



# Estrategias para el uso sostenible del agua en la agricultura

## *Strategies for the sustainable use of water in agriculture*

Torres-Cobo, Leyner Eduardo <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Estatal de Milagro, Ecuador, Milagro; <https://orcid.org/0009-0008-9131-9442>, [ltorresc2@unemi.edu.ec](mailto:ltorresc2@unemi.edu.ec)

\* Autor Correspondencia



<https://doi.org/10.70881/hnj/v2/n4/40>

**Cita:** Torres-Cobo, L. E. (2024). Estrategias para el uso sostenible del agua en la agricultura. *Horizon Nexus Journal*, 2(4), 1-14. <https://doi.org/10.70881/hnj/v2/n4/40>

**Recibido:** 06/08/2024  
**Revisado:** 20/08/2024  
**Aceptado:** 28/08/2024  
**Publicado:** 31/10/2024



**Copyright:** © 2024 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/>)

**Resumen:** El artículo aborda las estrategias de manejo sostenible del agua en la agricultura, un tema crucial dada la creciente demanda de alimentos y los limitados recursos hídricos. Se revisan las tecnologías de riego avanzado y las prácticas sostenibles, enfocándose en los sistemas de riego de precisión y la gestión integrada de recursos. La metodología se basó en una revisión bibliográfica exhaustiva sobre tecnologías de riego como el riego por goteo, con especial atención a la escasez de agua agravada por el cambio climático. Los resultados destacan la eficacia de estas tecnologías para reducir el consumo de agua hasta en un 95 %, mejorando al mismo tiempo la productividad agrícola. Sin embargo, se identifican barreras significativas, como los costos iniciales elevados y la falta de adopción generalizada en zonas rurales. La discusión sugiere que la implementación exitosa de estas estrategias depende de un enfoque integral que combine el uso de tecnologías modernas, políticas públicas eficaces y participación activa de los agricultores. Se concluye que, aunque existen desafíos, las oportunidades para mejorar la eficiencia hídrica en la agricultura son significativas, especialmente a través de la cooperación internacional y la implementación de soluciones basadas en la naturaleza.

**Palabras clave:** riego sostenible, uso del agua, gestión hídrica, cambio climático, tecnologías agrícolas.

**Abstract:** The article addresses sustainable water management strategies in agriculture, a crucial issue given the growing demand for food and limited water resources. Advanced irrigation technologies and sustainable practices are reviewed, focusing on precision irrigation systems and integrated resource management. The methodology was based on a comprehensive literature review of irrigation technologies such as drip irrigation, with a focus on water scarcity aggravated by climate change. The results highlight the effectiveness of these technologies in reducing water consumption by up to 95%, while improving agricultural productivity. However, significant barriers are identified, such as high initial costs and lack of widespread adoption in rural areas. The discussion suggests that successful implementation of these strategies depends on a comprehensive approach that combines the use of modern technologies, effective public policies, and active farmer participation. It is concluded that, although challenges exist, the opportunities for improving water efficiency in agriculture are significant, especially through international cooperation and the implementation of nature-based solutions.

**Keywords:** sustainable irrigation, water use, water management, climate change, agricultural technologies.

## 1. Introducción

El uso del agua en la agricultura es un tema de creciente importancia debido a la creciente demanda de alimentos y la limitada disponibilidad de recursos hídricos. La agricultura es responsable de aproximadamente el 70 % del consumo global de agua dulce, y se estima que esta demanda aumentará en un 50 % para el 2050 debido al incremento poblacional y a la intensificación agrícola (Velasco-Muñoz et al., 2018). Esta situación plantea la necesidad urgente de implementar estrategias más eficientes para el manejo sostenible del agua en la agricultura.

Un desafío clave es la falta de adopción generalizada de tecnologías avanzadas de riego, como los sistemas de riego por goteo o la irrigación de precisión, que han demostrado ser capaces de reducir significativamente el consumo de agua. El riego por goteo, por ejemplo, puede ahorrar hasta un 95 % de agua en comparación con los sistemas tradicionales de riego por gravedad, mientras que los sistemas de irrigación variable permiten ajustar el suministro de agua a las necesidades específicas de cada parcela, optimizando el uso del recurso y mejorando la eficiencia en el riego (Agronomy, 2019).

El cambio climático también está exacerbando la escasez de agua, afectando la disponibilidad de este recurso y complicando la planificación agrícola. Las prácticas agrícolas tradicionales, que dependen de patrones de lluvia predecibles, están siendo cada vez más ineficaces. Para enfrentar estos retos, los agricultores deben adoptar enfoques más sostenibles, como el uso de herramientas basadas en el monitoreo climático y de suelos en tiempo real, lo que permite ajustar el riego de acuerdo con las condiciones actuales, reduciendo el desperdicio de agua y mejorando la resiliencia de los cultivos frente a las variaciones climáticas (Velasco-Muñoz et al., 2018; Frimpong et al., 2023).

El objetivo de este artículo es analizar las estrategias más efectivas para el uso sostenible del agua en la agricultura, con un enfoque en la tecnología de irrigación de precisión y la gestión integrada de los recursos hídricos. Se revisarán las principales tecnologías y prácticas disponibles, así como los desafíos asociados con su implementación en diferentes contextos geográficos y climáticos.

