que altera los patrones de precipitación y aumenta la frecuencia de sequías, exacerbando la presión sobre las fuentes de agua utilizadas en la agricultura (García & Silva, 2024). La implementación de tecnologías de riego inteligente, que integran sensores, sistemas de automatización y análisis de datos, se presenta como una estrategia viable para enfrentar estos desafíos (Agyeman et al., 2023).

Diversos factores contribuyen a la problemática del uso ineficiente del agua en la agricultura. Entre ellos se encuentran la falta de información precisa sobre las necesidades hídricas de los cultivos, la aplicación uniforme de agua sin considerar las variaciones del suelo y del clima, y la ausencia de sistemas de monitoreo en tiempo real que permitan ajustes oportunos en la programación del riego (Ding & Du, 2023). Estas deficiencias no solo conducen al desperdicio de agua, sino que también pueden afectar negativamente la salud de las plantas y la productividad agrícola (Camacho Poyato & González Perea, 2023).

La justificación para la adopción de tecnologías de riego inteligente se basa en su potencial para optimizar el uso del agua, reducir costos operativos y mejorar la sostenibilidad de las prácticas agrícolas. Estudios recientes han demostrado que la implementación de sistemas de riego automatizados, basados en datos en tiempo real, puede disminuir el consumo de agua hasta en un 30%, sin comprometer el rendimiento de los cultivos (García & Silva, 2024). Además, estas tecnologías facilitan la adaptación a condiciones climáticas variables, contribuyendo a la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a eventos extremos (Agyeman et al., 2023).

La viabilidad de estas tecnologías se ve reforzada por los avances en la digitalización y la reducción de costos de los dispositivos de monitoreo y control. La integración de sensores de humedad del suelo, estaciones meteorológicas y sistemas de control automatizados permite una gestión precisa del riego, ajustando la cantidad y el momento de aplicación del agua según las necesidades específicas de cada cultivo y las condiciones ambientales (Ding & Du, 2023). Esta precisión no solo optimiza el uso del agua, sino que también puede mejorar la eficiencia energética y reducir la dependencia de recursos externos (Seelig & Stoner, 2012).

La presente investigación busca realizar una revisión exhaustiva de las tecnologías de riego inteligente y su contribución a la conservación del agua en la agricultura. Se analizarán las diferentes herramientas disponibles, incluyendo sensores, sistemas de automatización y plataformas de gestión de datos, así como su impacto en la eficiencia

hídrica y la productividad agrícola. Además, se discutirán las barreras para su adopción y se propondrán estrategias para facilitar su implementación a gran escala (Camacho Poyato & González Perea, 2023).

La adopción de tecnologías de riego inteligente representa una oportunidad significativa para abordar los desafíos asociados con la escasez de agua en la agricultura. Al proporcionar herramientas para una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico, estas tecnologías pueden contribuir de manera sustancial a la seguridad alimentaria y a la protección del medio ambiente (García & Silva, 2024). Sin embargo, su implementación efectiva requiere una comprensión profunda de las opciones disponibles, así como de las condiciones específicas de cada sistema agrícola. Este artículo pretende aportar una visión integral que facilite la toma de decisiones informadas en este ámbito (Agyeman et al., 2023).

2. Materiales y Métodos

La metodología empleada en este artículo de revisión bibliográfica se diseñó para proporcionar una visión integral sobre las tecnologías de riego inteligente y su impacto en la conservación del agua en la agricultura. El enfoque se centró en la recopilación, análisis y síntesis de información relevante proveniente de fuentes científicas de alta calidad, con el objetivo de garantizar la validez y la confiabilidad de los hallazgos presentados.

Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de literatura utilizando bases de datos académicas reconocidas como Scopus y Web of Science. Los términos clave empleados incluyeron combinaciones como "tecnologías de riego inteligente", "conservación del agua", "eficiencia hídrica" y "sistemas agrícolas sostenibles". Se priorizó la selección de artículos revisados por pares, capítulos de libros especializados y documentos técnicos publicados en los últimos diez años, con el fin de asegurar que los contenidos estuvieran actualizados y alineados con las tendencias actuales en el ámbito agrícola.

