



Revisión sistemática sobre la aplicación de NDVI y otros índices espectrales en la agricultura de precisión para optimizar el uso del agua

Systematic review on the application of NDVI and other spectral indices in precision agriculture to optimize water use

Revisão sistemática sobre a aplicação do NDVI e outros índices espectrais na agricultura de precisão para otimizar o uso da água

Andres Israel Medina-Robayo ^I
aimedina@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-1804-3124>

Nuvia Aracelly Beltrán-Robayo ^{II}
nbeltran@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3335-576X>

Byron Alexander Tobar-Cuesta ^{III}
btobar@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-5368-2792>

Leonela Del Rocio De La A-Salinas ^{IV}
ldelaa@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0320-4397>

Correspondencia: aimedina@uagraria.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 12 de junio de 2025 * **Aceptado:** 29 de julio de 2025 * **Publicado:** 08 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

Este estudio tiene como objetivo realizar una revisión sistemática sobre la aplicación de NDVI y otros índices espectrales en la agricultura de precisión para optimizar el uso del agua. Por lo tanto, se examinan diversas bases de datos donde se accede a más de 32 documentos relacionados con la temática publicados entre 2019- 2025. Tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión establecidos se seleccionaron 15 registros de varios países. Los resultados obtenidos arrojan que en la agricultura de precisión el NDVI (índice diferencial de vegetación normalizado) es importante para estimar a través de imágenes satelitales la salud vegetal y optimizar el uso del agua, también el NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado) es útil para determinar el estado hídrico de los cultivos y planificar el riego inteligente. El empleo de tecnología como imágenes de banda multiespectral del satélite Landsat-8; satélite Synthetic Aperture Radar (SAR); drones, sensores y GPS, entre otros, son de gran apoyo para el avance de la agricultura de precisión en el Ecuador, diversos países de América Latina y del Caribe (ALC) y de otras regiones del mundo donde se emplean de manera más frecuente. Cabe concluir que de cara al futuro y debido a los efectos del cambio climático, principalmente evidenciados en fenómenos como la sequía que limita el acceso de agua para el riego efectivo de los cultivos, la agricultura de precisión debe posicionarse como una práctica sostenible debidamente apoyada en tecnologías avanzadas creadas para tal fin como se resalta en las investigaciones revisadas, en sinergia con el mandato de garantizar el derecho a la alimentación, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental mundial.

Palabras clave: Agricultura sostenible, índices de vegetación, riego inteligente.

Abstract

This study aims to conduct a systematic review on the application of NDVI and other spectral indices in precision agriculture to optimize water use. Therefore, various databases are examined, accessing more than 32 documents related to the subject published between 2019 and 2025. After applying the established inclusion and exclusion criteria, 15 records from several countries were selected. The results obtained show that in precision agriculture, the NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) is important for estimating plant health through satellite images and optimizing water use. The NDWI (Normalized Differential Water Index) is also useful for determining crop water status and planning smart irrigation. The use of technologies such as

multispectral band images from the Landsat-8 satellite; Synthetic Aperture Radar (SAR) satellite; Drones, sensors, and GPS, among others, are of great support to the advancement of precision agriculture in Ecuador, various countries in Latin America and the Caribbean (LAC), and other regions of the world where they are most frequently used. It can be concluded that, looking to the future, and due to the effects of climate change, primarily evidenced by phenomena such as drought, which limits access to water for effective crop irrigation, precision agriculture must position itself as a sustainable practice, duly supported by advanced technologies created for this purpose, as highlighted in the reviewed research, in synergy with the mandate to guarantee the right to food, food security, and global environmental sustainability.

Keywords: Sustainable agriculture, vegetation indices, smart irrigation.

Resumo

Este estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática sobre a aplicação do NDVI e de outros índices espectrais na agricultura de precisão para otimizar o uso da água. Para tal, são examinadas diversas bases de dados, acedendo-se a mais de 32 documentos relacionados com o tema publicados entre 2019 e 2025. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão estabelecidos, foram selecionados 15 registos de diversos países. Os resultados obtidos demonstram que, na agricultura de precisão, o NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) é importante para estimar a saúde das plantas através de imagens de satélite e otimizar o uso da água. O NDWI (Normalized Differential Water Index) é também útil para determinar o estado hídrico das culturas e planear a rega inteligente. A utilização de tecnologias como as imagens de banda multiespectral do satélite Landsat-8; satélite Radar de Abertura Sintética (SAR); drones, sensores e GPS, entre outros, são de grande apoio ao avanço da agricultura de precisão no Equador, em vários países da América Latina e Caraíbas (ALC) e noutras regiões do mundo onde são mais frequentemente utilizados. Conclui-se que, olhando para o futuro, e devido aos efeitos das alterações climáticas, evidenciados principalmente por fenómenos como a seca, que limita o acesso à água para a irrigação eficaz das culturas, a agricultura de precisão deve posicionar-se como uma prática sustentável, devidamente apoiada por tecnologias avançadas criadas para o efeito, como salientado na investigação revista, em sinergia com o mandato de garantir o direito à alimentação, a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental global.

Palavras-chave: Agricultura sustentável, índices de vegetação, rega inteligente.

Introducción

Históricamente, la producción agrícola mundial es una de las actividades más indispensable para la supervivencia que desarrollan grupos humanos en todas las sociedades y países, cualquiera sea su situación de desarrollo económico y orientaciones políticas para atender cuestiones prioritarias como las demandas cada vez más crecientes de alimento a fin de garantizar el derecho a la alimentación de sus pobladores en el tiempo presente y de las generaciones futuras, sin embargo, las prácticas poco sostenibles empleadas desde hace décadas por el sector de la agricultura han dejado su huella profunda en el entorno natural, particularmente en uso del agua dulce.

En el reporte del Banco Mundial (2022) se estima que actualmente, la agricultura representa en promedio el 70 % del agua dulce que se extrae en el mundo (y una proporción aún mayor del “uso consuntivo del agua”, debido a la evapotranspiración de los cultivos). Similarmente, Velazquez et al (2024) indica que la agricultura utiliza el 70% del agua dulce total, y el riego sustenta el 40% del suministro mundial de alimentos.