## 2. Materiales y Métodos

Para desarrollar la metodología del estudio, se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de artículos en la base de datos Scopus, empleando las palabras clave "*Sustainable Use*" y "*Strategies*". Esta búsqueda se limitó al año 2024, con el fin de obtener investigaciones actualizadas en el campo del uso sostenible y estrategias relacionadas. Como resultado, se encontraron un total de 787 documentos relevantes, los cuales fueron sometidos a un análisis riguroso.

La selección de estos artículos se realizó utilizando las herramientas analíticas que proporciona Scopus, incluyendo el análisis de la distribución de los documentos por tipo, que se muestra en la imagen adjunta. Esta visualización permitió categorizar los documentos en diversas tipologías, destacando los artículos científicos como la mayoría, representando un 53.7 % del total, seguido por los *Conference Papers* con un

17.3 %, y las revisiones con un 12.7 %. Esta clasificación fue esencial para determinar el enfoque y la profundidad de los estudios seleccionados.

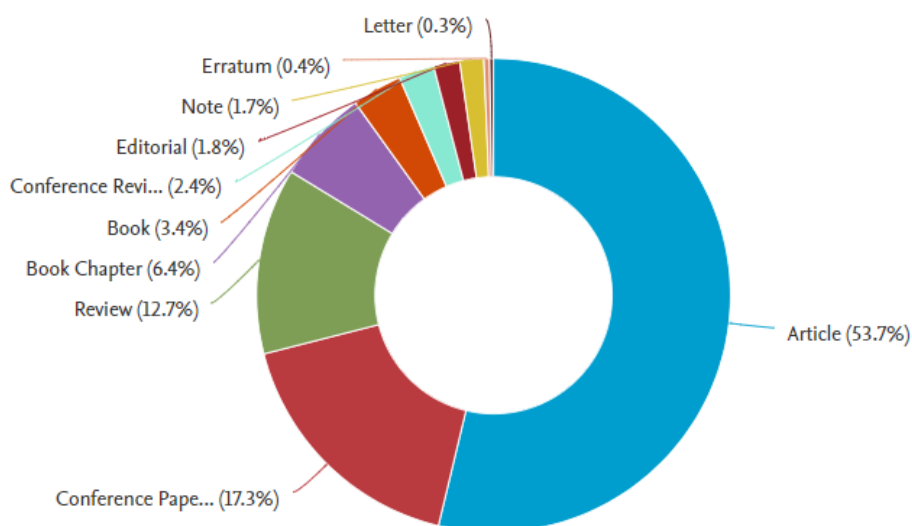
Los criterios de inclusión se basaron en la relevancia de los documentos respecto al tema del uso sostenible, priorizando aquellos estudios que abordaban estrategias innovadoras y tecnológicas. Se descartaron documentos cuyo enfoque no estaba directamente relacionado con el objetivo de este estudio, como editoriales, notas y cartas, que representaban porcentajes menores (menos del 5 % del total). A través de esta metodología, se logró una selección precisa y representativa de la literatura científica más relevante y reciente en el campo de estudio.

El análisis de estos documentos se realizó de manera sistemática, priorizando artículos que aportaran datos empíricos y revisiones que incluyeran estudios de caso o análisis comparativos sobre estrategias de uso sostenible del agua.

**Gráfico 1:**

*Documentos según su tipo*

Documents by type



*Nota: Scopus (2024).*

**3. Resultados**

**3.1. Tipos de Estrategias para el Uso Sostenible del Agua**

El manejo sostenible del agua en la agricultura implica la implementación de una serie de tecnologías y prácticas que optimicen su uso, asegurando que los recursos hídricos sean suficientes para la producción de alimentos, incluso en condiciones de escasez o estrés hídrico. A continuación, se detallan varias estrategias clave que se han identificado y evaluado para mejorar la eficiencia hídrica en la agricultura:

El riego por goteo ha demostrado ser una de las tecnologías más eficientes para reducir el desperdicio de agua, ya que suministra agua directamente a la raíz de las plantas,

minimizando la evaporación y la escorrentía. Esta tecnología permite ahorrar hasta un 50 % más de agua en comparación con métodos tradicionales, como el riego por surcos o inundación, especialmente en cultivos que requieren un manejo preciso del recurso hídrico, como los frutales o cultivos en invernadero (Osorio & Hincapié, 2023). Por otro lado, el riego por aspersión, aunque menos eficiente que el riego por goteo, sigue siendo una opción popular en áreas extensas debido a su capacidad para cubrir grandes superficies de manera uniforme y controlada (Masseroni et al., 2020).