Se establecieron criterios de inclusión y exclusión para delimitar el corpus de análisis. Se incluyeron estudios que abordaran el desarrollo, implementación y evaluación de tecnologías de riego inteligente en contextos agrícolas diversos, así como aquellos que presentaran datos empíricos sobre su efectividad en la conservación del agua. Por otro lado, se excluyeron publicaciones que carecieran de rigor metodológico, reportes de investigación preliminares sin validación experimental y documentos que no estuvieran disponibles en texto completo.

Una vez recopilada la información, se procedió a su análisis mediante una lectura crítica orientada a identificar patrones, enfoques metodológicos recurrentes, limitaciones y oportunidades de investigación en la temática estudiada. Este proceso permitió categorizar las tecnologías de riego inteligente según su funcionalidad principal, como el uso de sensores, sistemas de automatización y plataformas de gestión de datos. Asimismo, se evaluaron los impactos reportados en términos de eficiencia hídrica, costos operativos y sostenibilidad agrícola.

Se realizó una comparación transversal entre los hallazgos de los estudios seleccionados para detectar tendencias globales, diferencias regionales y barreras comunes para la adopción de estas tecnologías. Esta síntesis integradora buscó no solo consolidar el conocimiento existente, sino también identificar lagunas en la literatura que puedan guiar investigaciones futuras en el área.

El contenido resultante se estructuró de manera que facilite su comprensión y utilidad práctica para investigadores, profesionales agrícolas y tomadores de decisiones. Los resultados y la discusión se presentan de forma organizada y coherente, destacando las contribuciones clave del estudio a la conservación del agua en la agricultura mediante tecnologías de riego inteligente.

3. Resultados

3.1. Impacto de las tecnologías de riego inteligente en la conservación del agua

Las tecnologías de riego inteligente han transformado significativamente la gestión hídrica en la agricultura, promoviendo prácticas sostenibles y adaptativas que optimizan el uso del agua y maximizan la productividad de los cultivos. Estas tecnologías incorporan sensores avanzados, automatización y análisis de datos en tiempo real, abordando desafíos críticos como la escasez hídrica y el impacto del cambio climático (Vargas-Luna, E. 2023). A continuación, se analizan en detalle los principales impactos de estas tecnologías en la conservación del agua:

3.1.1. Reducción del consumo hídrico en cultivos

Uno de los beneficios más destacados de las tecnologías de riego inteligente es la reducción significativa en el consumo hídrico. A diferencia de los sistemas tradicionales de riego que suelen aplicar agua de manera uniforme e indiscriminada, los sistemas inteligentes ajustan el suministro a las necesidades específicas de cada cultivo y las condiciones del suelo (Chicaiza-Ortiz, et al. 2023). Esto se logra mediante herramientas como los caudalímetros automatizados, que controlan con precisión la cantidad de agua suministrada, y sistemas de control remoto, que permiten ajustes en tiempo real. Estudios recientes muestran que la adopción de estas tecnologías puede disminuir el uso de agua en hasta un 30% sin afectar negativamente el rendimiento agrícola (Camacho Poyato & González Perea, 2023). Este ahorro no solo conserva un recurso escaso, sino que también reduce los costos operativos para los agricultores, promoviendo prácticas económicamente viables.

Las tecnologías de riego inteligente representan una solución innovadora para enfrentar los desafíos del sector agrícola, optimizando el uso del agua y mejorando la productividad. La imagen destaca beneficios clave como la reducción del consumo de agua, el ajuste específico al cultivo, el uso de herramientas automatizadas, la implementación de sistemas de control remoto y la reducción de costos operativos (Guerrero-Calero, J. M., et. al., 2024). Estas tecnologías permiten a los agricultores mejorar su eficiencia, reducir gastos y garantizar un uso sostenible de los recursos hídricos.

