



Impacto de los índices de vegetación en la eficiencia del riego tecnificado: una revisión sistemática

Impact of vegetation indices on the efficiency of technical irrigation: a systematic review

Impacto dos índices de vegetação na eficiência técnica da rega: uma revisão sistemática

Ángel Stanley Pinto-Albán ^I

apinto@uagraria.edu.ec

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

Christian Camilo Pinto-Albán ^{II}

agropinal1998@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-9865-5500>

Byron Alexander Tobar-Cuesta ^{III}

btobar@uagraria.edu.ec

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

Andres Israel Medina-Robayo ^{IV}

aimedina@uagraria.edu.ec

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

Correspondencia: apinto@uagraria.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

*** Recibido:** 17 de junio de 2025 ***Aceptado:** 09 de julio de 2025 *** Publicado:** 12 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

El objetivo de esta investigación propone analizar el impacto de los índices de vegetación en la eficiencia del riego tecnificado. El enfoque metodológico empleado se basó en una revisión sistemática de la literatura científica. En función de ello, para la estrategia de búsqueda se aplican criterios de inclusión y exclusión que permitieron seleccionar 21 estudios considerados relevantes. Los resultados evidencian que, la revisión bibliográfica realizada a partir de diversos estudios seleccionados (11) de varios países dentro de los últimos cinco años sobre el riego tecnificado manejan la idea que su implementación ya es imprescindible para regular el uso de los recursos hídricos para garantizar la producción agrícola más sostenible. Los registros encontrados (10) en el ámbito del índice de vegetación para la eficiencia del riego tecnificado dan cuenta que en 05 trabajos de diversos países aluden al índice de evapotranspiración de referencia (Eto); 02 estudios precisan acerca del impacto tiene el índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI); 01 tiene en cuenta el NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado); 01 hablan de la importancia de los Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI); 01 destaca el NDVI y el NDWI y 01 considera el sistema de vigilancia de la sequía agrícola (ADMOS) como indicadores para ayudar en la programación del riego tecnificado para diferentes cultivos. En conclusión, la investigación corrobora el impacto de los índices de vegetación en la eficiencia del riego tecnificado que, mediante la incorporación de tecnologías innovadoras destinadas al sector de la agricultura, permite el desarrollo de prácticas de cultivo sostenibles alineada a la situación ambiental actual.

Palabra clave: Recursos hídricos, sostenibilidad, riego tecnificado, índices de vegetación.

Abstract

The objective of this research proposes to analyze the impact of vegetation indices on the efficiency of technical risk. The methodological approach used was based on a systematic review of the scientific literature. Based on this, inclusion and exclusion criteria were applied to the search strategy, which allowed the selection of 21 studies considered relevant. The results show that the bibliographic review carried out from various selected studies (11) from several countries within the last five years on technical irrigation handle the idea that its implementation is already essential to regulate the use of water resources to guarantee the most sustainable agricultural production. The records found (10) in the field of the vegetation index for the efficiency of technical risk show that 05 works from different countries refer to the reference evapotranspiration index (Eto); 02

studies specify about the impact of the normalized differential vegetation index (NDVI); 01 takes into account the NDWI (Normalized Differential Water Index); 01 discusses the importance of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); 01 highlights the NDVI and NDWI; and 01 considers the Agricultural Drought Monitoring System (ADMOS) as indicators to assist in the scheduling of technical irrigation for different crops. In conclusion, the research corroborates the impact of vegetation indices on the efficiency of technical risk management, which, through the incorporation of innovative technologies for the agricultural sector, enables the development of sustainable cultivation practices aligned with the current environmental situation.

Keywords: Water resources, sustainability, technical irrigation, vegetation indices.

Resumo

O objetivo desta investigação propõe-se analisar o impacto dos índices de vegetação na eficiência do risco técnico. A abordagem metodológica utilizada baseou-se numa revisão sistemática da literatura científica. Com base nisto, foram aplicados critérios de inclusão e exclusão à estratégia de pesquisa, o que permitiu a seleção de 21 estudos considerados relevantes. Os resultados demonstram que a revisão bibliográfica realizada a partir de vários estudos selecionados (11) de vários países nos últimos cinco anos sobre a rega técnica gerem a ideia de que a sua implementação é já essencial para regular a utilização dos recursos hídricos de forma a garantir a produção agrícola mais sustentável. Os registos encontrados (10) no campo do índice de vegetação para a eficiência do risco técnico mostram que 05 trabalhos de diferentes países fazem referência ao índice de evapotranspiração de referência (Eto); 02 estudos especificam sobre o impacto do índice de vegetação diferencial normalizado (NDVI); 01 tem em conta o NDWI (Índice Diferencial Normalizado da Água); 01 aborda a importância do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI); 01 destaca o NDVI e o NDWI; e 01 considera o Sistema de Monitorização de Secas Agrícolas (ADMOS) como indicadores para auxiliar no planeamento da rega técnica para diferentes culturas. Em conclusão, a investigação corrobora o impacto dos índices de vegetação na eficiência da gestão de riscos técnicos, que, através da incorporação de tecnologias inovadoras para o setor agrícola, possibilita o desenvolvimento de práticas de cultivo sustentáveis e alinhadas com a realidade ambiental atual.

Palavras-chave: Recursos hídricos, sustentabilidade, rega técnica, índices de vegetação.

Introducción

El riego tecnificado en el sector de la agricultura está alineado con los esfuerzos que se viene llevando a cabo desde diversas instancias internacionales y nacionales para abordar los desafíos mundiales que supone la gestión eficiente del agua desde una perspectiva de la producción alimenticia, máxime teniendo en cuenta que según el informe publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura en nombre de ONU-Agua (UNESCO, 2025) el sector agrícola domina las extracciones de agua dulce (72%).

En esta misma dirección, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023) afirma que, la agricultura necesita el agua dulce de los ríos, los lagos y los acuíferos. Es el sector que más agua consume en el mundo. La forma en que los sistemas agroalimentarios utilizan las aguas superficiales y subterráneas es crucial para garantizar la disponibilidad para otros sectores económicos y preservar los ecosistemas.

Sin embargo, el uso excesivo e indebido de los recursos hídricos del planeta, donde la agricultura ocupa un espacio central en este consumo, pone de relieve la necesidad de asumir el reto de hacer un uso más sostenible de los limitados recursos hídricos (FAO, 2023). Junto a ello, la incidencia del cambio climático tiene impactos negativos y adversos, como la falta de disponibilidad de agua y la ocurrencia de fenómenos climatológicos extremos como la sequía e inundaciones de manera más frecuente (González et al., 2010). Si hay alguna actividad productiva que dependa directamente del clima y de su variabilidad, ésta es sin duda la agricultura. Un cambio de los patrones de comportamiento de las temperaturas y precipitaciones, o el incremento de la concentración del CO₂ atmosférico, afectarán de una manera significativa al desarrollo de los cultivos (González et al., 2010).

Ante esta realidad se plantea la cuestión de establecer medidas proteccionistas a favor de los recursos hídricos, considerando su importancia para alcanzar los objetivos de desarrollo en el trabajo en la agricultura. En este sentido, la inversión en la modernización del riego puede reducir el consumo de agua. Un uso más productivo del riego puede contribuir al ahorro de recursos hídricos mediante el aumento del rendimiento de los cultivos o la reducción de la evapotranspiración (FAO, 2023).