El desarrollo de sistemas de riego inteligentes basados en el Internet de las Cosas (IoT) y sensores de humedad ha revolucionado la gestión del agua en la agricultura. Estos sistemas permiten un monitoreo en tiempo real de las condiciones del suelo y del clima, ajustando automáticamente la cantidad de agua aplicada según las necesidades exactas del cultivo (Gui et al., 2023). Además, el uso de inteligencia artificial y aprendizaje automático ha mejorado significativamente la precisión en la toma de decisiones de riego, optimizando la eficiencia hídrica sin comprometer los rendimientos agrícolas. Según un estudio reciente, el uso de estos sistemas puede reducir el consumo de agua hasta en un 30 % en comparación con métodos convencionales de riego (Osorio & Hincapié, 2023).

Los métodos tradicionales de riego, como el riego por gravedad o por inundación, aunque ampliamente utilizados en muchas regiones, son conocidos por su baja eficiencia. Estos sistemas, que aplican agua de manera uniforme sin considerar la variabilidad del suelo y las necesidades del cultivo, tienden a generar un alto nivel de desperdicio, con pérdidas que pueden llegar al 60 % debido a la evaporación y la percolación profunda (Rojas & Saavedra-Mera, 2022). En cambio, las tecnologías modernas, como los sistemas de riego de precisión, permiten un control automatizado y específico de la aplicación de agua, ajustando la cantidad en función de factores como la textura del suelo, la evapotranspiración y el estado fenológico del cultivo. Estas tecnologías no solo mejoran la eficiencia en el uso del agua, sino que también aumentan los rendimientos, ya que aseguran que el agua esté disponible en el momento y lugar adecuado (Masseroni et al., 2020).

La diversificación de cultivos, con la introducción de variedades que requieren menos agua o que son más resistentes a la sequía, es otra estrategia clave para el uso sostenible del agua. En regiones afectadas por la escasez hídrica, el cambio a cultivos menos demandantes de agua, como el sorgo o la cebada en lugar de maíz o arroz, puede reducir significativamente la presión sobre los recursos hídricos (Rojas & Saavedra-Mera, 2022). Además, estas prácticas suelen combinarse con técnicas de manejo del suelo, como la labranza mínima o la utilización de cultivos de cobertura, que ayudan a retener la humedad en el suelo y a mejorar su estructura, lo que a su vez reduce la necesidad de riego adicional (Osorio & Hincapié, 2023).

Finalmente, el uso de estas estrategias no solo tiene el potencial de mitigar los efectos de la escasez hídrica, sino que también contribuye a mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a los desafíos impuestos por el cambio climático. Las tecnologías avanzadas de riego y el manejo adecuado de los recursos hídricos juegan un papel crucial en la transición hacia una agricultura más sostenible y productiva.

### 3.2. Eficiencia en el Uso del Agua en Cultivos

La eficiencia en el uso del agua en los cultivos es un aspecto esencial en la agricultura moderna, especialmente ante la creciente demanda de alimentos y la presión que enfrentan los recursos hídricos debido al cambio climático. Aquí se amplían algunos aspectos clave relacionados con el uso de tecnologías avanzadas de riego y su impacto en la productividad y la sostenibilidad agrícola:

Las técnicas de irrigación controlada, como el riego por goteo y la aspersión, han demostrado ser especialmente eficaces para maximizar la productividad al aplicar el agua directamente a las raíces de las plantas, minimizando las pérdidas por evaporación y escorrentía. El riego por goteo puede incrementar los rendimientos en cultivos clave, como hortalizas y frutales, mientras reduce significativamente el consumo de agua, a veces hasta en un 40 % en comparación con métodos tradicionales como el riego por surcos. Este tipo de irrigación también ayuda a evitar la salinización del suelo, un problema común en los métodos tradicionales, mejorando así la calidad del suelo y la salud de las plantas (Gui et al., 2023).

La aplicación de tecnologías de riego de precisión, como sistemas basados en sensores de suelo y clima, permite un control más ajustado del suministro de agua, adaptándose a las condiciones específicas de cada parte de un campo. Esto es crucial en terrenos heterogéneos donde las variaciones en el tipo de suelo o en la topografía pueden afectar el rendimiento del cultivo. Estudios recientes han mostrado que el uso de estas tecnologías reduce la variabilidad en los rendimientos de los cultivos al optimizar la distribución del agua en función de las necesidades precisas de cada área cultivada (Dongwei et al., 2023). El uso de inteligencia artificial para predecir las necesidades hídricas también ha resultado en mayores eficiencias, asegurando que los cultivos reciban agua en los momentos críticos para su desarrollo.

La irrigación variable (VRI) permite ajustar el riego a las características específicas de cada zona dentro de un campo agrícola, optimizando el uso del agua. Esta tecnología ha demostrado su eficacia en la reducción del consumo de agua entre un 10 % y un 15 % sin comprometer los rendimientos agrícolas. Además, la irrigación variable es particularmente útil en terrenos con alta variabilidad en las propiedades del suelo, donde una aplicación uniforme podría resultar en desperdicio o riego insuficiente en áreas clave del cultivo (Agriculture, 2024).