En coincidencia con estos argumentos en el texto de la Asociación Mundial Para el Agua (GWP por sus siglas en inglés), capítulo Centroamérica y la Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura (FAO) proyecta que, del recurso hídrico explotado, un 70% se utiliza en la producción de alimentos (GWP & FAO, 2013). El uso del agua en los sistemas agrícolas, se considera un uso consuntivo del agua ya que se extrae principalmente de ríos, lagos o aguas subterráneas y buena parte no regresa al sistema, sino que es consumida por los cultivos. Este tipo de agricultura de regadío es crucial para la producción mundial de alimentos (GWP & FAO, 2013). Todo este elevado gasto de agua en el sector de la agricultura indiscutiblemente ha sido determinante para alterar y modificar el equilibrio de los ecosistemas hídricos, agudizado además por la crisis climática que trae consigo fenómenos como la sequía que afectan invariablemente la producción y rendimiento de los cultivos agroalimentarios, a la vez que se debe conseguir garantizar el derecho a la alimentación de toda la población, dicho panorama está reclamando encontrar soluciones para una mejor gestión del agua de uso agrícola.

En este sentido, la agricultura de precisión se reconoce como un mecanismo para la reorientación de la producción agrícola compatible con el desarrollo sustentable, al respecto destacan Guzmán et al (2024) la agricultura de precisión es una práctica agrícola que utiliza tecnologías avanzadas, como sensores remotos, sistemas de riego inteligente y nanotecnología, para optimizar la gestión de los recursos naturales y aumentar la productividad agrícola. La adopción de técnicas de

agricultura de precisión mejora la salud del suelo, mantiene la calidad del agua y garantiza la seguridad ambiental, alimentaria y nutricional, así como el desarrollo económico local (Cortez et al., 2023).

El desarrollo tecnológico ofrece una gran contribución a la renovación de los sistemas agrícolas para la gestión sostenible del agua a lo largo del ciclo productivo de los alimentos, teniendo en cuenta dicha afirmación merece la pena señalar los argumentos de Ávila & Royero (2021) sobre el hecho de que las nuevas tecnologías emergentes como la agricultura de precisión aplicada al sector agrícola, representan una oportunidad para monitorear procesos fisiológicos. La Agricultura de Precisión es la industria que aprovecha las ventajas de los datos satelitales, por la precisión de los resultados y la alta frecuencia de adquisición (Villalba & Pineda, 2023).

Los beneficios de la agricultura de precisión son claros, ayuda a definir las propiedades y características del suelo para logara una productividad óptima, ayuda a resolver los problemas del uso adecuado de los recursos, los altos costos y el impacto medioambiental. Entre las características de la agricultura de precisión se encuentra el uso de diferentes tecnologías. Ríos, (2021). Según estos mismos autores algunas de las tecnologías modernas que se emplean en la Agricultura de Precisión comprenden las Imágenes de satélite; Maquinaria de conducción autónoma; Drones; Sensorización en parcelas; Mapeo del suelo; Sistemas de Información Geográfico (SIG) (Ríos, 2021).

A estos señalamientos se añade lo que refiere el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) acerca del hecho de que el desarrollo de los cultivos puede ser supervisado con imágenes satelitales la cual junto a la demanda ambiental permiten establecer el consumo hídrico (INIA, 2021). Las soluciones tecnológicas de precisión aplicadas a los sistemas agropecuarios de los países particularmente de América Latina y el Caribe (ALC) para el manejo del agua en dos escalas de trabajo, parcela y cuenca. Las principales herramientas tecnológicas son el análisis de imágenes satelitales, plataformas online (MapServer), sensores de campo, todo esto para disponer de información con alta resolución espacial y temporal en los sistemas productivos, transformando los sistemas de gestión tradicional del riego en sistemas de alta precisión, informados y con objeto de mejorar la eficiencia del uso del agua (INIA, 2021).

Un aspecto fundamental del uso de diferentes tecnologías en la agricultura de precisión es que ayudan a obtener datos de interés como los índices de vegetación como sobre variables importantes para la obtención de los productos agrícolas; entre ellos como subraya Mora (2025) se tiene la salud

de los cultivos, detectar estrés hídrico, deficiencias nutricionales y enfermedades en etapas tempranas. De acuerdo con la publicación del Sistema de Información Sobre Sequías Para el Sur de Sudamérica (SISSA) 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. Son imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales (SISSA, 2024). La aptitud de los índices de vegetación para evaluar el desarrollo de los cultivos y estimar su evapotranspiración (ETc) ha sido demostrada en investigaciones de teledetección satelital (INIA, 2021).

En particular, las Imágenes de satélite se basan en la utilización de imágenes que ponen de manifiesto las características de los cultivos en espectros no visibles para el ojo humano como lo es el infrarrojo. Con esta información se puede conocer el estrés hídrico de las plantas o el vigor de un cultivo. Las imágenes de los satélites se pueden visualizar con combinaciones de bandas o con índices espectrales (Ríos, 2021). A partir de la secuencia de imágenes satelitales es posible estimar la cantidad de vegetación desplegada por el cultivo y por tanto su capacidad para transpirar frente a la demanda del ambiente (INIA, 2021).

Dentro de las aplicaciones más acentuadas de las imágenes satelitales para agricultura se encuentra la obtención de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) también denominado índice de vigor y, especialmente cuando el índice verde se satura, se puede obtener el índice de clorofila (GNDVI) (Ríos, 2021).

Las imágenes satelitales como el NDVI, explota la reflexión energética de la vegetación en la franja del infrarrojo cercano en contraposición con la absorción de las plantas en la franja del rojo, y que aparecen en una gran multitud de visores gratuitos que acercan al agricultor este tipo de tecnologías de forma sencilla. El índice NDVI permite tener información sobre el contenido en clorofila, el contenido de agua de la hoja, la productividad neta, el índice de área foliar y aplicando el índice a la agricultura de precisión resalta la zona de mayor vegetación y la de los suelos desnudos o vegetación con estrés hídrico (Zúñiga, 2018).

La transformación del NDVI a un parámetro estratégico del riego como es el coeficiente de cultivo (Kc), que en conjunto con la demanda ambiental permite estimar el consumo hídrico de los cultivos, el cual debe ser repuesto a través del riego (INIA, 2021).

Aunque menos generalizado, otro tipo de índices como el Índice de Agua Diferencial Normalizada (NDWI o NDMI) que, con el mismo principio del NDVI compara la absorción del agua en la franja

del infrarrojo de onda corta y la reflexión energética en el infrarrojo cercano (Terrón & Domínguez, 2020). El índice NDWI maximiza la reflectancia del agua usando para ello la banda del Infrarrojo Cercano (IRC) y la absorción de la vegetación y de suelo adyacente en la banda de la banda Verde. Los valores bajos (negativos) están asociados a la vegetación y de suelo, mientras que los altos (positivos) a la vegetación fotosintéticamente activa por alto contenido de agua (Escribano, 2009). Además del NDWI o NDMI, existen otros los índices para conocer el contenido de agua del cultivo que permiten localizar zonas con estrés hídrico, como el TDVI (Temperature-Vegetation Dryness Index), que está relacionado con la variabilidad de la humedad del suelo (Luque, 2021).