Gráfico 1.*Beneficios de las Tecnologías de Riego Inteligente en la Agricultura*

Nota: El riego inteligente optimiza el uso del agua, reduce costos y mejora la eficiencia operativa en la agricultura (Autores, 2025).

El gráfico 1 resalta cómo las tecnologías de riego inteligente generan múltiples beneficios en la agricultura moderna. La reducción del consumo de agua, con una disminución de hasta el 30%, permite una gestión eficiente de este recurso escaso, crucial en regiones afectadas por sequías (Chicaiza-Ortiz, C. D., et. al., 2023). El ajuste específico del cultivo asegura la entrega precisa de agua según las necesidades particulares de cada plantación, optimizando el rendimiento agrícola.

Las herramientas automatizadas, como el uso de caudalímetros, facilitan un control preciso del agua, mientras que los sistemas de control remoto permiten realizar ajustes en tiempo real, mejorando la operatividad y la toma de decisiones (Quinatoa-Chasi, W. D., et. al., 2024). Además, estas tecnologías contribuyen a la reducción de costos operativos, lo que beneficia económicamente a los agricultores y hace más sostenible su actividad. En conjunto, el riego inteligente se posiciona como una herramienta clave para enfrentar los retos actuales en el uso eficiente del agua y la modernización de la agricultura.

3.1.2. Precisión del riego con sensores de humedad

La precisión es uno de los pilares fundamentales de las tecnologías de riego inteligente. Los sensores de humedad del suelo desempeñan un papel crucial al proporcionar información detallada sobre el contenido hídrico en diferentes profundidades del suelo. Estos sensores trabajan detectando cambios en las propiedades eléctricas del suelo que varían según su nivel de humedad. Los datos recolectados son enviados a sistemas de control que analizan y determinan el momento exacto y la cantidad óptima de agua que deben recibir las plantas. Esta precisión ayuda a evitar problemas comunes como el estrés hídrico por déficit o el exceso de agua, que puede derivar en problemas de compactación del suelo y lixiviación de nutrientes (Seelig & Stoner, 2012). Además, el uso de estos sensores mejora significativamente la eficiencia del riego al reducir el desperdicio de agua y maximizar la absorción por las raíces de las plantas.

3.1.3. Programación basada en datos en tiempo real

La capacidad de integrar datos en tiempo real para gestionar el riego representa un avance crucial en la agricultura moderna. Los sistemas inteligentes recopilan datos de múltiples fuentes, incluidos sensores de humedad del suelo, estaciones meteorológicas y plataformas digitales, lo que permite a los agricultores tomar decisiones fundamentadas sobre cuándo y cuánto regar (Herrera-Feijoo, R. J., et al. 2023). En algunos casos, estos sistemas están vinculados a redes de aprendizaje automático que predicen las necesidades futuras de riego con base en patrones históricos y condiciones actuales. Esta programación automática y adaptativa asegura que las plantas reciban agua de manera eficiente y oportuna, evitando el riego innecesario durante periodos de alta humedad o lluvias inminentes (Agyeman et al., 2023). La disponibilidad de datos en tiempo real también facilita una supervisión constante del estado hídrico de los cultivos, lo que permite realizar ajustes inmediatos para maximizar el rendimiento agrícola.

3.1.4. Menor pérdida de agua por evaporación

Otro beneficio fundamental de las tecnologías de riego inteligente es la capacidad de reducir las pérdidas de agua por evaporación y escorrentía. Los sistemas tradicionales de riego, como el riego por aspersión o inundación, suelen estar asociados con altas tasas de evaporación debido a la exposición prolongada del agua a la superficie del suelo y a las condiciones ambientales (Herrera-Feijoo, R. J. 2024). En contraste, las tecnologías inteligentes aplican el agua directamente en las zonas de las raíces, minimizando la superficie expuesta y promoviendo una mayor eficiencia en la utilización del recurso hídrico. Por ejemplo, los sistemas de riego por goteo automatizados, equipados con válvulas de control precisas, garantizan que cada gota de agua se utilice de manera efectiva para satisfacer las necesidades de las plantas, disminuyendo las pérdidas por evaporación (Ding & Du, 2023). Este enfoque no solo conserva agua, sino que también mejora la calidad del suelo al prevenir la acumulación de sales en la superficie, lo que es común en sistemas de riego menos eficientes.