En este contexto, Huaylla (2019) recalca que, los sistemas de riego tecnificados permiten optimizar el uso del agua y suministrar a los cultivos la cantidad necesaria de manera eficiente para su desarrollo, disminuyendo de esta forma el desperdicio de este valioso recurso, y reduciendo a su

vez el riesgo de erosión. A este respecto, Caamaño (2024) destaca, que el impacto del riego tecnificado va más allá de la mejora en la producción agrícola, pues está estrechamente vinculado a la seguridad alimentaria, hídrica y la sostenibilidad ambiental.

Con la evolución de la tecnología digital agrícola se puede generar información muy valiosa en tiempo real y de manera rápida y autónoma de factores, entre otros, como la necesidad de agua para los cultivos que se conoce como índices de vegetación. De acuerdo con el Sistema de Información Sobre Sequías Para el Sur de Sudamérica (SISSA, 2024) los índices de vegetación son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites, cuya función es realzar la cubierta vegetal en función de su respuesta espectral. Particularmente los índices de vegetación (IVs) están diseñados para proporcionar una consistente comparación tanto espacial como temporal de las condiciones de la vegetación. Se utilizan como medida del contenido hídrico de la vegetación o el nivel de saturación que posee el suelo y para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación (SISSA, 2024).

Los índices de vegetación se han usado en los últimos años con el fin de determinar el tipo de cobertura, para evaluar su variación temporal, o para determinar el estado de salud de cultivos a partir de estimaciones de características como vigor vegetal, contenido de clorofila, estado nutricional o estado hídrico (Revelo et al., 2020).

Reconociendo que, el riego tecnificado desempeña un papel crucial para el buen desempeño de los cultivos en el escenario de la agricultura sostenible, en estimaciones (SISSA, 2024) para determinar cuándo regar, una de las metodologías es monitorear la evolución del agua en el suelo, lo cual puede hacerse de diversas formas por el método tradicional de gravimetría, usando dispositivos que estiman de manera indirecta la humedad de suelo, o con productos derivados de imágenes satelitales. Entre los productos derivados de satélites más difundidos se encuentran los índices de vegetación, que constituyen un resumen de la información satelital asociada a la vegetación. Se usan para determinar el tipo de cobertura, evaluar su variación temporal o establecer su estado de salud a partir de estimaciones de características como vigor vegetal, contenido de clorofila, estado nutricional o estado hídrico (Revelo et al., 2020).

Algunos de los índices de vegetación más empleado es el NDWI, Índice Diferencial de Agua Normalizado, se utiliza para observar el estado hídrico del cultivo, identificar déficit y saturación de humedad. También el índice NDVI o Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado, más conocido como índice verde, es un indicador del vigor de la vegetación (SISSA, 2024).

En otros índices, se tienen los Índices de evapotranspiración un término ideado por Thorntwaite y evalúa las pérdidas de agua por la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Existen dos tipos de evapotranspiración: la evapotranspiración potencial o ETP que se calcula a partir de datos puramente climáticos (radiación global, temperatura media del aire, etc.), y la evapotranspiración real o ETR, que es la evapotranspiración que se da en función del agua realmente disponible. Se puede calcular midiendo las pérdidas de agua del suelo, por medio de aparatos especiales llamados evapotransporímetros o a través de operaciones matemáticas (Díaz, 2019).

La estimación precisa de la evapotranspiración de referencia (ET_0) permite obtener valores más reales sobre las necesidades hídricas de los cultivos (Ortiz & Chile, 2020). El ET_0 es un parámetro muy importante en el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos; este parámetro constituye la columna vertebral del diseño agronómico de todo sistema de riego, a través del cual se dimensionan redes de canales, redes de tuberías, reservorios; además, facilita la planificación de la operación de un sistema de riego (calendario y turnos de riego), y permite planificar la gestión de los recursos hídricos en una cuenca (Ortiz & Chile, 2020).

La programación del riego se fija, generalmente, en función de un nivel de agotamiento permisible (AP) o déficit permitido de manejo (DPM), referido al agua disponible total (ADT) o agua útil (AU) (SISSA, 2024). El manejo apropiado del riego requiere conocer el clima, el tipo de suelo, las necesidades de agua de los cultivos y la evolución del contenido de humedad del suelo (SISSA, 2024). Los recursos hídricos deberían gestionarse con el fin de mantener sistemas agroalimentarios que sean más productivos, viables, eficientes en cuanto a los recursos, inclusivos, resilientes y sostenibles (FAO, 2023).

La necesidad actual que existe de gestionar de manera sustentable el agua para la agricultura exige la adopción de prácticas específicas que haga posible la conducción de los recursos hídricos para el riego tecnificado apoyado en los beneficios que aporta la tecnología agrícola, tal como, los índices de vegetación, los cuales según Ramírez et al (2014) se construyen a partir de estas señales recolectadas por sensores pasivos en plataformas satelitales o aéreas, generando indicadores que entre mayor es el valor, mayor será la presencia, el verdor, la abundancia o la densidad de la vegetación en el área de estudio. En consecuencia, la investigación se propone analizar el impacto de los índices de vegetación en la eficiencia del riesgo tecnificado a través de una revisión sistemática de la literatura.

Metodología

Esta investigación está enmarcada en un enfoque de revisión sistemática de la literatura, que según Kraus et al (2020) es una metodología que permite sintetizar la literatura existente en un campo del conocimiento determinado. En tal sentido, para llevar a cabo la presente revisión sistemática de la literatura, se realizó una búsqueda de estudios relacionados con el impacto de los índices de vegetación en la eficiencia del riego tecnificado, en diferentes bases de datos de revistas indexadas como ScienceDirect, PubMed, Scielo u otros, así como también en repositorios digitales de diferentes universidades internacionales y nacionales, donde se accedió a partir de palabras clave o términos compuestos en español e inglés “riesgo tecnificado” “índices de vegetación” “gestión sostenible del agua” “el agua en la agricultura” or “technological risk”, “vegetation indices”, “sustainable water management”, “water in agriculture”

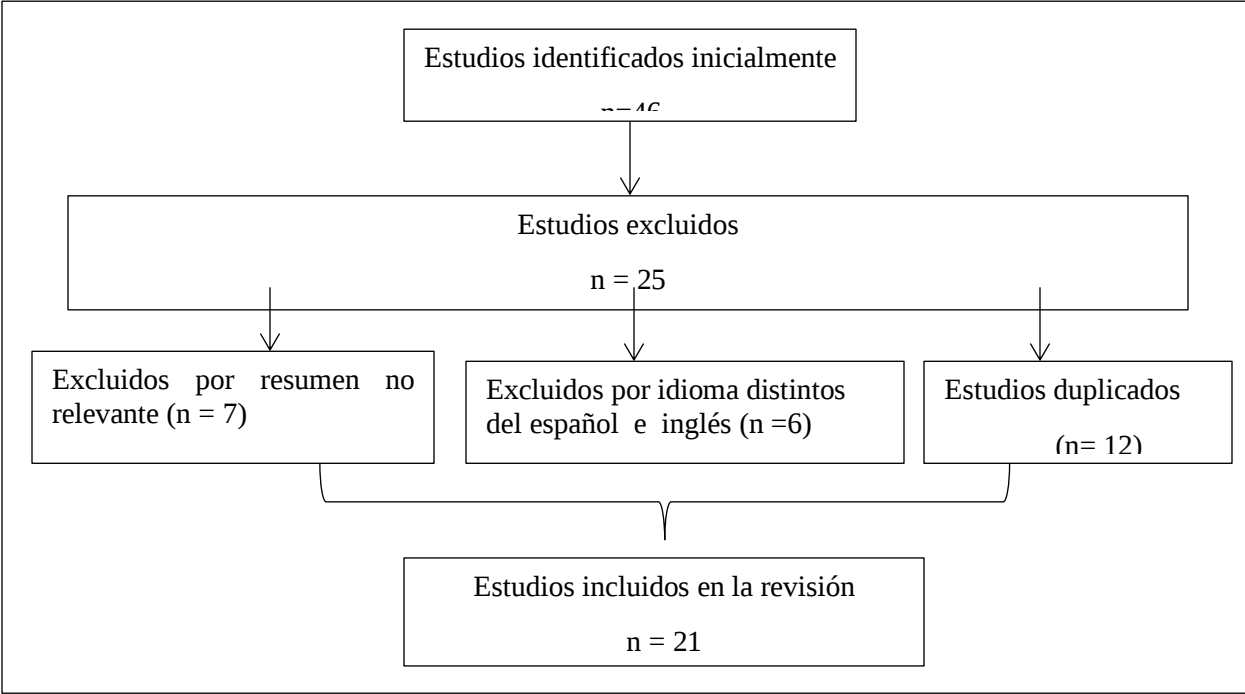
Como forma de facilitar el proceso de búsqueda se establecieron algunos criterios de inclusión y exclusión, dentro del primero de ellos se consideran aspectos como: estudios publicados dentro de los últimos 6 años (2019-2025); trabajos publicados en los idiomas español e inglés; estudios que incluyan resúmenes con información significativa; estudios que incluyan las variables a estudiar: índices de vegetación y riego tecnificado.