De aquí, distintos estudios han identificado que se ha avanzado en los requerimientos de proporcionar un marco tecnológico para limitar las repercusiones negativas de la agricultura sobre los ecosistemas que están siendo degradados o se están utilizando de manera no sostenible por este sector, para asegurar la producción de los alimentos y avanzar en materia de seguridad alimentaria en todo el mundo y en particular el de los países más pobres, esto se puede lograrse integrando los principios de la agricultura de precisión para optimizar el uso del agua.

Según lo expuesto en los párrafos precedentes, la presente investigación tiene como objetivo general realizar una revisión sistemática sobre la aplicación de NDVI y otros índices espectrales en la agricultura de precisión para optimizar el uso del agua.

Metodología

El presente estudio se desarrolla bajo una investigación cualitativa con un enfoque de revisión bibliográfica sistemática definida según Velásquez (2014) como aquella que permite realizar la recolección, organización, evaluación y síntesis de la evidencia encontrada y disponible sobre un determinado fenómeno y mejorar las prácticas actuales o indicar nuevos direccionamientos en el tema de investigación.

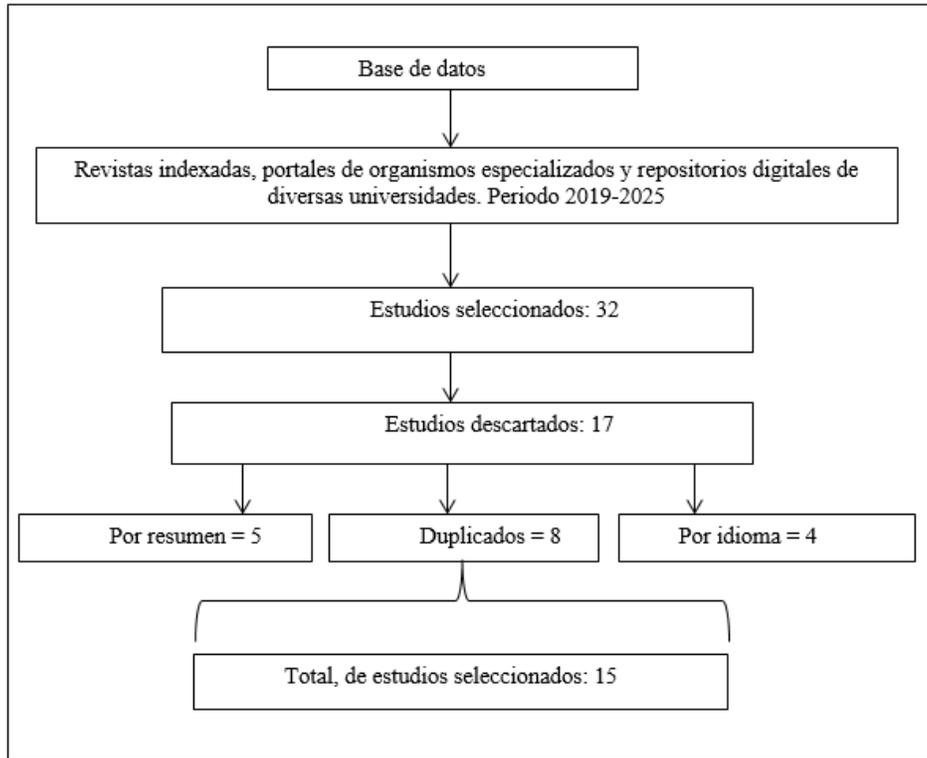
La recopilación de los registros se lleva a cabo vía Internet de fuentes de publicaciones de revistas indexadas, organismos especializados internacionales y repositorios digitales universitarios. Para la selección de los registros documentales se empleó criterios de inclusión y exclusión a fin de garantizar la pertinencia y actualidad de la información recopilada para su análisis posterior sobre la aplicación de NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y otros índices espectrales en la agricultura de precisión para optimizar el uso del agua.

Dentro de los criterios de inclusión se consideraron aspectos como pertinencia, relevancia, rigor metodológico y contribución al conocimiento sobre la materia, datos aportados en el resumen y acceso al texto completo, idiomas español e inglés y publicado en el periodo considerado desde el 2019-2025, por otro lado se excluyeron documentos de carácter no científico, publicaciones poco relevantes y pertinentes y que no guardarán relación directa con la temática abordada, con resúmenes poco claros de bajo impacto informativo, de idiomas distintos al español e inglés y que no se corresponden con el espacio de tiempo escogido para la revisión, igualmente se evitó trabajos duplicados.

La estrategia de búsqueda se realizó mediante palabras clave o términos combinados como “índice NDVI” “agricultura de precisión” “tecnología para optimizar la gestión agrícola” “optimizar el uso del agua del cultivo” or “NDVI index” “precision agriculture” “technology to optimize agricultural management” “optimizing crop water use” También se priorizó la incorporación de estudios con metodologías de revisión bibliográfica, aunque también se incorporan estudios cuantitativos con la finalidad de proporcionar una visión más general sobre el estado actual del conocimiento de la temática en estudio. En este estudio se estableció un total de 32 publicaciones, tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión la muestra de fuentes documentales quedó conformada por 15 estudios.

El análisis de la información recopilada se hizo mediante una síntesis temática, de acuerdo con Arnau & Sala (2020) se trata pues de localizar las aportaciones más relevantes (pasadas y actuales) sobre el tema de estudio, así como definir los principales conceptos y teorías que sirvan para fundamentar y comprender el problema y valorar cómo este encaja en un marco más general de investigación.

Figura 1. Desarrollo de la revisión sistemática de bibliografía



Nota: Elaboración propia

Resultados

En esta sección se presentan de forma organizada y estructurada la documentación recopilada, a tal fin se ha elaborado la Tabla 1, contentiva de elementos que incluyen el autor (es), año de la publicación, el enfoque metodológico empleado, el país de origen, el tipo o formato del estudio (artículo/informe/tesis/otros) y los resultados y/o conclusiones más relevantes. También se representa de forma gráfica la distribución de los registros según el país, enfoque y formato de la investigación tipo de estudio. Dicha información es la base sobre la cual se discuten los resultados y se extraen las conclusiones de la revisión.