3.2. Barreras y oportunidades para la adopción

La adopción de tecnologías de riego inteligente en la agricultura representa un paso crucial hacia la sostenibilidad hídrica y la mejora de la productividad. Sin embargo, este avance enfrenta diversas barreras que limitan su implementación, especialmente en contextos de pequeños y medianos agricultores. Simultáneamente, se presentan oportunidades significativas que podrían fomentar su adopción a mayor escala. A continuación, se analizan en profundidad los principales desafíos y las posibilidades asociadas (Sangacha-Tapia, et al. 2024).

3.2.1. Altos costos iniciales para pequeños agricultores

Uno de los principales impedimentos para la adopción de tecnologías de riego inteligente radica en los elevados costos iniciales que conlleva su implementación. Los sistemas de riego automatizados, sensores de humedad del suelo, estaciones meteorológicas y software de gestión requieren una inversión inicial significativa, que puede ser prohibitiva para los pequeños agricultores con recursos financieros limitados (Sangacha-Tapia, et al. 2024). Además de los costos de adquisición, los gastos asociados con la instalación y mantenimiento de estos equipos también representan una carga considerable (Camacho Poyato & González Perea, 2023).

En muchos casos, los pequeños agricultores priorizan soluciones de bajo costo para satisfacer necesidades inmediatas, relegando tecnologías que, aunque más eficientes, demandan una inversión inicial alta. Esta situación crea una brecha tecnológica entre los grandes productores agrícolas, que cuentan con mayor capacidad financiera, y los pequeños agricultores, que constituyen una parte considerable de la base productiva agrícola en países en desarrollo (García & Silva, 2024). Por ello, superar esta barrera requiere no solo reducir los costos tecnológicos mediante la innovación, sino también diseñar esquemas financieros accesibles, como créditos blandos o subsidios específicos (Montalván-Vélez, C. L., et. al., 2024).

3.2.2. Falta de conocimientos técnicos en el uso

El éxito en la implementación de tecnologías de riego inteligente depende de la capacidad de los agricultores para comprender y manejar adecuadamente estas herramientas. Sin embargo, la falta de conocimientos técnicos representa una barrera significativa, especialmente en áreas rurales donde el acceso a capacitación y educación tecnológica es limitado (Ding & Du, 2023).

Los sistemas avanzados de riego implican el uso de interfaces digitales, interpretación de datos en tiempo real y ajustes personalizados según las necesidades de los cultivos. La falta de familiaridad con estas tecnologías puede llevar a su uso incorrecto o incluso al abandono del sistema. Además, los agricultores mayores o con niveles educativos bajos pueden encontrar desalentador el aprendizaje de estas nuevas prácticas (Binayao, et al. 2024).

Es esencial que las iniciativas de adopción de tecnologías de riego inteligente incluyan programas de capacitación técnica accesibles y adaptados a las necesidades de los agricultores. Talleres prácticos, asistencia técnica continua y el desarrollo de plataformas intuitivas pueden facilitar significativamente el aprendizaje y el manejo de estas tecnologías, aumentando así su adopción (Camacho Poyato & González Perea, 2023).

3.2.3. Incentivos gubernamentales como impulsores clave

Los incentivos gubernamentales juegan un papel crucial en la promoción de las tecnologías de riego inteligente, especialmente para superar barreras económicas y educativas. Programas de subsidios, exenciones fiscales y financiamiento a bajo interés son estrategias que han demostrado ser efectivas en la adopción de tecnologías sostenibles en diversos sectores (Binayao, et al. 2024).