Por su parte, los criterios de exclusión contemplan: estudios que no se correspondan con el período escogido para analizar (últimos 6 años); estudios publicados en idiomas distintos al español e inglés; estudios que no incluyan resúmenes con información importante; estudios que no incluyan las variables a estudiar; y estudios duplicados.

El proceso de selección de los estudios y extracción de los datos identificó inicialmente 46 trabajos, toda vez que se consideraron aquellas investigaciones que cumplieron con los criterios de inclusión se incluyeron en esta revisión 21 documentos.

Para llevar a cabo el análisis e interpretación de la información recopilada de la producción científica a través de la literatura se aplicó la técnica de análisis de contenido, según Cházaro, (2024) la técnica de contenido corresponde a un enfoque metodológico que proporciona una estructura analítica sólida para sintetizar los hallazgos y destacar las tendencias más relevantes en la literatura revisada.

Figura 1. Proceso de selección de estudios mediante la revisión sistemático de literatura



Nota. Elaboración propia

Resultados

Una vez obtenida la información por medio de la metodología de revisión bibliográfica empleada, se realizó el análisis del contenido con la atención centrada como punto de partida del impacto de los índices de vegetación más importante por su contribución para enfrentar los desafíos para lograr la eficiencia del riego tecnificado. De este modo, en la Tabla 1 se presenta el trabajo de los autores seleccionados que resaltaron los beneficios potenciales del enfoque del riego tecnificado en la agricultura sostenible.

Tabla 1. Distribución de estudios según el uso del riego tecnificado en la agricultura sostenible

Autor (es)/año	Uso del riego tecnificado y/o aspectos característicos
Behzadipour et al (2024)	El estudio concluye que, considerando los resultados a largo plazo, el sistema de riego inteligente es preferible al riego por inundación convencional (CFI por sus siglas en inglés), ya que ofrece importantes ahorros de agua y una mejor en la eficiencia en el uso del agua (WUE) sin comprometer la calidad del cultivo.
López et al (2024)	Los resultados indicaron que no existe un sistema de riego que pueda ser utilizado para todo tipo de cultivo, topografía y tipo de suelo, por ello, resulta necesario aumentar el grado de tecnificación de riego en el

	sector agrícola, además de la implementación de técnicas que eficienten el uso del agua.
Sumit & Sitahbra (2024)	Subraya la necesidad de soluciones innovadoras para abordar los desafíos asociados con los métodos de riego convencionales, como el desperdicio de agua, el consumo de energía y la degradación del suelo.
Sahin (2024)	Propone un sistema de riego inteligente, basado en energía solar y controlado por teléfono móvil, de bajo costo y fácil instalación. Estos sistemas minimizan el desperdicio de agua al utilizar la cantidad justa en el momento oportuno y garantizar que los productos agrícolas reciban la humedad necesaria para un crecimiento óptimo. También reducen el consumo de energía al optimizar los procesos de riego, aumentando así la eficiencia general.
Reyes & Baldera (2023)	Sugiere la adopción del sistema de riego tecnificado para incrementar la disponibilidad de agua, optimizar su manejo y mejorar la producción agrícola, favoreciendo a la comunidad agraria.
Pronti & Berbel (2023)	Los resultados muestran que los agricultores reaccionan a la tarificación volumétrica reduciendo el uso de agua por hectárea. Más concretamente, se observa una mayor sensibilidad a la demanda de agua para sistemas de riego eficientes (goteo y aspersión) que para tecnologías de riego tradicionales, como los sistemas de surcos.
Ingrao et al (2023)	Se confirmó la importancia de la investigación sobre la escasez de agua; además, puede estimular el desarrollo y la aplicación de soluciones que hagan que la producción/consumo agrícola sea más eficiente y resiliente.
Kilemo (2022)	La gestión del agua en la agricultura ofrece oportunidades para optimizar el rendimiento de los cultivos con menos agua. Esto requiere un cambio de los enfoques convencionales de producción agrícola, que buscaban maximizar el rendimiento por unidad de superficie, a métodos más eficientes en el uso del agua que buscan maximizar el rendimiento por unidad de consumo de agua, determinado por la evapotranspiración.
Eisenhauer et al (2021)	Se proyecta que la demanda de agua para alimentos, fibra y combustible aumentará otro 50 % en el período en 2050. Hoy en día, un tercio de los alimentos del mundo se produce en el 21 % de las tierras cultivadas gracias a sistemas de riego eficaces. Esto pone claramente de manifiesto el importante papel que seguirá desempeñando el riego en la intensificación de la producción agrícola y la alimentación mundial.
Cortes & Vargas (2020)	Al automatizar el riego del cultivo y tener un control de las variables principales que influyen directamente en el desarrollo de la siembra, se optimizó el consumo de agua ya que así se garantiza la cantidad necesaria y exacta requerida por el tipo de cultivo (tomate cherry). Es importante destacar que el sistema implementado se puede adaptar a

	cualquier tipo de cultivo mediante la modificación del valor de referencia de la humedad del suelo.
Montero (2020)	Se comprobó que al considerar las condiciones climáticas se mejora el agua disponible para la planta de lechuga (<i>lactuca sativa</i>) en el suelo y se disminuyen los tiempos de riego.

Nota. Elaboración propia. Fuente: A partir de la revisión sistemática de la literatura

Como se puede apreciar en la Tabla 1 en la revisión bibliográfica realizada a partir de diversos estudios seleccionados (11) de varios países dentro de los últimos cinco años que ofrecen contenido actualizado a partir de la información recogida sobre el riego tecnificado, en lo que respecta a los resultados extraídos en líneas generales, sobre el tema la totalidad de los autores maneja la idea que su implementación ya que es imprescindible para regular el uso de los recursos hídricos para garantizar la producción agrícola más sostenible, como se refleja a continuación en los estudios realizados por Behzadipour et al (2024) los cuales consideran que el sistema de riego inteligente es preferible al riego por inundación convencional.