El uso de sensores climáticos y de humedad del suelo ha transformado la manera en que los agricultores gestionan el riego. Los sistemas basados en el Internet de las Cosas (IoT) permiten un monitoreo en tiempo real de las condiciones del suelo y el clima, lo que facilita la toma de decisiones precisas sobre el momento y la cantidad de riego necesaria. Esto no solo optimiza el uso del agua, sino que también minimiza los riesgos de sobreirrigación o desecación del suelo. Las imágenes satelitales y las herramientas de teledetección también están contribuyendo a una mayor eficiencia en la gestión del agua al proporcionar datos precisos sobre las necesidades hídricas de los cultivos en grandes áreas (Caicedo-Aldaz & Herrera-Sánchez, 2022; Dongwei et al., 2023).

En resumen, la implementación de estas tecnologías y prácticas en la agricultura ha permitido no solo un uso más racional y eficiente del agua, sino también una mejora en

los rendimientos y la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas, lo cual es fundamental en un contexto de creciente escasez hídrica.

### 3.3. Impacto del Cambio Climático en la Gestión Hídrica

El cambio climático tiene un impacto profundo y creciente en la gestión hídrica, especialmente en el contexto agrícola, donde los patrones de precipitación se han modificado significativamente, afectando la disponibilidad de agua de manera directa y alterando los ecosistemas agrícolas. Estos cambios no solo implican fluctuaciones en las cantidades de agua disponible, sino también la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos como sequías prolongadas o lluvias torrenciales, lo que exige una reconfiguración urgente de las estrategias agrícolas y la gestión del agua.

En primer lugar, las modificaciones en los patrones de precipitación a nivel global son una de las principales consecuencias del cambio climático. Las lluvias, que solían ser predecibles en muchas regiones, ahora se distribuyen de manera más irregular. Esto ha llevado a un aumento en la frecuencia de sequías en algunas áreas, mientras que en otras las lluvias extremas han provocado inundaciones repentinas, afectando la recarga de acuíferos y la capacidad de almacenamiento de agua en los ecosistemas agrícolas. Según el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2022), estas alteraciones en los ciclos hidrológicos están exacerbando la escasez de agua, afectando tanto la cantidad de agua superficial como subterránea disponible para la agricultura. Este fenómeno es particularmente severo en regiones que dependen en gran medida del riego agrícola, lo que hace que las variaciones en la precipitación tengan un efecto desproporcionado en la productividad agrícola y en la seguridad alimentaria (IPCC, 2022).

Para enfrentar estos cambios, la adaptación de las estrategias agrícolas se ha vuelto esencial. Los sistemas de riego de precisión y la implementación de tecnologías avanzadas han demostrado ser fundamentales para optimizar el uso del agua en situaciones de escasez. Estas tecnologías permiten a los agricultores ajustar las cantidades de agua aplicadas en función de las condiciones locales del suelo y del clima, lo que reduce las pérdidas por evaporación y mejora la eficiencia hídrica. El uso de sensores de humedad del suelo, por ejemplo, proporciona datos en tiempo real que permiten una gestión más eficiente del riego, evitando el desperdicio de agua y optimizando los rendimientos agrícolas incluso en condiciones climáticas adversas (UNESCO, 2021). Además, la diversificación de cultivos, con la introducción de especies más resistentes a la sequía o al exceso de agua, se ha convertido en una estrategia clave para mitigar los efectos del cambio climático en la producción agrícola, asegurando que los sistemas sean más resilientes frente a los eventos climáticos extremos (González-Marcillo et al., 2023).

Las recomendaciones para aumentar la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio climático subrayan la necesidad de combinar tecnología moderna con enfoques basados en la naturaleza. La restauración de ecosistemas naturales, como los humedales, y la implementación de sistemas de recolección de aguas pluviales han demostrado ser soluciones efectivas para mejorar la capacidad de retención de agua en los suelos agrícolas y mitigar los efectos de las lluvias torrenciales. Estas estrategias no solo promueven una gestión más eficiente del agua, sino que también protegen la biodiversidad y mejoran la capacidad de los ecosistemas para adaptarse a las nuevas

condiciones climáticas. La reforestación y la adopción de prácticas agroecológicas, como los sistemas silvopastoriles, son ejemplos de enfoques que combinan la agricultura con la conservación de los ecosistemas, mejorando así tanto la producción agrícola como la sostenibilidad ambiental a largo plazo (González-Marcillo et al., 2023; IPCC, 2022).

Uno de los efectos más preocupantes del cambio climático es la relación entre la escasez de agua y la pérdida de biodiversidad en áreas agrícolas. La falta de agua no solo reduce la capacidad productiva de los suelos, sino que también genera una degradación de los ecosistemas que dependen de este recurso. La pérdida de biodiversidad en áreas agrícolas puede tener efectos devastadores en los servicios ecosistémicos esenciales, como la polinización, la fertilidad del suelo y el control biológico de plagas. A medida que los monocultivos y el uso intensivo del agua continúan degradando los ecosistemas, se vuelve cada vez más difícil restaurar la salud de los suelos y asegurar la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas (IWA Publishing, 2022).