Tabla 1. Artículos seleccionados en la revisión sistemática para el período seleccionado del 2019-2025

Nro.	Autor (es)/año	Enfoque	País/tipo de estudio	Resultados/conclusiones
1	Bermeo et al (2025)	Cuantitativa	Ecuador/Articulo	El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se ha convertido en una herramienta fundamental para el monitoreo y la gestión efectiva de los cultivos de cacao.
2	Mora (2025)	Investigación bibliográfica	Ecuador/Trabajo de titulación	Los drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV) permiten una detección temprana de problemas en los cultivos, optimización del riego, y una reducción significativa en el uso de agroquímicos, lo que mejora la sostenibilidad y rentabilidad de las operaciones agrícolas.
3	Parra et al (2025)	Revisión sistemática de la literatura	España/Articulo	La revisión concluye que estas tecnologías ofrecen un potencial significativo para mejorar las prácticas de gestión del agua, siendo la teledetección y la inteligencia artificial las más versátiles y ampliamente adoptadas. Las estrategias de riego eficiente parecen ser la aplicación más común en todas las tecnologías. Las soluciones digitales reducen significativamente el desperdicio de agua, ayudan a identificar los focos de contaminación y mejoran la gestión general de los recursos hídricos.

4	Saha et al (2025)	Cuantitativa	República Islámica, Irán/ Artículo	Utiliza imágenes de banda multispectral del satélite Landsat-8 de un terreno seleccionado para extraer índices que se utilizan en el análisis agrícola, determinando el índice de vegetación, el índice hídrico y el índice de salinidad de dicho terreno mediante K-means. La implementación de un algoritmo de lógica difusa optimizó significativamente el uso del agua en comparación con los métodos de riego manual tradicionales. Estos hallazgos resaltan la eficacia de las técnicas computacionales avanzadas para mejorar las prácticas agrícolas y la gestión de recursos.
5	Judith et al (2025)	Cuantitativo	Dubai/Artículo	Este estudio demuestra que el uso de datos del NDVI con una Red Neuronal Totalmente Conectada (FCNN) permite clasificar eficazmente la salud de los cultivos en categorías como sano, roya y otros factores de estrés. El modelo alcanzó una precisión general del 97,80 %. Destacando su gran capacidad para evaluar con precisión la salud de los cultivos a partir de datos espectrales.
6	Sánchez et al (2024)	Investigación bibliográfica	Ecuador/Artículo	En Ecuador, la agricultura de precisión, ha ganado relevancia en sectores como la floricultura, bananeras y empresas azucareras, donde se emplea para riegos

				automatizados, control de plagas y monitoreo de condiciones, mediante el uso estratégico de tecnologías como satélites, drones, sensores y GPS.
7	Laveglia et al (2024)	Revisión sistemática de la literatura	Italia/Articulo	Esta revisión destaca la importancia de acortar la distancia entre los sensores de monitoreo y la toma de decisiones en tiempo real, así como de mejorar los sistemas de procesamiento de imágenes y gestión de datos para alcanzar su máximo potencial en la gestión sostenible de cultivos.
8	Soussi et al (2024)	Revisión sistemática de la literatura	Italia/Articulo	Impulsar una transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles, eficientes e inteligentes, a la vez que fomenta la adopción y adaptación continua de nuevas tecnologías como sensores inteligentes, junto con tecnologías como el Internet de las Cosas (IdC), el análisis de big data y la Inteligencia Artificial (IA) para la optimización de la gestión de cultivos, el uso racional de los recursos y la promoción de la sostenibilidad en el sector agrícola.
9	Angella et al (2023)	Cuantitativo	INTA de Argentina; INTA de Nicaragua e INIA de Uruguay/ Informe	Para la estimación del índice NDWI mediante los satélites SAR (Synthetic Aperture Radar, por sus siglas en inglés) de los cultivos considerados, la combinación de sensores

				remotos con tecnologías de riego inteligente y modelos de aprendizaje automático proporciona una plataforma integral para una programación del riego más precisa y eficiente, contribuyendo a la sostenibilidad y optimización de los recursos hídricos en la agricultura.
10	Kumar et al (2023)	Revisión de la literatura	India/Articulo	Las herramientas de teledetección e índice de vegetación espectral (índice de vegetación de diferencia normalizada -NDVI y otros) son importantes para respaldar la gestión de cultivos y la toma de decisiones en diferentes etapas de crecimiento de los cultivos en la producción de cultivos de precisión, que van desde la preparación del campo, el clima, el manejo de plagas de insectos, el manejo del estrés biótico y abiótico y el monitoreo de la salud de los cultivos durante la temporada hasta la cosecha.
11	Radočaj et al (2023)	Revisión sistemática de la literatura	Croacia/Articulo	El NDVI se determinó como el índice de vegetación dominante en la agricultura de precisión según los artículos científicos indexados en WoSCC en las últimas dos décadas. Con la existencia de índices de vegetación que mejoraron las deficiencias del NDVI, como el índice de vegetación mejorado (EVI) y el índice de vegetación

				ajustado al suelo (SAVI), este estudio reconoció su potencial para permitir resultados superiores a los del NDVI en estudios futuros.
12	Vidican et al (2023)	Revisión sistemática de la literatura	Rumania/Articulo	El uso eficaz de los indicadores de rendimiento (IV) para la discriminación y el monitoreo de los cultivos agrícolas más importantes (trigo, maíz, girasol, soja, colza, papa y cultivos forrajeros), pastizales y praderas. Algunos de los VI más utilizados incluyen: EVI, LAI, NDVI, GNDVI, PSRI y SAVI. Si bien los resultados de estos estudios son satisfactorios (en algunos cultivos, utilizando ciertos índices, se registró una precisión de hasta el 90 %)
13	Balbontín et al (2022)	Cuantitativo	Chile, Argentina, Colombia y Uruguay/Informe	La implementación a escala de parcela (intrapredial) y cuenca (extrapredial) de pilotos altamente tecnificados permitió mediante el análisis de imágenes satelitales determinar las necesidades hídricas en diferentes cultivos representativos de los países co-ejecutores del proyecto.
14	Piedad et al (2020)	Revisión documental	México/Articulo	El estado del arte permitió identificar el índice de vegetación NDVI es el más utilizado para ayudar en el monitoreo de la vegetación

				en la Agricultura de Precisión (AP)
15	Vite et al (2019)	Cuantitativa	Ecuador/Articulo	La imagen final SENTINEL del área de estudio permitió obtener el cálculo del NDVI, para tomar decisiones de cómo distribuir adecuadamente los recursos asignados para los cultivos

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se proporciona una visión general de los principales estudios incluidos en la revisión sistemática relacionados con la aplicación de NDVI y otros índices espectrales en la agricultura de precisión para optimizar el uso del agua en diferentes cultivos en diversos países del mundo, además del tipo de formato del estudio y del enfoque metodológico empleado en cada investigación.

Como se observa en los resultados, el NDVI juega un papel importante en la predicción de variables para evaluar la salud y densidad de la vegetación a partir de imágenes de satélite, de esta manera Bermeo et al (2025) aborda el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) como una herramienta fundamental para el monitoreo y la gestión efectiva de los cultivos particularmente del cacao; también Judith et al (2025) demuestra que el uso de datos del NDVI con una Red Neuronal Totalmente Conectada (FCNN) permite clasificar eficazmente la salud de los cultivos en categorías como sano, roya y otros factores de estrés.