También Pronti & Berbel (2023) observa una mayor sensibilidad a la demanda de agua para sistemas de riego eficientes (goteo y aspersión) que, para tecnologías de riego tradicionales, como los sistemas de surcos. En lo que respecta a los resultados obtenidos por López et al (2024) se aprecia que resulta necesario aumentar el grado de tecnificación de riego en el sector agrícola, además de la implementación de técnicas que eficienticen el uso del agua. Similarmente, Sumit & Sitahbra (2024) subraya la necesidad de soluciones innovadoras para abordar los desafíos asociados con los métodos de riego convencionales, como el desperdicio de agua.

Como se observa en el estudio de Sahin (2024) se propone un sistema de riego inteligente, basado en energía solar controlado por medio de la tecnología digital para minimizar el desperdicio de agua en los procesos de riego, de igual forma Reyes & Baldera (2023) sugiere la adopción del sistema de riego tecnificado para incrementar la disponibilidad de agua y favorecer a la comunidad agraria; de la misma manera Ingrao et al (2023) en su discurso confirmó la importancia de la investigación sobre la escasez de agua para desarrollar y aplicar las soluciones pertinentes que hagan que la producción/consumo agrícola sea más eficiente y resiliente.

De acuerdo con Kilemo (2022) la gestión del agua en la agricultura ofrece oportunidades para optimizar el rendimiento de los cultivos con menos agua, para lo cual se requiere un cambio de enfoque del convencionalismo a métodos más eficientes; por su parte, Eisenhauer et al (2021) el importante papel que seguirá desempeñando el riego en la intensificación de la producción agrícola

y la alimentación mundial; por otro lado, Cortes & Vargas (2020) plantea que la automatización del riego del cultivo influye directamente en la optimización del agua y por ende en el desarrollo de la siembra y Montero (2020) afirma que al considerar las condiciones climáticas se mejora el agua disponible en el suelo y se disminuyen los tiempos de riego para el cultivo.

Tabla 2. Distribución de registros en la revisión de literatura sobre riego tecnificado según autor/año, tipo de estudio, país/región y medio de publicación en revista/libro/otros.

Autor(es)/año	Tipo de estudio	País/región	Revista/libro/otros
Behzadipour et al (2024)	Artículo	Juzestán (Irán)	Pubmed
López et al (2024)	Artículo	México	Ciencia Latina
Sumit & Sitahbra (2024)	Libro electrónico	Bhubaneshwar, India	Researchgate.Net
Sahin (2024)	Artículo	Turquía	EJ-ENG
Pronti & Berbel (2023)	Artículo	Italia	ScienceDirect
Reyes & Baldera (2023)	Trabajo de titulación	Lima. Perú	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
Ingrao et al (2023)	Artículo	Italia	ScienceDirect
Kilemo (2022)	Artículo	Morogoro/ Tanzania	Open Access Library Journal
Eisenhauer et al (2021)	Artículo	Wisconsin-Madison/Estados Unidos	ASABE
Cortes & Vargas (2020)	Trabajo de titulación	Bogotá. D.C/ Colombia	Universidad Católica de Colombia.
Montero (2020)	Trabajo de titulación	Cartago/Costa Rica	Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

Nota. Elaboración propia. Fuente: A partir de la revisión sistemática de la literatura

El resultado que se muestra en la Tabla 2, sobre la tendencia de las publicaciones relacionadas con el uso del riego tecnificado, da cuenta que el mayor número de trabajos (04) se registran en el año 2024 bajo la autoría de Behzadipour et al (2024); López et al (2024); Sumit & Sitahbra, (2024); Sahin (2024); mientras para el año 2023 se tienen 03 estudios elaborados por Pronti & Berbel

(2023); Reyes & Baldera (2023) e Ingrao et al (2023); en tanto para el año 2022 se considera 01 trabajo de la mano de Kilemo (2022) al igual que para el año 2021, Eisenhauer et al (2021) y para el año 2020 se tienen 02 estudios que prestan Cortes & Vargas (2020) y Montero (2020), bajo el formato de artículos de revistas indexadas (07), libros electrónicos (01) y 03 trabajos de titulación, devenidos de diversos países del mundo como Irán (01); México (01); India (01); Turquía (01); Italia (02); Perú (01), Tanzania (01), Estados Unidos (01), Colombia (01) y Costa Rica (01).

De esta manera en cuanto a los medios de publicación en revista/libro/otros se pueden observar 01 artículo en Pubmed; 01 en Ciencia Latina; 01 en Researchgate.Net; 01 en EJ-ENG; 02 en ScienceDirect; 01 en Open Access Library Journal; 01 en ASABE; por otro lado, en repositorios digitales de universidades se encuentran 03 publicaciones (Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Universidad Católica de Colombia y Tecnológico de Costa Rica).

Tabla 3. Distribución de estudios según índices de vegetación para la eficiencia del riesgo tecnificado

Autor (es)/año	País	Impacto índice de vegetación en el riego
Ben Gal et al (2025)	Italia (Chiese y Capitanata)	Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) y un índice de estrés hídrico del cultivo de la planta (potencial hídrico foliar, LWP).
Rios et el (2025)	Perú	El NDWI es un indicador que ayuda a identificar la presencia de agua en el área.
Lykhovyd et al (2024)	Ucrania	El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de gran utilidad para proporcionar claves para distinguir entre cultivos de secano y de regadío.
Stoyanova et al (2023)	Bulgaria	Índices de estrés por evapotranspiración (Eto) pueden proporcionar señales tempranas útiles de sequía agrícola/ecológica.
Chavarría et al (2023)	Costa Rica	Índices de evapotranspiración de referencia (Eto), evapotranspiración real (Etr) para estimar y proyectar aplicaciones de agua por medio de sistemas de riego lo más ajustadas a la realidad posible.
Angella et al (2023)	Uruguay, Argentina, y Nicaragua	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) o el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), pueden servir como aproximación del contenido de humedad del suelo para ayudar en la programación del riego.
Ruelas et al (2022)	México	Índices de evapotranspiración de referencia (Eto) para la programación de riegos en diferentes cultivos dada la poca disponibilidad de agua.

Corbari et al (2022)	Italia (Chiese y Capitanata)	Indicador ADMOS (sistema de vigilancia de la sequía agrícola) para la gestión operativa de redes de riego a diferentes escalas espaciales y temporales.
Ortiz & Chile (2020)	Ecuador	Índice de evapotranspiración de referencia (Eto) para obtener valores más reales sobre las necesidades hídricas de los cultivos.
Quiroz (2019)	Perú	Índices de evapotranspiración de referencia (Eto) para obtener la demanda de agua de los cultivos.

Nota. Elaboración propia. Fuente: A partir de la revisión sistemática de la literatura

Tal como se puede ver en la Tabla 3, partiendo de la literatura revisada, el índice de vegetación con más registros encontrados en el ámbito de la eficiencia del riesgo tecnificado para el periodo 2019-2025 los resultados con 05 trabajos de diversos países aluden al índice de evapotranspiración de referencia (Eto) como exponen en su contenido: Stoyanova et al (2023); Chavarría et al (2023); Ruelas et al (2022); Ortiz & Chile (2020) y Quiroz (2019).

Hay otros estudios 02 elaborados por Ben Gal et al (2025); Lykhovyd et al (2024) que precisan acerca del impacto tiene el índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI) que pueden generar una alternativa más adecuada para la gestión del agua para cultivos. También se encuentra 01 aporte de los autores Rios et al (2025) que tiene en cuenta el NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado) como un indicador que ayuda a identificar la presencia de agua en el área de cultivo. En este mismo sentido en el trabajo (01) de los autores Angella et al (2023) hablan de la importancia de los Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) o el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) para ayudar en la programación del riego. Las opiniones recogidas del estudio (01) emitido por Corbari et al (2022) considera que el sistema de vigilancia de la sequía agrícola (ADMOS) puede ser un indicador para la mejora de la gestión operativa de redes de riego a diferentes escalas espaciales y temporales.