La adaptación a los efectos del cambio climático en la gestión hídrica requiere no solo respuestas inmediatas, sino también una transformación estructural en la forma en que se gestionan los recursos hídricos. No basta con adoptar tecnologías de riego más eficientes, sino que es necesario repensar la manera en que se valora y se distribuye el agua. Las soluciones basadas en la naturaleza, como la restauración de humedales y la reforestación, no solo ayudan a retener el agua en los ecosistemas, sino que también ofrecen múltiples beneficios adicionales, como la mejora de la calidad del aire, la protección de la biodiversidad y el aumento de la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a futuros eventos climáticos extremos (UNESCO, 2021). De esta manera, se promueve una gestión más integral y sostenible del agua, que no solo atiende las necesidades inmediatas de los agricultores, sino que también contribuye a la conservación de los ecosistemas en su conjunto.

En conclusión, el cambio climático está teniendo un impacto significativo en la gestión hídrica, afectando directamente la disponibilidad de agua y la productividad agrícola. Para enfrentar estos desafíos, es esencial implementar estrategias integradas que combinen la tecnología avanzada con soluciones basadas en la naturaleza, protegiendo al mismo tiempo la biodiversidad y asegurando la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas.

### **3.4. Factores Socioeconómicos que Afectan la Adopción de Estrategias**

Los factores socioeconómicos juegan un papel crucial en la adopción de tecnologías de riego sostenibles, ya que determinan la disposición y capacidad de los agricultores para implementar estas innovaciones. Aspectos como las políticas gubernamentales, los costos iniciales, la participación de los agricultores y el impacto económico en las comunidades agrícolas son fundamentales para entender cómo y por qué se adoptan estas tecnologías.

Las políticas gubernamentales son esenciales para fomentar la adopción de tecnologías de riego sostenibles. Gobiernos en países como España e Irán han implementado subsidios que cubren hasta el 85 % de los costos de instalación de sistemas de riego avanzados, como el riego por goteo. Esto ha incentivado a muchos agricultores a

modernizar sus sistemas de riego, especialmente en regiones donde la escasez de agua es crítica. Sin embargo, aunque estos subsidios son efectivos, la implementación sigue siendo baja debido a la complejidad técnica y a la percepción de riesgo entre los agricultores. Por ejemplo, en Irán, a pesar del apoyo gubernamental, solo el 25 % de las tierras de cultivo con riego han adoptado tecnologías modernas en las últimas dos décadas (Frontiers, 2023)

En Sudáfrica, la adopción de tecnologías de riego inteligentes ha sido promovida por el gobierno para abordar la escasez de agua, pero los agricultores pequeños todavía enfrentan barreras debido a la falta de recursos financieros y de acceso a capacitación (Mpandeli et al., 2023)

El costo inicial de las tecnologías de riego sostenibles sigue siendo uno de los mayores obstáculos para su adopción, particularmente entre los pequeños agricultores. Aunque el riego por goteo y los sistemas automatizados prometen beneficios significativos en términos de ahorro de agua y aumento de productividad, los costos de instalación y mantenimiento pueden ser prohibitivos para muchos agricultores sin apoyo externo. Un estudio realizado en Tailandia mostró que los agricultores que adoptaron tecnologías modernas de riego obtuvieron un retorno significativo en sus inversiones debido a la mejora en la eficiencia del uso del agua y el aumento en los rendimientos, pero aquellos con menos acceso a crédito financiero tuvieron más dificultades para adoptar estas tecnologías (Chuchird et al., 2017)

. La falta de financiamiento es particularmente problemática en regiones donde los ingresos agrícolas son bajos y la incertidumbre climática dificulta la previsión de beneficios a largo plazo.

La participación activa de los agricultores en las decisiones relacionadas con la gestión del agua es crucial para fomentar la adopción de tecnologías sostenibles. Aquellos agricultores que participan en cooperativas o asociaciones tienen más probabilidades de adoptar tecnologías de riego eficientes, ya que estas organizaciones facilitan el acceso a recursos compartidos y proporcionan capacitación. La falta de educación sobre los beneficios de las nuevas tecnologías y el escaso acceso a información clara también actúan como barreras. Un estudio en comunidades agrícolas de Sudáfrica mostró que los agricultores que participaron en programas de capacitación y en la planificación del manejo del agua adoptaron más rápidamente tecnologías como los sistemas de riego inteligentes (Mpandeli et al., 2023)

La adopción de tecnologías de riego sostenibles no solo mejora la productividad agrícola, sino que también tiene un impacto positivo en las economías locales. El uso eficiente del agua puede reducir significativamente los costos asociados con el riego, lo que mejora los ingresos de los agricultores y reduce la pobreza en las comunidades rurales. En un estudio realizado en Sudáfrica, se observó que los agricultores que implementaron tecnologías como el riego por goteo lograron reducir el consumo de agua en un 25 %, mientras que sus ingresos aumentaron en un 15 % debido a la mayor productividad (Mpandeli et al., 2023)

Sin embargo, el impacto económico positivo depende en gran medida de la capacidad de los agricultores para acceder a los recursos necesarios y de la implementación

efectiva de políticas gubernamentales que promuevan el acceso equitativo a estas tecnologías.