Asimismo, Kumar et al (2023) plantea que las herramientas de teledetección e índice de vegetación espectral (índice de vegetación de diferencia normalizada -NDVI y otros) son importantes para respaldar la gestión de cultivos y la toma de decisiones en diferentes etapas de crecimiento de los cultivos en la producción de cultivos de precisión. Igualmente, Radočaj et al (2023) en su estudio reconoció el NDVI se determinó como el índice de vegetación dominante en la agricultura de precisión, además se plantea el potencial superior de la existencia de índices de vegetación que mejoraron las deficiencias del NDVI, como el índice de vegetación mejorado (EVI) y el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI).

En el mismo orden, Vidican et al (2023) afirma que algunos de los indicadores de rendimiento (VI) para la discriminación y el monitoreo de los cultivos agrícolas más importantes (trigo, maíz, girasol, soja, colza, papa y cultivos forrajeros), pastizales y praderas más utilizados incluyen: EVI, LAI, NDVI, GNDVI, PSRI y SAVI. Si bien los resultados de estos estudios son satisfactorios (en algunos cultivos, utilizando ciertos índices, se registró una precisión de hasta el 90%); Piedad et al (2020) identifica el índice de vegetación NDVI como el más utilizado para ayudar en el monitoreo de la vegetación en la Agricultura de Precisión (AP). De igual forma, Vite et al (2019) subraya que el cálculo del NDVI mediante la imagen satelital (SENTINEL) permitió tomar decisiones de cómo distribuir adecuadamente los recursos asignados para los cultivos.

Otro estudio, Angella et al (2023) en un proyecto para varios países de América Latina y el Caribe-ALC (Argentina, Nicaragua y Uruguay) específicamente contemplan el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) mediante los satélites SAR (Synthetic Aperture Radar, por sus siglas en inglés) de los cultivos con tecnologías de riego inteligente contribuyendo a la sostenibilidad y optimización de los recursos hídricos en la agricultura.

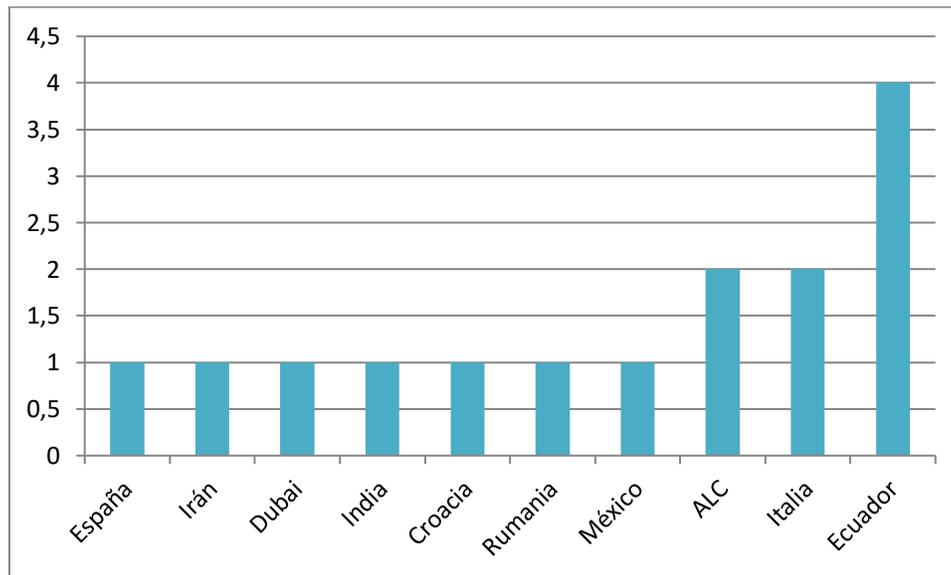
Mientras que publicaciones mencionadas en líneas más arriba orientan su información a las herramientas tecnológicas para apoyar el desarrollo de la agricultura de precisión orientado, al respecto, Mora (2025) considera en su investigación al desarrollo tecnológico de los drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV) para una detección temprana de problemas en los cultivos, optimización del riego, y una reducción significativa en el uso de agroquímicos, lo que mejora la sostenibilidad y rentabilidad de las operaciones agrícolas; Parra et al (2025) considera la teledetección y la inteligencia artificial como las más versátiles y ampliamente adoptadas como las soluciones digitales para reducir significativamente el desperdicio de agua, ayudan a identificar los focos de contaminación y mejoran la gestión general de los recursos hídricos.

En la misma línea, Saha et al (2025) resalta la eficacia del uso de imágenes de banda multiespectral del satélite Landsat-8 para extraer índices que se utilizan en el análisis agrícola, determinando el índice de vegetación, el índice hídrico y el índice de salinidad; Sánchez et al (2024) precisan que en Ecuador, la agricultura de precisión, ha ganado relevancia en sectores como la floricultura, bananeras y empresas azucareras, donde se emplea para riegos automatizados, control de plagas y monitoreo de condiciones, mediante el uso estratégico de tecnologías como satélites, drones, sensores y GPS; Laveglia et al (2024) destaca la importancia de los sensores de monitoreo de

procesamiento de imágenes y gestión de datos para alcanzar su máximo potencial en la gestión sostenible de cultivos.

En el mismo marco, Soussi et al (2024) plantea la adopción y adaptación continua de nuevas tecnologías como sensores inteligentes, junto con tecnologías como el Internet de las Cosas (IdC), el análisis de big data y la Inteligencia Artificial (IA) para la optimización de la gestión de cultivos, el uso racional de los recursos y la promoción de la sostenibilidad en el sector agrícola y; Balbontín et al (2022) mencionan la importancia de las imágenes satelitales determinar las necesidades hídricas en diferentes cultivos representativos de los países co-ejecutores del proyecto (Chile, Argentina, Colombia y Uruguay).