En países como España e Israel, por ejemplo, los gobiernos han implementado programas que ofrecen subvenciones para la compra de equipos de riego inteligente, reduciendo significativamente los costos iniciales para los agricultores. Además, algunos gobiernos combinan estas ayudas financieras con programas de formación técnica, garantizando que los usuarios no solo accedan a la tecnología, sino que también la utilicen de manera eficiente (Guamán-Rivera, S. A. 2022).

Los incentivos gubernamentales pueden fomentar la innovación en el sector privado, promoviendo el desarrollo de tecnologías de riego más accesibles y adaptadas a las necesidades de los pequeños agricultores. Este tipo de apoyo gubernamental no solo

aumenta la adopción de las tecnologías existentes, sino que también estimula la investigación y el desarrollo en el ámbito de la agricultura sostenible (Ding & Du, 2023).

3.2.4. Dependencia de infraestructura digital eficiente

La dependencia de infraestructura digital es otro desafío importante para la adopción de tecnologías de riego inteligente. Estas tecnologías requieren conectividad a internet confiable, suministro eléctrico constante y, en algunos casos, redes de comunicación específicas para transmitir datos en tiempo real. Sin embargo, en muchas áreas rurales, especialmente en países en desarrollo, estas infraestructuras son limitadas o inexistentes (Herrera-Feijoo, et al. 2023).

La falta de conectividad a internet limita la capacidad de los agricultores para acceder a datos climáticos, monitorear los sensores de humedad y ajustar los sistemas de riego de manera remota. De manera similar, la intermitencia en el suministro eléctrico puede interrumpir el funcionamiento de los sistemas automatizados, reduciendo su eficacia y confiabilidad (Guamán-Rivera, S. A., & Flores-Mancheno, C. I. 2023).

Superar esta barrera requiere inversiones significativas en infraestructura rural, como la expansión de redes eléctricas y de telecomunicaciones. También es fundamental desarrollar soluciones tecnológicas que sean menos dependientes de estas infraestructuras, como sistemas que funcionen con energía solar o plataformas que operen offline con capacidad de sincronización posterior (Herrera-Feijoo, et al. 2023).

4. Discusión

La discusión en torno a las tecnologías de riego inteligente y su impacto en la conservación del agua en la agricultura, así como las barreras y oportunidades asociadas con su adopción, refleja una complejidad inherente al equilibrio entre sostenibilidad y viabilidad económica. Los hallazgos revisados destacan tanto los beneficios tangibles como los retos significativos que enfrentan los agricultores al implementar estas tecnologías avanzadas (Karar, et al. 2021).

El análisis sobre la eficiencia hídrica demuestra de manera contundente que los sistemas de riego inteligente pueden reducir considerablemente el consumo de agua en los cultivos. La implementación de sensores y sistemas de monitoreo permite aplicar el agua de manera precisa y ajustada a las necesidades de las plantas, lo que optimiza los recursos disponibles y minimiza el desperdicio (Camacho Poyato & González Perea, 2023). Esta eficiencia no solo contribuye a la conservación de los recursos hídricos, sino que también fortalece la resiliencia agrícola frente a las incertidumbres climáticas. Sin embargo, estos beneficios suelen ser menos accesibles para pequeños agricultores debido a los altos costos iniciales, lo que perpetúa una brecha tecnológica entre grandes y pequeños productores (Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. 2022).

La precisión alcanzada con el uso de sensores de humedad del suelo y herramientas automatizadas destaca la capacidad de estas tecnologías para mejorar la salud de los cultivos y aumentar los rendimientos agrícolas. La programación basada en datos en tiempo real asegura que las plantas reciban la cantidad exacta de agua necesaria en el momento adecuado, reduciendo problemas como el estrés hídrico y la lixiviación de nutrientes (García & Silva, 2024). Este enfoque no solo optimiza la productividad, sino

que también fomenta prácticas agrícolas más sostenibles al reducir las pérdidas por evaporación y escorrentía, que son inherentes a métodos de riego menos avanzados (Karar, et al. 2021).