Tabla 4. Distribución de registros en la revisión de literatura sobre índices de vegetación para el riego tecnificado según autor/año, tipo de estudio, país/región y medio de publicación en revista/libro/otros.

Autor (es)/año	Tipo de estudio	País/región	Revista/libros/otros
Ben Gal et al (2025)	Articulo	Italia	Springer Nature
Rios et al (2025)	Articulo	Perú	MDPI
Lykhovyd et al (2024)	Articulo	Ucrania	Geology. Geography. Ecology

Stoyanova et al (2023)	Artículo	Bulgaria	MDPI
Chavarría et al (2023)	Artículo	Costa Rica	Scielo
Angella et al (2023)	Informe	Uruguay, Argentina, y Nicaragua	Banco Interamericano de Desarrollo (BID)
Ruelas et al (2022)	Artículo	México	Scielo
Corbari et al (2022)	Artículo	Italia	EGU (European Geosciences Union)
Ortiz & Chile (2020)	Artículo	Ecuador	Redalyc
Quiroz (2019)	Trabajo de titulación	Perú	Universidad Católica de Santa María. Arequipa-Perú.

Nota. Elaboración propia. Fuente: A partir de la revisión sistemática de la literatura

La Tabla 4 refiriéndose a la recopilación de la información de las publicaciones en la revisión de literatura sobre índices de vegetación para el riego tecnificado muestra que según el autor/año, se tienen 02 trabajos del año 2025 como Ben Gal et al (2025) y Rios et al (2025); para el año 2024 se encuentra 01 estudio de los autores Lykhovyd et al (2024); para el año descendente que sigue el 2023 se presentan 03 investigaciones de Stoyanova et al (2023); Chavarría et al (2023) y Angella et al (2023); al propósito del 2022 el resultado da cuenta de 02 trabajos Ruelas et al (2022) y Corbari et al (2022); en el año 2020 se considera la publicación de Ortiz & Chile (2020) y por ultimo para el año 2019 se incluye 01 trabajo elaborado por Quiroz (2019).

En atención al tipo de estudio, se encuentran 08 publicaciones bajo el formato de artículos; 01 informe y 01 trabajo de titulación. En lo relativo al país/región hay que tener en cuenta 02 trabajos procedentes de Italia; 02 del Perú; 01 de Ucrania, 01 de Bulgaria, 01 de Costa Rica, 01 de Uruguay, Argentina, y Nicaragua, 01 de México y 01 del Ecuador; y finalmente respecto al medio de publicación en revista/libro/otros, se reconocen 01 publicación en Springer Nature, 02 de MDPI, 01 de Geology. Geography. Ecology; 02 de Scielo, 01 del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 01 de EGU (European Geosciences Union), 01 de Redalyc y finalmente se tiene presente 01 trabajo recopilado en un repositorio digital universitario.

Discusión

En base a los resultados obtenidos de once (11) trabajos en la revisión de la literatura, se puede afirmar que los autores seleccionados resaltaron en pleno los beneficios potenciales que tiene el riego tecnificado en los procesos agrícolas para contribuir sustancialmente a reducir el gasto hídrico

que conlleva el sector de la agricultura para la producción de alimentos a nivel mundial, como se evidencia en los resultados obtenidos de las investigaciones realizadas por Behzadipour, et al (2024) quienes indagaron sobre el uso de un sistema de riego inteligente para el cultivo de pepino en invernadero, con el objetivo de gestionar el consumo de agua de manera eficiente. Durante la fase inicial, el riego se probó en cuatro niveles: 80%, 90% y 100% de la Capacidad de Campo (FC) y Riego por Inundación Convencional (CFI). Los datos sobre las condiciones ambientales y el uso del agua se registraron meticulosamente. Se lograron rendimientos óptimos y calidad del cultivo (medida por tamaño y firmeza) en CFI y 100% FC, con CFI consumiendo la mayor cantidad de agua (0,148 m³/m²). En consecuencia, 100% FC se identificó como la mejor práctica, informando la calibración del sistema inteligente en la fase posterior.

En este marco, López et al (2024) considera que, en México, es necesario contar con el sistema de riego más eficiente disponible para cada tipo de cultivo, tipo de suelo, topografía, capital y condiciones climáticas del sitio donde se instalara, para ello es necesario que los sectores público y privado inviertan recursos para que el sector agropecuario migre hacia la tecnificación y un mejor uso del agua.

Por otra parte, Sumit & Sitahbra (2024) profundiza en el surgimiento de prácticas de riego eficientes, como el riego por goteo, el riego por goteo subterráneo (SDI) y los sistemas de microrriego, que ofrecen un suministro preciso de agua directamente a la zona radicular de los cultivos, minimizando las pérdidas y optimizando el uso de los recursos. También pone de relieve, los beneficios de adoptar prácticas de riego eficientes, como la conservación del agua, el ahorro de energía, el aumento del rendimiento y la calidad de los cultivos, y la reducción del impacto ambiental.

En igual forma, Sahin (2024) esbozan que, el uso económico del agua se ha vuelto indispensable tanto para aumentar el rendimiento agrícola como para eliminar los daños causados por el riego excesivo al suelo. En lugar del riego tradicional, los sistemas de riego por goteo, aspersión y pivote están siendo reemplazados por "sistemas de riego inteligentes" que ahorran más agua.

Desde la perspectiva de los autores Reyes & Baldera (2023) plantea que, durante la temporada seca, la insuficiencia de agua limita la actividad agraria, esencial para la economía local, existe la necesidad de la incorporación de un sistema de riego modernizado en el distrito de Cajatambo, en la provincia de Lima, enfrentando el problema del uso subóptimo del agua en la microcuenca del río Huaylashtoclanca.

Por su lado, Pronti & Berbel (2023), estima la elasticidad de la demanda de agua considerando submuestras de cultivos y tecnologías de riego mediante un enfoque econométrico aplicado a un amplio conjunto de datos de observaciones de la demanda de agua para un distrito de riego en la región de Emilia-Romaña (Italia). Además, Ingrao et al (2023) pone de relieve la urgente necesidad de una transición hacia sistemas agrícolas y de producción/consumo de alimentos más sostenibles. La Huella Hídrica (HH) desempeña un papel cada vez más importante en este contexto. De hecho, permite cuantificar el consumo de agua y las consecuencias ambientales relacionadas. La mejora de las tecnologías y prácticas de riego se identificó como una forma importante de reducir la escasez de agua.

A tenor con esto, Kilemo (2022) expone que, la eficiencia en el uso del agua (WUE) y productividad hídrica de los cultivos (CWP) son métricas de contabilidad hídrica que monitorean la eficiencia con la que se suministra agua al campo y la velocidad con la que la planta la convierte en alimento, respectivamente. Los factores que afectan el CWP y que también deben considerarse al diseñar estrategias para aumentarlo pueden agruparse en factores específicos del cultivo, factores climáticos y factores de gestión.

La contribución de Eisenhauer et al (2021) indica que, el acceso de los agricultores al riego es un componente crucial de un sistema agrícola altamente productivo, que reduce el riesgo y aumenta la resiliencia. Para que sea eficaz, el sistema debe integrarse en el sistema agrícola más amplio, proporcionar a los agricultores una sólida rentabilidad de su inversión y preservar los recursos naturales vitales de los que depende la empresa.