En resumen, la adopción de tecnologías de riego sostenibles está profundamente influenciada por factores socioeconómicos, incluyendo las políticas gubernamentales, los costos iniciales, la participación de los agricultores en la toma de decisiones y el impacto económico en las comunidades agrícolas. La superación de estos obstáculos requiere un enfoque coordinado que combine apoyo gubernamental, acceso a financiamiento y educación sobre los beneficios a largo plazo de estas tecnologías.

### **3.5. Desafíos y Oportunidades en la Implementación de Estrategias**

La implementación de estrategias sostenibles para la gestión hídrica enfrenta una serie de desafíos y oportunidades, especialmente en la agricultura. A continuación se abordan algunos de los principales factores que influyen en la adopción de estas estrategias:

Uno de los mayores desafíos en la adopción de tecnologías avanzadas de riego, como el riego por goteo y la irrigación automatizada, es el costo inicial elevado. Esta barrera afecta principalmente a los pequeños agricultores, quienes tienen dificultades para acceder a financiamiento o subsidios gubernamentales. Además, la falta de infraestructura adecuada y la ausencia de sistemas de apoyo técnico limitan la implementación de estas tecnologías. En regiones de África y Asia, la baja adopción de sistemas de riego micro (MI) está relacionada con una combinación de falta de acceso a equipos, incertidumbre sobre los beneficios y dificultades para mantener las tecnologías (Chuchird et al., 2017; Mpandeli et al., 2023). El desarrollo de políticas de apoyo y la creación de redes de distribución más eficientes podrían facilitar su adopción (Velasco-Muñoz et al., 2019).

Las soluciones basadas en la naturaleza, como la recolección de aguas pluviales, representan una alternativa prometedora para mejorar la disponibilidad de agua en regiones con escasez. La recolección de agua de lluvia se ha utilizado en muchas partes del mundo como una estrategia económica y ecológicamente viable. Estos sistemas ayudan a reducir la presión sobre los recursos hídricos convencionales, mejorando al mismo tiempo la resiliencia frente a los eventos climáticos extremos. En África y Asia, la adopción de estas técnicas está aumentando, pero sigue enfrentando desafíos, como la falta de integración con políticas nacionales y la escasa capacitación de las comunidades rurales en su uso (Ssekyanzi et al., 2024). Para maximizar el potencial de estas soluciones, es necesario mejorar la infraestructura de almacenamiento y el acceso a tecnologías asequibles (Velasco-Muñoz et al., 2019).

La cooperación internacional ofrece un amplio abanico de oportunidades para mejorar la gestión hídrica a nivel global. Las asociaciones entre gobiernos, ONGs y el sector privado están desempeñando un papel clave en la promoción de tecnologías de riego sostenibles y prácticas de conservación del agua. Los programas internacionales de cooperación técnica han ayudado a implementar proyectos de riego eficiente en zonas vulnerables al cambio climático, como el sur de África y el sur de Asia, donde la disponibilidad de agua está en riesgo debido a la creciente demanda y las sequías recurrentes (Mango et al., 2021). Estas iniciativas se complementan con proyectos de intercambio de conocimientos y asistencia técnica, que permiten a las comunidades rurales adoptar mejores prácticas de manejo del agua (Mpandeli et al., 2023).

La escalabilidad de las tecnologías de riego depende de varios factores, entre ellos las características geográficas, las condiciones climáticas y la infraestructura disponible en cada región. En áreas con baja infraestructura de riego, como en partes de África y Asia, la implementación de sistemas avanzados enfrenta barreras importantes relacionadas con la distribución del agua, la falta de inversión en infraestructuras y el acceso limitado a recursos financieros. Los desafíos sociales y culturales, como la falta de cooperación entre agricultores o la desconfianza hacia nuevas tecnologías, también limitan la adopción a gran escala (Mango et al., 2021; Mpandeli et al., 2023). No obstante, en algunas regiones, los esfuerzos por integrar soluciones locales con tecnologías globales, como el uso de sistemas de riego a pequeña escala adaptados a condiciones locales, están comenzando a mostrar resultados positivos.

#### 4. Discusión

La adopción de estrategias sostenibles para la gestión hídrica en la agricultura enfrenta una serie de desafíos significativos, pero también presenta oportunidades prometedoras. Los factores tecnológicos, socioeconómicos y políticos están profundamente interrelacionados, lo que condiciona la capacidad de los agricultores para implementar sistemas de riego avanzados y adoptar tecnologías que optimicen el uso del agua. Los principales obstáculos identificados incluyen los altos costos iniciales de instalación, la falta de infraestructuras adecuadas y la ausencia de políticas gubernamentales sólidas que promuevan su adopción.

Uno de los principales retos tecnológicos radica en la adopción de sistemas de riego avanzados, como el riego por goteo y la irrigación inteligente. Aunque estas tecnologías permiten una gestión más eficiente del agua, su implementación sigue siendo limitada, particularmente en regiones en desarrollo. Esto se debe, en parte, a la falta de acceso a recursos financieros y técnicos, así como a la complejidad que implica su operación y mantenimiento (Chuchird et al., 2017). Además, en zonas como África y Asia, la infraestructura existente es insuficiente para soportar estas innovaciones, lo que impide su escalabilidad. Las políticas gubernamentales, en muchos casos, no han logrado generar un entorno favorable para superar estas barreras, a pesar de los subsidios y apoyos financieros que se han implementado en algunos países (Mpandeli et al., 2023).