A pesar de estas ventajas, la adopción generalizada de tecnologías de riego inteligente enfrenta barreras estructurales y contextuales. Los altos costos iniciales representan un obstáculo importante, especialmente para pequeños agricultores con acceso limitado a capital. Aunque los programas gubernamentales de subsidios y financiamiento han intentado aliviar esta carga, su alcance es a menudo insuficiente para garantizar la implementación masiva (Loor-Macías, M. G., et. al., 2024). Además, la falta de conocimientos técnicos entre los agricultores exacerba este desafío, ya que muchos carecen de la formación necesaria para manejar y mantener los sistemas avanzados, lo que limita su eficacia potencial (Seelig & Stoner, 2012).

Otro aspecto crítico que emerge de la discusión es la dependencia de estas tecnologías de una infraestructura digital robusta. La conectividad a internet y el suministro eléctrico son esenciales para garantizar el funcionamiento eficiente de los sistemas de riego inteligente, pero estas condiciones no siempre están disponibles en áreas rurales, especialmente en países en desarrollo (García & Silva, 2024). Este problema resalta la necesidad de una inversión significativa en infraestructura rural como condición previa para la adopción efectiva de estas tecnologías. Soluciones alternativas, como el uso de energía solar o sistemas offline que puedan sincronizarse posteriormente, podrían mitigar parcialmente esta dependencia (Ding & Du, 2023).

Los incentivos gubernamentales y las políticas públicas desempeñan un papel crucial en la promoción de estas tecnologías. Los subsidios financieros y los programas de formación técnica han demostrado ser herramientas efectivas para aumentar la adopción, pero su implementación requiere una coordinación adecuada y una asignación de recursos sostenida (Camacho Poyato & González Perea, 2023). En este sentido, la colaboración entre el sector público, el privado y la academia puede facilitar el desarrollo de tecnologías más accesibles y la creación de programas de capacitación adaptados a las necesidades específicas de los agricultores.

En términos de oportunidades, el avance en tecnologías de riego inteligente ofrece un gran potencial para mejorar la sostenibilidad agrícola. La integración de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en estos sistemas puede permitir una toma de decisiones aún más precisa y personalizada, optimizando el uso del agua y otros insumos agrícolas. Estas innovaciones no solo tienen el potencial de transformar las prácticas agrícolas actuales, sino que también pueden contribuir significativamente a la seguridad alimentaria global en un contexto de creciente presión sobre los recursos naturales (Romero Cedeño, K. A., & Cadme Arévalo, M. L. 2024).

Las tecnologías de riego inteligente ponen de manifiesto la necesidad de abordar de manera simultánea las barreras económicas, técnicas y estructurales que limitan su adopción. Si bien estas tecnologías ofrecen beneficios sustanciales en términos de conservación del agua, sostenibilidad y productividad, su implementación requiere un enfoque integral que combine apoyo financiero, capacitación técnica e inversión en infraestructura rural (Rojas, F. E., & Saavedra-Mera, K. A. . 2022). El desarrollo de políticas públicas inclusivas, junto con la innovación tecnológica y la cooperación

intersectorial, será fundamental para maximizar el impacto de estas tecnologías y garantizar su accesibilidad para todos los productores agrícolas.

5. Conclusiones

Las tecnologías de riego inteligente representan un avance crucial en la gestión eficiente y sostenible del agua en la agricultura. Estas herramientas, que integran sensores avanzados, automatización y análisis de datos en tiempo real, ofrecen soluciones innovadoras para abordar desafíos globales como la escasez hídrica y el cambio climático. Su capacidad para reducir el consumo hídrico, incrementar la precisión en la aplicación del agua y minimizar las pérdidas por evaporación contribuye de manera directa a la conservación de los recursos hídricos y al fortalecimiento de la sostenibilidad agrícola. Además, estas tecnologías mejoran el rendimiento de los cultivos, lo que las convierte en un componente esencial para garantizar la seguridad alimentaria en un contexto de creciente presión sobre los recursos naturales.