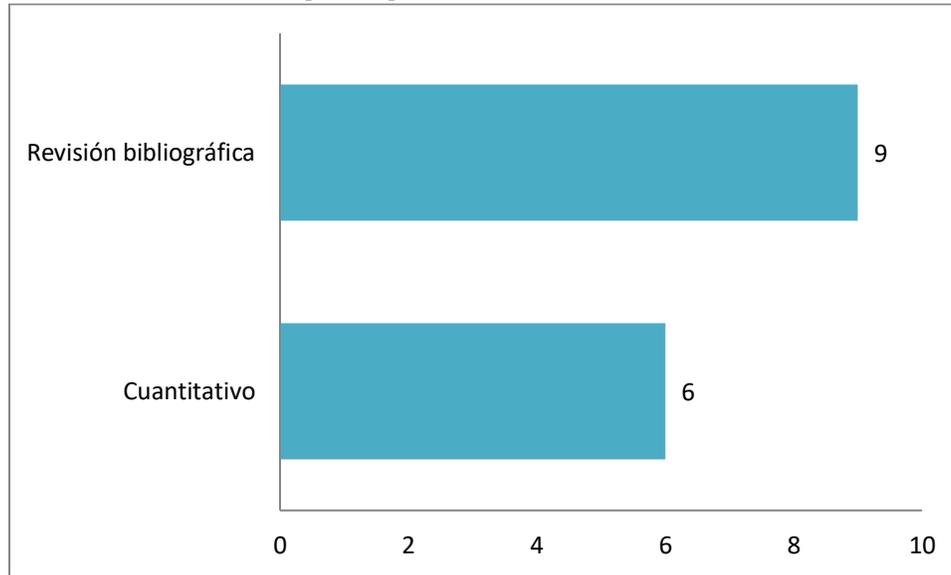
Figura 2. Distribución del número de publicaciones en diferentes países o regiones para el período seleccionado del 2019-2025



Nota. Fuente: Elaboración propia

En la figura 2 se describe el número de publicaciones en diferentes países del mundo relacionada con la aplicación de NDVI y otros índices espectrales en la agricultura de precisión para optimizar el uso del agua, como se muestra la distribución del número de registros del Ecuador se presenta 04 estudios; de Italia se tienen 02; de informes conjuntos de países de América Latina y el Caribe (ALC) se destacan 02 trabajos; y diferentes países como España, Irán, Dubai, India, Croacia, Rumania y México con 01 publicaciones.

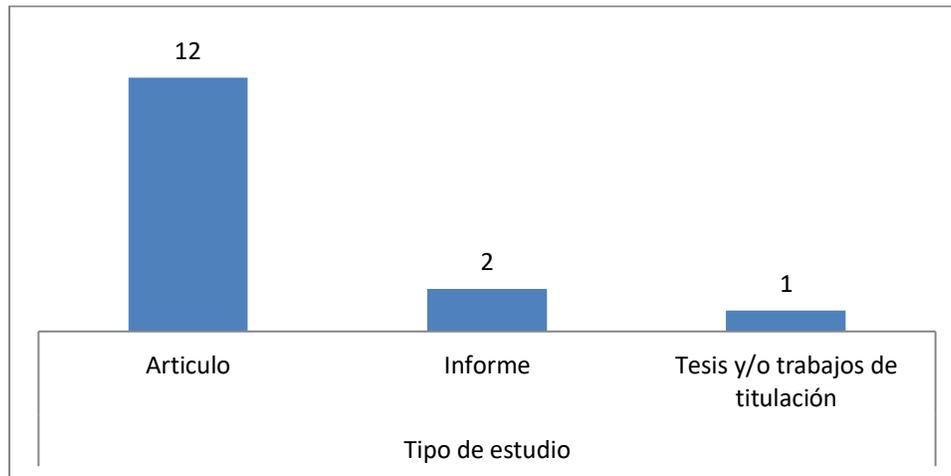
Figura 3. Distribución según enfoque metodológico del número de publicaciones de revisión sistemática de la literatura para el período seleccionado del 2019-2025



Nota. Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 se presenta el número de publicaciones seleccionadas para la revisión sistemática de la literatura según el enfoque metodológico empleado, lo que resulta en 06 estudios de naturaleza cuantitativa entre los cuales se encuentran los autores Bermeo et al (2025); Saha et al (2025); Judith et al (2025); Angella et al (2023); Balbontín et al (2022) y Vite et al (2019) y 09 de índole de revisión bibliográfica como Mora (2025); Parra et al (2025); Sánchez et al (2024); Laveglia et al (2024); Soussi et al (2024); Kumar et al (2023); Radočaj et al (2023); Vidican et al (2023) y Piedad et al (2020).

Figura 4. Distribución del número de publicaciones según tipo o formato de estudio para el período seleccionado del 2019-2025



Nota. Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se presenta la distribución de según tipo o formato de estudio para el período seleccionado del 2019-2025 en particular se destaca con el recuento del mayor número de registros bajo el formato de artículos 12 trabajos; seguido de 02 informes del Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO) y por último 01 trabajo de titulación universitaria.

Discusión

Los resultados de la revisión de la literatura seleccionada destacan en un total de 07 publicaciones el potencial de NDVI y otros índices espectrales en los estudios que incluyen los autores que siguen: Bermeo et al (2025); Judith et al (2025); Kumar et al (2023); Radočaj et al (2023); Vidican et al (2023); Piedad et al (2020) y Vite et al (2019).

Asimismo, en concreto, se ubicó 01 estudio de los autores Angella et al (2023) que estima el análisis del índice NDWI mediante los satélites SAR (Synthetic Aperture Radar, por sus siglas en inglés) para el riego inteligente de los cultivos considerados en el estudio.

Igualmente, se ilustran 07 publicaciones que presentan la tecnología que facilita el monitoreo de los indicadores vitales para la salud de los cultivos y la gestión de los recursos esenciales para operaciones de campo en la agricultura de precisión, de este modo, Mora (2025) hace hincapié en el uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV) para optimización del riego entre otros; Parra et al (2025) pone de relieve la teledetección y la inteligencia artificial para mejorar las prácticas de gestión del agua; Saha et al (2025) resalta el uso de imágenes de banda multiespectral

del satélite Landsat-8 para el análisis del índice hídrico, entre otros; Sánchez et al (2024) destacan el potencial del uso estratégico de tecnologías como satélites, drones, sensores y GPS en la agricultura de precisión para el monitoreo de condiciones del terreno para cultivos en sectores como la floricultura, bananeras y empresas azucareras en Ecuador; Laveglia et al (2024) fomentan el uso de los sensores de monitoreo y procesamiento de imágenes y gestión de datos en el manejo sostenible de cultivos; también Soussi et al (2024) menciona las tecnologías como sensores inteligentes, junto con tecnologías como el Internet de las Cosas (IdC), el análisis de big data y la Inteligencia Artificial (IA) para la optimización de la gestión de cultivos; Balbontín et al (2022) perfila el análisis de imágenes satelitales para determinar las necesidades hídricas en diferentes cultivos.

Estos datos ayudan a dimensionar mejor el índice de vegetación como el NDVI y otros índices espectrales en la agricultura de precisión para optimizar el uso del agua en diversos cultivos. A la vez que describen las herramientas de teledetección que se utilizan hoy en día en distintas localidades del mundo en el sector agrícola, las cuales permiten predecir con precisión el potencial de recursos hídricos y de esta forma poder coordinar, desarrollar, promover y robustecer la agricultura sostenible para la obtención de productos agroalimentarios para satisfacer las demandas de alimentos de todas las personas a nivel local, regional y nacional, garantizar el derecho a la alimentación y la soberanía alimentaria de las poblaciones a lo largo del planeta.