La recolección de aguas pluviales y otras soluciones basadas en la naturaleza ofrecen una alternativa viable para abordar la escasez de agua en áreas agrícolas. Estas técnicas, que han demostrado ser efectivas en regiones semiáridas, mejoran la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a eventos climáticos extremos, como sequías prolongadas o lluvias torrenciales. Sin embargo, su adopción sigue siendo limitada debido a la falta de integración en las políticas de gestión hídrica y a la falta de formación entre los agricultores para aprovechar al máximo estas tecnologías (Velasco-Muñoz et al., 2019). La implementación de estas soluciones requiere una planificación adecuada y la construcción de infraestructuras de almacenamiento, como depósitos o estanques, lo que a su vez está condicionado por la inversión gubernamental.

A nivel internacional, la cooperación para mejorar la gestión del agua y la adopción de tecnologías sostenibles se ha identificado como una oportunidad clave. Programas de asistencia técnica y cooperación multilateral han contribuido a la transferencia de

conocimientos y tecnologías, ayudando a comunidades rurales en regiones vulnerables al cambio climático. Sin embargo, estas iniciativas no siempre tienen el impacto esperado debido a la falta de adaptabilidad local y la ausencia de un enfoque integral que considere tanto las condiciones climáticas como las sociales y económicas de cada región (Mango et al., 2021). La falta de coherencia entre los esfuerzos internacionales y las políticas locales, además de la escasa participación de las comunidades, limita el potencial de estas iniciativas.

Finalmente, la escalabilidad de las tecnologías de riego sigue siendo uno de los mayores desafíos en la implementación a gran escala de soluciones sostenibles. En muchas áreas, las características geográficas y climáticas dificultan la expansión de estas tecnologías, ya que los sistemas diseñados para un entorno específico pueden no ser aplicables en otros contextos. Además, los factores sociales y culturales, como la falta de confianza en las tecnologías y la resistencia al cambio, siguen siendo barreras importantes para su adopción. A pesar de estos desafíos, el desarrollo de tecnologías adaptadas a condiciones locales, junto con un enfoque comunitario en su implementación, ha demostrado ser eficaz en algunos casos (Ssekyanzi et al., 2024).

En síntesis, la implementación de estrategias sostenibles para la gestión del agua en la agricultura requiere una combinación de avances tecnológicos, políticas gubernamentales sólidas, cooperación internacional y la participación activa de los agricultores. Aunque las barreras siguen siendo significativas, las oportunidades para mejorar la gestión hídrica a través de soluciones basadas en la naturaleza y la tecnología avanzada son prometedoras, siempre que se adopten enfoques que consideren las realidades locales y se promueva una mayor integración entre las políticas y los recursos disponibles.

## 5. Conclusiones

Las estrategias sostenibles para la gestión hídrica en la agricultura presentan un desafío complejo, influenciado por una variedad de factores tecnológicos, económicos y sociales. A lo largo del análisis, se ha evidenciado que la implementación de tecnologías avanzadas de riego, como los sistemas de riego por goteo y la irrigación inteligente, tiene un potencial significativo para mejorar la eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, los costos iniciales elevados y las barreras tecnológicas, especialmente en regiones de bajos ingresos, continúan siendo un obstáculo crítico.

La participación activa de los agricultores y su acceso a información y capacitación son esenciales para superar estas barreras. Las políticas gubernamentales que faciliten el acceso a financiamiento y subsidios juegan un papel crucial, pero también es necesario un enfoque más amplio que integre soluciones basadas en la naturaleza, como la recolección de aguas pluviales. Estas soluciones ofrecen alternativas sostenibles que pueden complementar las tecnologías modernas y adaptarse a las condiciones locales.

Además, la cooperación internacional es una oportunidad valiosa para fomentar el intercambio de conocimientos y recursos, permitiendo a los agricultores adoptar prácticas más eficientes en regiones afectadas por el cambio climático. Sin embargo, la escalabilidad de estas tecnologías sigue siendo un desafío, debido a las diferencias geográficas, culturales y económicas entre regiones.

En resumen, la implementación exitosa de estrategias para la gestión hídrica sostenible en la agricultura requiere un enfoque integral que combine tecnología, políticas públicas efectivas y la participación activa de las comunidades agrícolas. La superación de las barreras tecnológicas y económicas dependerá del esfuerzo coordinado entre los gobiernos, los actores internacionales y los agricultores, con miras a garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico en el largo plazo.