Así mismo, para el caso de Cortes & Vargas (2020) en la comunidad de la Fundación Mujeres Empresarias Marie Poussepin en Bogotá, Colombia, diseñó e implementó un sistema para automatizar el riego del cultivo y tener un control de las variables principales que influyen directamente en el desarrollo de la siembra de tomate cherry en un invernadero. Además, se apoya en la IoT para la visualización de los datos desde cualquier dispositivo móvil o computador que cuente con acceso a internet, al contar con esta información se puede detectar el estado del cultivo y monitorear el correcto funcionamiento del sistema de riego para la toma de decisiones de mantenimientos correctivos o preventivos.

Mientras que Montero (2020) se centró en un diseño experimental con propósito de evaluar la productividad de la lechuga variedad “capitata” en dos tratamientos, uno que utilizaba una lámina de agua fija y otro con una lámina de agua requerida calculada para los requerimientos hídricos en

función de las condiciones climáticas. Se comprobó un ahorro considerable de agua en el tratamiento de lámina de agua requerida, así como un aumento en producción y por consecuente en su rentabilidad debido a que al considerar las condiciones climáticas se mejora el agua disponible para la planta en el suelo y se disminuyen los tiempos de riego.

Así mismo, para el caso de las diez (10) publicaciones que abordan el impacto de los índices de vegetación en la eficiencia del riego tecnificado, tal como se puede ver líneas arriba en la Tabla 3, en esta línea de ideas Ben Gal et al (2025) distingue que, para la toma de decisiones sobre el riego dinámico de precisión del cultivo de algodón en zonas de gestión estáticas (ZM) con una caracterización dinámica del estado del agua, se utilizó el índice de vegetación diferencial normalizado (IDV) obtenido con drones como indicador indirecto de la altura y la tasa de crecimiento del cultivo, y un índice de estrés hídrico del cultivo basado en imágenes térmicas como indicador indirecto del LWP. En comparación con el riego uniforme comercial, el riego del cultivo basado en decisiones de teledetección, redujo ligeramente la variabilidad espacial, a la vez que mejoró la productividad hídrica en un 12 % con ZM estáticas y en un 19 % con ZM dinámicas.

Como lo indican, Rios et al (2025) mediante imágenes del Índice de Agua de Diferencia Normalizada o NDWI Sentinel-2 para el cultivo de arándanos en Perú, enfatiza la importancia de la teledetección para mejorar la gestión y la eficiencia de la producción de dicho cultivo evaluando factores clave como el gasto de agua. En la búsqueda de bandas que presentaran estos valores deseados, se identificaron la banda RGB y el NDWI. El NDWI es un indicador que ayuda a identificar la presencia de agua en el área. Un valor alto o la presencia de azul claro en la imagen representan la presencia de agua, mientras que un valor bajo o la presencia de verde oscuro indica falta de agua.

Por otro lado, Lykhovyd et al (2024) resaltó que el uso de los datos de teledetección podrían utilizarse para automatizar la tarea importante de la ciencia agrícola moderna de la distinción entre cultivos de regadío y de secano para garantizar la gestión eficiente de los recursos hídricos en la agricultura y controlar el uso de los sistemas de riego mediante la implementación de algoritmos de clasificación automática. El estudio uso del índice de vegetación de diferencia normalizada por teledetección para reconocer tierras de cultivo irrigadas mediante la aplicación Agroland Classifier. Siendo que los resultados revelaron que Agroland Classifier ofrece una alta tasa de acierto general (92 % para los algoritmos combinados) para el reconocimiento entre cultivos de regadío y de secano.

Asimismo, en el trabajo realizado por Stoyanova et al (2023) se compara los valores del índice de evapotranspiración-sequía (ETDI) y razón de estrés evaporativo (ESR]) derivados de los productos satelitales EUMETSAT LSASAF METREF y DMET y la disponibilidad de humedad del suelo (SMA) de un modelo SVAT. Los análisis confirmaron la consistencia en el comportamiento de los índices de estrés hídrico de la vegetación y SMA en términos de sus medias, variabilidad espaciotemporal a niveles mensuales y anuales, y distribuciones anómalas. Los aspectos biofísicos de la evaluación de la sequía confirmaron la interacción complementaria y paralela de la evapotranspiración potencial (METREF) y la real (DMET) (de acuerdo con la hipótesis de Bouchet) para la región estudiada.

Además, Chavarría et al (2023) argumentan que, en el país el cambio climático incide en la disminución de las precipitaciones anuales en algunas áreas juntamente con concentración de dichas precipitaciones de lo cual, se esperan impactos económicos; por tanto, se hace menester en la producción agrícola un manejo de recurso hídrico de manera eficiente, eficaz, racional y en armonía con el ambiente. No obstante, el sector agrícola es el segundo mayor consumidor de agua. Lo anterior nos conlleva a la necesidad de aplicar el agua que realmente necesitan los cultivos sin desperdicio ni falta de dicho recurso y para lograr este objetivo se necesita medir el consumo.

Por su parte, Angella et al (2023) ponen de relieve que el manejo apropiado del riego requiere conocer el clima, el tipo de suelo, las necesidades de agua de los cultivos y la evolución del contenido de humedad del suelo. En este trabajo se utilizaron los índices NDVI, NDWI y MSAVI2. El índice NDVI o Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado, más conocido como índice verde, es un indicador del vigor de la vegetación para determinar cuándo regar, una de las metodologías es monitorear la evolución del agua en el suelo, lo cual puede hacerse de diversas formas como los basados en la teledetección activa o pasiva por microondas y los basados en la teledetección óptica (es decir, radiación de onda corta y radiación térmica). Las imágenes Sentinel-2, distribuidas por la Agencia Espacial Europea (ESA) son ampliamente utilizadas por ser de libre distribución y por su resolución espacial, temporal y espectral, por lo que se utilizan índices espectrales derivados de Sentinel para monitorear el estado hídrico de los cultivos. Esto los convierte en una opción muy interesante para el seguimiento de los cultivos, especialmente, en lotes agrícolas de la agricultura familiar (AF) de países como Uruguay, Argentina y Nicaragua. En esta corriente, Ruelas et al (2022) consideran que, la poca disponibilidad de agua observada en las presas del país mexicano hacen urgente adoptar nuevas estrategias para optimizar este recurso

en el sector agrícola, por lo que destaca que una estrategia es la optimización del riego mediante el cálculo de las necesidades hídricas analizando la relación entre la evapotranspiración de cultivo (ETc) y coeficiente del cultivo (Kc) en el cultivo del tomate en función del número de tallos, para el suministro el agua de riego a partir de un lisímetro de drenaje y el atmómetro para estimar la evapotranspiración de referencia (ETo). De esta forma, concluye que las mediciones diarias de transpiración en tomate con el lisímetro de drenaje permiten calcular el requerimiento hídrico de los cultivos, además, el atmómetro es una alternativa para estimar la ETo con fines de calendarización del riego en diferentes cultivos.

En este mismo particular, Corbari et al (2022) privilegia el hecho de entender que, la predicción de sequías es crucial, especialmente en lugares con un régimen de precipitaciones irregular y una agricultura basada principalmente en cultivos de regadío, como en los países mediterráneos como Italia (Chiese y Capitanata),, por tanto, plantea desarrollar un sistema de monitorización de sequías agrícolas basado en EO (ADMOS) para la gestión operativa de redes de riego a diferentes escalas espaciales y temporales a partir de identificar diferentes niveles de sequía mediante un indicador integrado que combina anomalías de la precipitación, la humedad del suelo, la temperatura superficial del terreno y los índices de vegetación, lo que permite considerar los diferentes tipos de sequías. Para el cálculo de cada anomalía se utilizan múltiples datos de teledetección, que difieren en técnicas de detección, resoluciones espaciales y temporales y frecuencias electromagnéticas.