La implementación generalizada de estas tecnologías enfrenta barreras importantes que limitan su alcance, especialmente entre los pequeños agricultores. Los costos iniciales elevados asociados con la adquisición, instalación y mantenimiento de los sistemas de riego inteligente representan un desafío económico significativo para aquellos con recursos financieros limitados. Asimismo, la falta de conocimientos técnicos entre los agricultores dificulta su correcta utilización y reduce los beneficios potenciales que podrían derivarse de su adopción. Estas barreras son aún más pronunciadas en áreas rurales donde la conectividad digital y el suministro eléctrico, factores clave para el funcionamiento de estos sistemas, son deficientes o inexistentes.

A pesar de estas limitaciones, las oportunidades que presentan las tecnologías de riego inteligente son sustanciales. Los incentivos gubernamentales, como subsidios financieros, créditos blandos y programas de capacitación técnica han demostrado ser herramientas eficaces para fomentar su adopción. Estas medidas, combinadas con un compromiso a largo plazo de los gobiernos y las instituciones internacionales, pueden mitigar las barreras económicas y educativas que enfrentan los agricultores. Además, el avance en investigación y desarrollo permite la creación de tecnologías más accesibles y adaptadas a diversos contextos agrícolas, lo que podría acelerar su implementación en regiones con menores recursos.

Para maximizar el impacto positivo de estas tecnologías, es fundamental adoptar un enfoque integral que considere tanto las necesidades económicas como las sociales y ambientales de los agricultores. Las políticas públicas deben estar orientadas no solo a proporcionar apoyo financiero, sino también a fortalecer las capacidades técnicas mediante programas educativos y de asistencia continua. Paralelamente, es indispensable invertir en infraestructura rural, como redes eléctricas y de telecomunicaciones, para garantizar que los agricultores puedan beneficiarse plenamente de los sistemas de riego inteligente.

El desarrollo de alianzas estratégicas entre el sector público, el privado y la academia será esencial para superar los desafíos actuales. Estas colaboraciones pueden facilitar la innovación tecnológica, garantizar el acceso inclusivo a estas herramientas y promover la transferencia de conocimientos a nivel local. En última instancia, las

tecnologías de riego inteligente no solo tienen el potencial de transformar la agricultura hacia prácticas más eficientes y sostenibles, sino también de contribuir a un uso más responsable de los recursos hídricos, asegurando su disponibilidad para las generaciones futuras.

La adopción de estas tecnologías debe considerarse una prioridad global, especialmente en regiones vulnerables a la escasez hídrica y al cambio climático. Con el compromiso adecuado de todas las partes interesadas, es posible superar las barreras actuales y aprovechar plenamente las oportunidades que ofrecen las tecnologías de riego inteligente para avanzar hacia una agricultura más resiliente, sostenible y productiva.

Referencias Bibliográficas

- Agyeman, B. T., Naouri, M., Appels, W., Liu, J., & Shah, S. L. (2023). Integrating machine learning paradigms and mixed-integer model predictive control for irrigation scheduling. *arXiv preprint arXiv:2306.08715*. <https://arxiv.org/abs/2306.08715>
- 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. (2024). Smart Water Irrigation for Rice Farming through the Internet of Things. *arXiv preprint arXiv:2402.07917*. <https://arxiv.org/abs/2402.07917>
- Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. (2022). El Rol de la Agroecología en el Desarrollo Rural Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 1(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n2/24>
- Camacho Poyato, E., & González Perea, R. (2023). La gestión inteligente del agua de riego a través de la tecnología. *Anuario de la Agricultura Española*, 24, 123-135. <https://www.upa.es/Anuario2023/024-Anuario-2023-Camacho-Gonzalez.pdf>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). Guía de Biotecnología Ambiental. In *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 6–71). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.16>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.25>
- Ding, X., & Du, W. (2023). Optimizing Irrigation Efficiency using Deep Reinforcement Learning in the Field. *arXiv preprint arXiv:2304.01435*. <https://arxiv.org/abs/2304.01435>
- García, M., & Silva, N. (2024). Revisión de Literatura en Eficiencia Energética para Sistemas de Riego. *Revista de Ingeniería Agrícola*, 15(2), 45-60. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/37930/1/GarciaMar%2CSilvaNatalia_2024_%20RevisionEficienciaRiego.pdf