### Referencias Bibliográficas

- Agriculture. (2024). *A Review of Precision Irrigation Water-Saving Technology under Changing Climate for Enhancing Water Use Efficiency, Crop Yield, and Environmental Footprints*. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071141>
- Agronomy. (2019). Agronomic basis and strategies for precision water management: A review. *MDPI*. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020087>
- Burgos-Macias, T. J., & Gaibor-Fernández, R. R. (2023). *Dinámica poblacional de Spodoptera frugiperda, Diatraea saccharalis y Dalbulus maidis en el cultivo de maíz (Zea mays L.) durante la época seca en cinco localidades del cantón Mocache*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.62>
- 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>
- 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>
- Chuchird, R., Sasaki, N., & Abe, I. (2017). Influencing factors of the adoption of agricultural irrigation technologies and the economic returns: A case study in Chaiyaphum province, Thailand. *Sustainability*, 9(9), 1524. <https://doi.org/10.3390/su9091524>
- Dongwei, G., Murtaza, G., Yunfei, L., & Ali, S. (2023). *An Overview of Smart Irrigation Management for Improving Water Productivity under Climate Change in Drylands*. *Agronomy*, 13(8), 2113. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082113>
- Frimpong, F., Asante, M. D., Peprah, C. O., et al. (2023). Water-smart farming: Review of strategies, technologies, and practices for sustainable agricultural water management in a changing climate. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1110179>
- González-Marcillo, R. L., Guamán-Rivera, S. A., Guerrero-Pincay, A. E., & Ortiz-Naveda, N. R. (2023). *Pastos Tropicales de la Amazonia Ecuatoriana Tomo I: Avances científicos sobre sistemas silvopastoriles como estrategia de reconversión de la ganadería*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.46>
- González-Marcillo, R. L., Guamán-Rivera, S. A., Guerrero-Pincay, A. E., & Ortiz-Naveda, N. R. (2023). *Pastos Tropicales de la Amazonia Ecuatoriana Tomo I: Avances científicos sobre sistemas silvopastoriles como estrategia de reconversión de la ganadería*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.46>
- 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. (2023). Aplicación de Tecnologías en la Agricultura de Precisión mediante Evidencia de Fuentes Científicas. *Horizon Nexus Journal*, 1(2), 1-13. <https://doi.org/10.70881/hnj/v1/n2/14>
- 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>
- Gui, D., Murtaza, G., Yunfei, L., & Ali, S. (2023). *An overview of smart irrigation management for improving water productivity under climate change in drylands*. *Agronomy*, 13(8), 2113. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082113>
- 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>
- Ibarra-Navarrete, Y. S., & Pinargote-Mendoza, E. R. (2023). *Ácido oxálico, alternativa orgánica para el control de varroasis (Varroa destructor) en abejas (Apis mellifera)*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.63>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IWA Publishing. (2022). *Adaptation strategies for climate change impacts on water quality: A systematic review*. *Journal of Water and Climate Change*. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.279>
- Macías-Véliz, J. N., & Chicharro-López, F. I. (2023). *Procesos de producción de tilapias (Oreochromis niloticus) con aplicación informática*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.64>
- Mango, N., Zamasiya, B., Makate, C., Nyikahadzoi, K., & Siziba, S. (2021). Irrigation Technology Interventions as Potential Options to Improve Water Security in Southern Africa. *Water*, 11(7), 1320. <https://doi.org/10.3390/w11071320>
- Masseroni, D., Arbat, G., & Pedroso de Lima, I. (2020). *Managing and planning water resources for irrigation: Smart-irrigation systems for providing sustainable agriculture and maintaining ecosystem services*. *Water*, 12(1), 263. <https://doi.org/10.3390/w12010263>
- Montero-de-la-Cueva, J. V., & Caicedo-Aldaz, J. C. (2023). Prácticas Innovadoras para una Alimentación Sostenible en la Producción Porcina. *Horizon Nexus Journal*, 1(1), 50-62. <https://doi.org/10.70881/hnj/v1/n1/12>
- Mpandeli, S., Nhamo, L., & Araya, H. (2023). Exploring the barriers to the adoption of climate-smart irrigation technologies by smallholder farmers in South Africa. *Agriculture*, 13(2), 246. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020246>
- Osorio, M., & Hincapié, C. A. (2023). *Smart irrigation systems in agriculture: A systematic review*. *Agronomy*, 13(2), 342. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020342>
- Ramos-Acuña, H. E., Palomino-Pastrana, P. A., Yaulilahua-Huacho, R., Zela-Payí, N. O., Sumarriva-Bustinza, L. A., Porrás-Roque, M. S., & Camposano-Córdova, A. I. (2023). *Transformando la Ganadería: Evaluación de las Explotaciones de Vacunos*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.31>
- 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>

- 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>
- Ssekyanzi, G., Ahmad, M. J., & Choi, K.-S. (2024). Sustainable solutions for mitigating water scarcity in developing countries: A comprehensive review of innovative rainwater storage systems. *Water*, 16(17), 2394. <https://doi.org/10.3390/w16172394>
- UNESCO. (2021). *Valuing water: The United Nations world water development report 2021*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375750>
- Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A., Belmonte-Ureña, L. J., & Román-Sánchez, I. M. (2018). Sustainable water use in agriculture: A review of worldwide research. *Sustainability*, 10(4), 1084. <https://doi.org/10.3390/su10041084>
- Vera Chang, J. F., Barzola Miranda, S. E., & Álvarez Aspiazu, A. A. (2024). Procesamiento y conservación de frutas y hortalizas. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.84>

#### CONFLICTO DE INTERESES

**“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.**