De aquí también, Ortiz & Chile (2020) hace especial énfasis en la cuestión de que la estimación precisa de la evapotranspiración (ETo) de referencia permite obtener valores más reales sobre las necesidades hídricas de los cultivos, particularmente en el Valle de Tumbaco, ubicado en la provincia de Pichincha (Ecuador) utilizando información climatológica mensual de la estación La Tola para determinar ETo, a través de los métodos FAO56, Tanque evaporímetro, Thornthwaite modificado, Hargreaves, Jensen-Haise, Makkink, Priestley-Taylor, Turc y FAO Radiación, en que se ha indicado que el FAO56 es el más efectivo para determinar los índices de la evapotranspiración de referencia para afrontar las necesidades hídricas de los cultivos para el entorno agroecológico del Valle de Tumbaco.

Del mismo modo, Quiroz (2019) encuentra que las irrigaciones de la provincia de Arequipa tienen un manejo y prácticas inadecuadas con respecto a la cantidad de agua usada para irrigar los cultivos, se destaca también la ausencia de bases de datos apropiadas para los usuarios y licencias de agua en relación con lo que se cultiva. Por tanto, estima la evapotranspiración de referencia (ETo) a

mediante dos métodos el Penman-Monteith y la evapotranspiración actual mediante SEBAL procesada mediante GRASS GIS relacionó la información de los volúmenes estimados mediante SEBAL son más eficientes a relación de los calculados con Penman-Monteith.

Las situaciones identificadas a través de la revisión sistemática de la literatura acerca del uso del riego tecnificado y del impacto de los índices de vegetación puede observarse dentro de los aspectos característicos existe concordancia entre todos los autores antes mencionados sobre la cuestión de que es importante maximizar la eficiencia del agua sin comprometer el rendimiento de los cultivos en el sector de la agricultura a partir de la implementación de diversas técnicas de riego y del uso de herramientas basadas en tecnologías innovadoras que permite cuantificar valores numéricos de la salud del cultivo para abordar, entre otros, los problemas del consumo hídrico excesivo para la producción agrícola a la vez que enfrenta los desafíos manifiestos del impacto ambiental y condiciones climáticas actuales.

Conclusiones

En atención al objetivo general establecido en la presente revisión sistemática centrado en determinar el impacto de los índices de vegetación en la eficiencia del riesgo tecnificado, los resultados obtenidos, en primer lugar, relacionados con las investigaciones que abarcan la variable sobre la cuestión de riego tecnificado, como ya se indicó con anterioridad:

1. Se ha determinado a partir de los 08 estudios seleccionados de diversos países dentro de los últimos cinco años que la totalidad de los autores maneja la idea de que la implementación del riego tecnificado ya es imprescindible para regular el uso de los recursos hídricos para garantizar la producción agrícola más sostenible.
2. Se ha determinado partiendo de la literatura revisada que abarca 10 trabajos de investigación bajo el formato de artículos/tesis/informes/libros de diversas latitudes sobre los índices de vegetación en el ámbito de la eficiencia del riesgo tecnificado para el periodo 2019-2025, con más registros encontrados aluden al índice de evapotranspiración de referencia (Eto), seguido del índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI) y del Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI), así como del sistema de vigilancia de la sequía agrícola (ADMOS), los cuales bajo el apoyo de tecnologías digitales pueden ser indicadores sumamente significativos para la mejora de la gestión operativa de redes de riego de diferentes cultivos a diferentes escalas espaciales y temporales.

3. En síntesis, los resultados de la revisión sistemática de la literatura corroboran el impacto de los índices de vegetación en la eficiencia del riesgo tecnificado que, mediante la incorporación de tecnologías innovadoras destinadas al sector de la agricultura, permite el desarrollo de prácticas de cultivo sostenibles alineada a la situación ambiental actual.

Referencias

1. Angella, G., López, J., García, C., Urbina, L., Frías, C., Acevedo, C., y otros. (2023). Sistema de Asesoramiento al Regante (SAR). ¿Cuándo Regar y Cuánto Regar? Las Tecnologías de Información y Comunicación (TICs) Como Herramientas Para Fortalecer la Capacidad de la Toma de Decisiones de la Agricultura Familiar. FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria)/Banco Interamericano de Desarrollo (BID). https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/19037_-_Producto_4_.pdf, pp.36.
2. Behzadipour, F., Nejad Raeini, M., Abdanan Mehdizadeh, S., Taki, M., Khalili Moghadam, B., & Reza Zare Bavani, M. (2024). Optimizing water use efficiency in greenhouse cucumber cultivation: a comparative study of smart irrigation systems. PLOS One Journalls. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0311699>. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39432533/>.
3. Ben Gal, A., Barski, A., Bukris, O., Yasuor, H., O'Shaughnessy, S., Hansen, N., y otros. (2025). Dynamic approaches to precision irrigation of cotton. Springer Nature Link; Volume 26, article number 64, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-025-10261-1>.
4. Caamaño, C. (2024). Panel de expertos analiza el impacto de la tecnificación del riego en el desarrollo económico de la República Dominicana. 2do Panel de expertos organizado por Tecnificación Nacional de Riego (TNR). República Dominicana. <https://riego.gob.do/panel-de-expertos-analiza-el-impacto-de-la-tecnificacion-del-riego-en-el-desarrollo-economico-de-la-republica-dominicana/>.
5. Chavarría, A., Morales, M., & Soto, F. (2023). Evapotranspiración de referencia, evapotranspiración real y el coeficiente de cultivo para el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) c.v. Álvara promedio en invernadero. Tecnología en Marcha; Vol.36, Nro.3. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v36i3.6240>. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822023000300065.

6. Cházaro, E. (2024). Análisis de datos en las investigaciones cualitativas: El reto frente al investigador. Koinonía; Vol.9. No.17. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i17.3163>. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2542-30882024000100168.
7. Corbari, C., Paciolla, N., Restuccia, G., & Al Bitar, A. (2022). Multi-scale EO-based agricultural drought monitoring system for operative irrigation networks management. EGU (European Geosciences Union): Natural Hazards and Earth System Sciences. <https://doi.org/10.5194/nhess-2022-260>. <https://nhess.copernicus.org/preprints/nhess-2022-260/nhess-2022-260.pdf>, pp.1-33.
8. Cortes, V., & Vargas, M. (2020). Diseño e Implementación de un Sistema de Riego Automatizado y Monitoreo de Variables Ambientales Mediante Iot en los Cultivos Urbanos de la Fundación Mujeres Empresarias Marie Poussepin. Universidad Católica de Colombia. Bogotá. D.C. Trabajo de titulación. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5dbe9100-e30b-4c32-a627-a0492baa7f56/content>, pp.100.
9. Díaz San Andrés, A. (2019). Tema 8. Bioclimatología \ 8.3. Índices climáticos y bioclimáticos \ Índices de evapotranspiración, erosión potencial y bioclimáticos. <https://biogeografia.net/bioclimate03d.html>.
10. Díaz, A. (2019). Tema 8. Bioclimatología\ 8.3. Índices climáticos y bioclimáticos \ Índices de evapotranspiración, erosión potencial y bioclimáticos. Biogeografia. <https://biogeografia.net/bioclimate03d.html>.
11. Eisenhauer, D., Martin, D., Heeren, D., & Hoffman, G. (2021). Irrigation Systems Management . American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). DOI: 10.13031/ISM.2021. <https://asabe.org/portals/0/apubs/books/ism/irrigationsystemsmanagement.pdf>, pp.371.
12. FAO. (2023). El estado de la alimentación y la agricultura: Gestión integrada de los recursos hídricos. Conferencia 43.º Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/beed00a6-0caf-42f9-8fd9-fedc2a5cb19b/content>, pp.26.