Conclusiones

El presente trabajo se centró en realizar una revisión sistemática sobre la aplicación de NDVI y otros índices espectrales en la agricultura de precisión para optimizar el uso del agua, de esta manera los artículos/informes/trabajos de titulación analizados fomentan la implementación de las actividades de la agricultura de precisión en el escenario de la integración de distintas herramientas tecnológicas para la obtención de imágenes satelitales del terreno de cultivo como apoyo de gestión de los recursos hídricos, entre otras variables, necesarias para llevar a cabo prácticas agrícolas con el fin de prevenir el déficit productos alimenticios para el beneficio de toda la colectividad a lo largo de los diferentes países del mundo.

La aportación sobre la aplicación de NDVI y otros índices espectrales en la agricultura de precisión para optimizar el uso del agua y otras variables de interés en esta revisión, queda reflejada en los trabajos de los autores Bermeo et al (2025); Judith et al (2025); Kumar et al (2023); Radočaj et al

(2023); Vidican et al (2023); Piedad et al (2020) y Vite et al (2019). Primordialmente la producción literaria de autores (Angella, y otros, 2023) estima el análisis del índice NDWI a través de imágenes satelitales derivadas del satélite Synthetic Aperture Radar (SAR) para el riego inteligente de los cultivos.

El empleo de la tecnología digital bajo diversas aplicaciones como poderoso instrumento de orientación de la dinámica de las prácticas agrícolas bajo los postulados de la agricultura de precisión se consigue bajo la autoría de Mora (2025) quien hace hincapié en el uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV); Parra et al (2025) pone de relieve la teledetección y la inteligencia artificial; Saha et al (2025) resalta el uso de imágenes de banda multiespectral del satélite Landsat-8; Sánchez et al (2024) destacan el potencial de los satélites, drones, sensores y GPS; Laveglia et al (2024) plantea el uso de los sensores de monitoreo y procesamiento de imágenes; Soussi et al (2024) destacan las tecnologías como sensores inteligentes, junto con tecnologías como el Internet de las Cosas (IdC), el análisis de big data y la Inteligencia Artificial (IA) y; Balbontín et al (2022) resaltan las bondades de las imágenes satelitales para determinar las necesidades hídricas en diferentes cultivos.

Los textos seleccionados en esta revisión con objeto de evaluar la temática más ampliamente provienen de revistas indexadas, organismos especializados y repositorios de universidades de diversos países, dentro de los que se han señalado en los párrafos precedentes 04 estudios del Ecuador; 02 de otros países de ALC; 02 de Italia y con 01 publicaciones España, Irán, Dubai, India, Croacia, Rumania y México.

Durante la realización de la revisión se tomó en consideración el enfoque metodológico empleado encontrando que con 09 estudios se distingue a la metodología que se corresponde con revisiones bibliográficas y 06 fueron de índole cuantitativa. Asimismo, se contempló el tipo o formato del estudio determinando en función de ello 12 artículos científicos, 02 informes del Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO) y 01 trabajo de titulación universitaria correspondientes al periodo de consulta 2019-2025 seleccionado.

De cara al futuro y debido a los efectos del cambio climático, principalmente evidenciados en fenómenos como la sequía que limita el acceso de agua para el riego efectivo de los cultivos, la agricultura de precisión debe posicionarse como una práctica sostenible debidamente apoyada en tecnologías avanzadas creadas para tal fin como se resalta en las investigaciones revisadas, en

sinergia con el mandato de garantizar el derecho a la alimentación, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental mundial.

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). https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/19037_-_Producto_4_.pdf, pp.36.
2. Arnau, L., & Sala, J. (2020). La revisión de la literatura científica: Pautas, procedimientos y criterios de calidad. Universitat Autònoma de Barcelona-España. https://ddd.uab.cat/pub/recdoc/2020/222109/revliltcie_a2020.pdf, pp.22.
3. Ávila, E., & Royero, B. (2021). Utilización de Series Temporales de Índices Espectrales Basados en Teledetección Para el Monitoreo de Cultivos de Tomate Solanum Lycopersicum. CIGeo. Tercer Congreso en Ingeniería Geomática Valencia. España. DOI: <https://dx.doi.org/10.4995/CiGeo2021.2021.12696>. <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/0356eacd-db7e-4f2d-a5c8-e46cc986bfda/content>, pp.224-230.
4. Balbontín, C., Bavestrello, C., & Wallberg, B. (2022). Proyecto Plataforma de gestión del agua en la agricultura 2030, ATN_RF17950-RG. FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria). [https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/17950_-_Producto_13_\(Apr\)1.pdf](https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/17950_-_Producto_13_(Apr)1.pdf), pp.65.
5. Banco Mundial. (2022). Riego resiliente frente al clima. <https://www.bancomundial.org/es/topic/climate-resilient-irrigation>.
6. Bermeo, O., Dávila, W., & Guevara, V. (2025). Aplicación de SIG en análisis de NDVI para cultivos de cacao con precisión geográfica. ALFA. Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias; Volumen 9, Número 26. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.350>, pp. 331 - 349.
7. Cortez Núñez, J., Zepeda Mondragón, F., García Reyna, M., & Mendoza González, D. (2023). Propuesta para el monitoreo del cultivo de maíz basado en sensores remotos.

- Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(3): e3810.
<https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3810>, pp.1-11.
8. Escribano Velasco, P. (2009). Integración de Técnicas Espectrales para la Detección y Cuantificación de Tipos de Cubierta en Ecosistemas Áridos. Universidad de Almería - España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=222658>.
 9. Guzmán, J., Matuz, M., Arana, J., & López, E. (2024). Avances y perspectivas de la agricultura de precisión para la sostenibilidad agrícola. XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan; 12(24). DOI:10.29057/xikua.v12i24.12790. https://www.researchgate.net/publication/382045723_Avances_y_perspectivas_de_la_agricultura_de_precision_para_la_sostenibilidad_agricola, pp.1-6.
 10. GWP & FAO. (2013). Tecnologías Para el Uso Sostenible del Agua: Una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático. Global Water Partnership Central América/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Tegucigalpa, Honduras, https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/Tecnologias_para_el_uso_sostenible_del_agua.pdf, pp.70.
 11. INIA. (2021). Monitoreo satelital de la agricultura para la optimización el uso del agua de riego. INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile. <https://digital.fontagro.org/wp-content/uploads/2021/05/17950-poster2021ES.pdf>, pp.1-1.
 12. Judith, J., Tamilselvi, R., Parisa Beham, M., Sathiya Pandiya, S., Panthakkan, A., Al Mansoori, S., y otros. (2025). Remote Sensing Based Crop Health Classification Using NDVI and Fully Connected Neural Networks. arXiv:2504.10522 [eess.IV]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.10522>.
 13. Kumar Kumawat, R., Tiwari, G., Shiv Ramakrishnan, R., & Bhayal, D. (2023). Remote sensing tools and their spectral indices: applications for crop management in precision agriculture. International Journal of Environment and Climate Change; Volumen 13 , Número 1, DOI: 10.9734/IJECC/2023/v13i11665. <https://www.sdiarticle5.com/historia-de-revision/96488>, pp.171-188.
 14. Laveglia, S., Altieri, G., Genovese, F., Matera, A., & Di Renzo, G. (2024). Advances in Sustainable Crop Management: Integrating Precision Agriculture and Proximal Sensing. AgriEngineering; (6). <https://doi.org/10.3390/agriengineering6030177>.