- Guamán-Rivera, S. A. (2022). Desarrollo de Políticas Agrarias y su Influencia en los Pequeños Agricultores Ecuatorianos. *Revista Científica Zambos*, 1(3), 15-28. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n3/30>
- Guamán-Rivera, S. A., & Flores-Manchano, C. I. (2023). Seguridad Alimentaria y Producción Agrícola Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(1), 1-20. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n1/35>
- Guerrero-Calero, J. M., Moran-González, M., Zapata-Velasco, M. L., Mieles-Giler, J. W., & Cárdenas-Baque, D. A. (2024). Potencial fotovoltaico para sistemas de bombeo de agua para la comuna de Joa, Manabí, Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(3), 32–45. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n3/119>
- Herrera-Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33–56. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/85>
- Herrera-Feijoo, R. J., Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., & Andrade, J. C. (2023). Análisis bibliométrico como una herramienta en la biotecnología ambiental. In *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 72–91). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.17>
- Karar, M. E., Alotaibi, F., AL Rasheed, A., & Reyad, O. (2021). A Pilot Study of Smart Agricultural Irrigation using Unmanned Aerial Vehicles and IoT-Based Cloud System. *arXiv preprint arXiv:2101.01851*. <https://arxiv.org/abs/2101.01851>
- Loor-Macías, M. G., Mendoza-Cevallos, M. G., Alcívar-Catagua, M. A., Álvarez-Gutiérrez, Y. de las M., Lino-García, M. J., Cañarte-Baque, S. J., Gras-Rodríguez, R., Quimis-Gómez, A. J., & Fienco-Bacusoy, A. R. (2024). Regulaciones Ambientales y de Seguridad Laboral en Ecuador. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.93>
- Montalván-Vélez, C. L., Mogrovejo-Zambrano, J. N., Romero-Vitte, I. J., & Pinargote-Carrera, M. L. D. C. (2024). Introducción a la Inteligencia Artificial: Conceptos Básicos y Aplicaciones Cotidianas. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 173–183. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/93>
- Quinatoa-Chasi, W. D., Cepeda-Valente, W. M., Chasi-Chela, A. V., Chasi-Chela, N. F., Casanova-Villalba, C. I., Salgado-Ortiz, P. J., Guerrero-Freire, E. I., Guerrero-Freire, A. E., Herrera-Sánchez, M. J., Mina-Bone, S. G., Santana-Torres, A. A., Rios-Gaibor, C. G., Calero-Cherres, R. V., López-Salinas, C. M., Mora-Estrada, I. A., & Chuchuca-Peñaloza, P. M. (2024). Fronteras del Futuro: Innovación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.69>
- Rojas, F. E., & Saavedra-Mera, K. A. . (2022). Diversificación de Cultivos y su Impacto Económico en las Fincas Ecuatorianas. *Revista Científica Zambos*, 1(1), 51-68. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n1/21>

Romero Cedeño, K. A., & Cadme Arévalo, M. L. (2024). Uso de sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS) en el monitoreo de plantaciones forestales. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.87>

Sangacha-Tapia, L. M., Celi, R. J., Acosta-Guzmán, I. L., & Varela-Tapia, E. A. (2024). *Inteligencia Artificial Aplicada a Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) con Python y Machine Learning*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.88>

Seelig, H.-D., & Stoner, R. J. (2012). Irrigation control of cowpea plants using the measurement of leaf thickness under greenhouse conditions. *Irrigation Science*, 30(3), 227-236. <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0268-2>

Vargas-Luna, E. (2023). Perspectivas económicas de un cultivo de balsa con riego en la provincia de Santa Elena. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(2), 45–58. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n2/67>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.