13. González Sánchez, E., Gil Ribes, J., & Ordóñez Fernández, R. (2010). La Agricultura y el Cambio Climático. Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos (AEAC.SV). https://ecaf.org/wp-content/uploads/2021/02/Agricarbon_ficha1.pdf, pp.36.
14. Huaylla Limachi, L. (2019). Sistema de riego tecnificado. Instituto de Capacitación del Oriente (ICO). Vallegrande - Bolivia. https://ico-bo.org/wp-content/uploads/2019/09/Cartilla_Riego_Tecnificado_GAP_web.pdf, pp.26.
15. Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G., & Huisinigh, D. (2023). Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*; 9 (8): e18507. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e18507. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023057158>.
16. Kilemo, D. (2022). The Review of Water Use Efficiency and Water Productivity Metrics and Their Role in Sustainable Water Resources Management. *Open Access Library Journal*; Vol.9, No.1. DOI: 10.4236/oalib.1107075. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=114975>.
17. Kraus, S., Breier, M., & Dasí Rodriguez, S. (2020). The art of developing a systematic literature review in entrepreneurship research. *International Journal of Entrepreneurship and Management*; Vol.16. https://link-springer-com.translate.goog/article/10.1007/s11365-020-00635-4?error=cookies_not_supported&code=fe49afca-c4ad-437c-a6d0-1125de09dfca&_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_p, pp.1023-1042.
18. López, M., Ramirez, E., Rodríguez, H., Moreno, Y., Rocandio, M., & Segura, M. (2024). La importancia de los sistemas de riego para el uso eficiente del agua en la agricultura. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*; Vol. 8, Núm. 4. DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12587, pp.3507-3525.
19. Lykhovyd, P., Vozhehova, R., & Averchev, O. (2024). Using the remote sensing normalized difference vegetation index to identify irrigated croplands using the Agroland Classifier application. *Agroland. Visnyk de VN Karazin, Universidad Nacional de Járkov. Serie Geología. Geografía. Ecología*, (61). <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-61-18>. <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/25148>, pp.223-233.
20. Montero, F. (2020). Estimación de las diferencias entre un sistema de riego por goteo con lámina de agua de riego fija y por lámina de agua requerida según las condiciones climáticas

- en función de la huella hídrica, producción, indicadores financieros y condiciones de humedad. Tecnológico de Costa Rica, Cartago. Trabajo Final de Graduación. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12365/TFG_Federico_Montero_Ramirez.pdf?sequence=1&isAllowed=y, pp.110.
21. Ortiz, R., & Chile, M. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. *Siembra*, vol. 7, núm. 1, DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1450>.
<https://www.redalyc.org/journal/6538/653868372007/653868372007.pdf>, pp.1-15.
 22. Pronti, A., & Berbel, J. (2023). The impact of volumetric water tariffs in irrigated agriculture in Northern Italy. *Environmental Impact Assessment Review*; Volume 98, 106922. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106922>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925522001883>.
 23. Quiroz, J. (2019). Implementación de un Modelo Eficiente de Uso de Agua Destinado Para la Agricultura Basado en Sistemas de Información Geográfica en la Irrigación del Bajo Cural, Arequipa 2018. Universidad Católica de Santa María. Arequipa-Perú. Trabajo de titulación. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/9b10795e-3fc7-4d20-9457-addfde9e1207>, pp.254.
 24. Ramírez, N., Hinojosa, A., & Aguirre, A. (2014). Índices de vegetación: una herramienta para el monitoreo de esfuerzos de conservación. El caso del Bosque de Ciprés de la Isla Guadalupe. Tesis para: Maestría en Geociencias Ambientales con aplicación en sensores remotos y SIG. https://www.researchgate.net/publication/339799628_Indices_de_vegetacion_una_herramienta_para_el_monitoreo_de_esfuerzos_de_conservacion_El_caso_del_Bosque_de_Cipres.
 25. Revelo Luna, D., Megía Manzano, J., Montoya Bonilla, B., & Hoyos García, J. (2020). Análisis de los índices de vegetación NDVI, GNDVI y NDRE para la caracterización del cultivo de café (*Coffea arabica*). *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 38, núm. 2. Fundación Universidad del Norte. ISSN 0122-3461. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7889761>, pp. 298-312.
 26. Reyes, D., & Baldera, A. (2023). Evaluación de la implementación del sistema de riego tecnificado en el distrito de Cajatambo, provincia de Cajatambo-Lima. Universidad

- Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima. Perú. Trabajo de titulación. <https://upc.aws.openrepository.com/handle/10757/671935?locale-attribute=es>, pp.163.
27. Rios, C., Machaca, V., Morales, S., Hernández, D., & Angulo, A. (2025). Water stress analysis using NDWI Sentinel-2 images for the optimization of progressive harvest dates in blueberry (*Vaccinium corymbosum*) crops: A case study from the Peruvian district of Nuevo Chao in the La Libertad region. *Ing. Proc*; 83 (1), 27; <https://doi.org/10.3390/2025083027>. <https://www.mdpi.com/2673-4591/83/1/27>.
28. Ruelas, J., Rubiños, J., Peinado, L., Mendoza, C., Martínez, A., & Escoboza, I. (2022). Consumo de agua de tomate en invernadero en función del número de tallos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*; vol.13, No.spe28. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3269>. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342022001000137.
29. Sahin, H. (2024). A Cheap and Basic Solar-Powered Smart Irrigation System Proposal for Medium and Small-Scale Farming. *European Journal of Engineering and Tecnology Research*; Vol 9. Issue 3. DOI.10.24018/ejeng.2024.9.3.3174. <https://mail.ej-eng.org/index.php/ejeng/article/view/3174#title-8>.
30. SISSA. (2024). Descripción de Productos SISSA de Estimación del Estado de la Vegetación Derivados Con Datos Satelitales. Reporte Técnico CRS-SAS. Sistema de Información Sobre Sequías Para el Sur de Sudamérica (SISSA). <https://sisa.crc-sas.org/wp-content/uploads/2024/05/RT-Indices-de-vegetacion-corregido.pdf>, pp.41.
31. Stoyanova, J., Georgiev, C., & Neytchev, P. (2023). Drought Monitoring in Terms of Evapotranspiration Based on Satellite Data from Meteosat in Areas of Strong Land–Atmosphere Coupling. *Land, MDPI*, vol. 12(1), 240; <https://doi.org/10.3390/land12010240>. <https://www.mdpi.com/2073-445X/12/1/240>, pp.1-21.
32. Sumit, R., & Sitahbra, M. (2024). Water Management in Agriculture: Innovations for Efficient Irrigation. In book: *Modern Agronomy* (pp.169-185) Publisher: International Books & Periodical Supply Service. https://www.researchgate.net/publication/381867727_Water_Management_in_Agriculture_Innovations_for_Efficient_Irrigation, pp.169-185.

33. UNESCO. (2025). The United Nations World Water Development Report 2025, Mountains and glaciers: water towers. Paris, France: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Pág. 174.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000393070>.

© 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/>).