- <https://iris.unibas.it/retrieve/7905696f-be1e-43ee-a82f-1b9ed1478792/agriengineering-06-00177.pdf>, pp.3084–3120.
15. Luque Romero, J. (2021). Teledetección y agricultura de precisión, herramientas para mejorar la sostenibilidad. Vida Rural Solutions. <https://www.agronegocios.es/vida-rural-solutions/teledeteccion-y-agricultura-de-precision-para-mejorar-la-sostenibilidad/>.
 16. Mora, A. (2025). Implementación de drones con cámaras multiespectrales para optimizar el monitoreo y manejo de cultivos. Universidad Técnica de Babahoyo. Los Ríos – Ecuador. Trabajo de Titulación. <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/18044/E-UTB-FACIAG-AGRON-000212.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, pp.41.
 17. Parra López, C., Ben Abdallah, S., Garcia Garcia, G., Hassoun, A., Trollman, H., Jagtap, S., y otros. (2025). Digital technologies for water use and management in agriculture: Recent applications and future outlook. *Agricultural Water Management*; Volume 309, 109347. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109347>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377425000617>.
 18. Piedad Rubio, A., Hernández López, D., Lárraga Altamirano, H., & Zacarías González, E. (2020). Teledetección en la Agricultura de Precisión: Estado del Arte de los Índices de Vegetación. *TECTZAPIC. Revista de divulgación científica y tecnológica/ Vol. 6 No. 2/ Ciudad Valles, S.L.P. México/*, pp.46-58.
 19. Radočaj, D., Šiljeg, A., Marinović, R., & Jurišić, M. (2023). Status of major vegetation indices in precision agriculture studies indexed in Web of Science: a review. *Agriculture*; 13 (3), 707; <https://doi.org/10.3390/agriculture13030707>. <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/3/707>.
 20. Ríos, R. (2021). La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. *Revista Ingeniería Agrícola*, vol. 11, núm. 1, e10. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586269368010/586269368010.pdf>, pp.67-74.
 21. Saha, G., Shahrin, F., Khan, F., Meshkat, M., & Azad, A. (2025). Smart IoT-driven precision agriculture: Land mapping, crop prediction, and irrigation system. *PLoS ONE* 20(3): e0319268. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0319268>. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0319268>.
 22. Sánchez, L., Torres, S., Terán, G., Martínez, F., & Lascano, A. (2024). Agricultura de Precisión en el Ecuador. *Ciencia Latina Internacional*; Vol.8, Núm. 1. DOI:

- https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9547.
- <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/9547/14138>.
23. SISSA. (2024). Descripción de Productos SISSA de Estimación del Estado de la Vegetación Derivados Con Datos Satelitales. Sistema de Información Sobre Sequías Para el Sur de Sudamérica (SISSA). <https://sissa.crc-sas.org/wp-content/uploads/2024/05/RT-Indices-de-vegetacion-correcto.pdf>, pp.41.
 24. Soussi, A., Zero, E., Sacile, R., Trincherro, D., & Fossa, M. (2024). Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. *Sensors (Basel)*;24(8):2647. doi: 10.3390/s24082647. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11053448/>.
 25. Terrón, J., & Domínguez, F. (2020). Capítulo II. Conceptos de Agricultura de Precisión. Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)/Programa INTERREG V-A España-Portugal (POCTEP)/Proyecto INNOACE. https://www.researchgate.net/profile/Jose-Maria-Terron/publication/350754788_CONCEPTOS_DE_AGRICULTURA_DE_PRECISION_Separata_del_Capitulo_II_del_1, pp.20.
 26. Velásquez, J. (2014). Una guía corta para escribir revisiones sistemáticas de literatura parte 2. DYNA, Universidad Nacional de Colombia, 81. <http://orcid.org/0000-0003-3043-3037>.
 27. Velazquez Chavez, L., Deccache, A., Mohamed, A., & Centritto, M. (2024). Plant-based and remote sensing for water status monitoring of orchard crops: Systematic review and meta-analysis. *Agricultural Water Management*; Volume 303, 10905. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109051>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037837742400386X>.
 28. Vidican, R., Mălinaș, A., Ranta, O., Moldovan, C., Marian, O., Ghețe, A., y otros. (2023). Using Remote Sensing Vegetation Indices for the Discrimination and Monitoring of Agricultural Crops: A Critical Review. Preprints (www.preprints.org). doi:10.20944/preprints202311.0934.v1, pp.1-26.
 29. Villalba, R., & Pineda, J. (2023). Calculo de índices de vegetación, NDVI, SAVI, EVI, NDWI con Landsat 8 de los Distritos Misiones e Itapuá, cercanas al Embalse de Yacyretá, Paraguay. <https://rpubs.com/Paraguay/1006360>.
 30. Vite Ceballos, H., Vargas Collaguazo, L., & Vargas Collaguazo, J. (2019). Uso de índices espectrales en la agricultura de precisión: caso de estudio campus de la Facultad Técnica

de Machala. Alternativas; 19(1). DOI: 10.23878/alternativas.v19i1.195.
https://www.researchgate.net/publication/333861379_Uso_de_indices_espectrales_en_la_agricultura_de_precision_caso_de_estudio_campus_de_la_Facultad_Tecnica_de_Machala.

31. Zúñiga López, J. (2018). Aplicación de Sensores Remotos Para Análisis del Estado Vegetativo del Cultivo de Palma de Aceite Por Medio del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y Firmas Espectrales Mediante Fotografías Aéreas. Universidad Militar Nueva Granada. Bogota D.C. Trabajo de Especialización. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/f70c9253-2408-4697-838d-b2e1c26ae15e/content>, pp.1-16.

© 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/>).