



Rivar

REVISTA IBEROAMERICANA DE
VITICULTURA, AGROINDUSTRIA
Y RURALIDAD

Editada por el Instituto
de Estudios Avanzados de la
Universidad de Santiago de Chile

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN: TENDENCIAS Y DIRECCIONES FUTURAS

Artificial Intelligence in Precision Agriculture:
Trends and Future Directions
*Inteligência artificial na agricultura de
precisão: Tendências e direções futuras*

Volumen 12, número 37, 251-267, octubre 2025

ISSN 0719-4994

Artículo de investigación
<https://doi.org/10.35588/mwfnb13>

Recibido

15 de julio de 2025

Aceptado

27 de agosto 2025

Publicado

24 de septiembre de 2025

El presente estudio fue financiado por el Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo para la Sustentabilidad (CIIDES S.A.S. BIC).

Cómo citar

Patiño Perdomo, O.F., Balanta Martínez, V.J., Patiño Perdomo, W.A., Pinto Lopera, J.E. y Sánchez Orozco, P.A. (2025). Inteligencia artificial en la agricultura de precisión: Tendencias y direcciones futuras. *RIVAR*, 12(37), 251-267.
<https://doi.org/10.35588/mwfnb13>

Oscar Fabian Patiño Perdomo

Universidad de la Amazonia y Centro de Investigación,
Innovación y Desarrollo para la Sustentabilidad
Florencia, Colombia

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6433-0402>
o.patino@udla.edu.co

Víctor Julio Balanta Martínez

Universidad de la Amazonia
Florencia, Colombia

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8875-3282>
v.balanta@udla.edu.co

Wilmer Arley Patiño Perdomo

Universidad de la Amazonia
Florencia, Colombia

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4338-6543>
w.patino@udla.edu.co

Jesús Emilio Pinto Lopera

Universidad de la Amazonia
Florencia, Colombia

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4441-0469>
jes.pinto@udla.edu.co

Paula Andrea Sánchez Orozco

Universidad de la Amazonia
Florencia, Colombia

ORCID <https://orcid.org/0009-0001-5794-2950>
paulaa.sanchez@udla.edu.co

ABSTRACT

The present study aimed to perform a bibliometric mapping to identify trends and future directions of artificial intelligence in precision agriculture. A systematic review was applied using the PRISMA protocol and scientometrics, using databases such as Scopus and Web of Science by combined search with thematic and temporal filters. A total of 479 articles were analyzed between 2019 and 2024, processed with Bibliometrix and VOSviewer packages, allowing the establishment of co-occurrence networks, thematic maps and temporal evolution of concepts. Demonstrating a sustained growth in scientific production, with a predominance of technologically developed countries. Two main thematic clusters were identified: a technical-computational cluster focused on advanced algorithms such as machine learning and deep learning, and another focused on agronomic applications such as yield prediction, crop monitoring and sustainable agriculture. Challenges such as the digital divide, high technology adoption costs and limited training in rural areas are also evident. In this sense, AI emerges as a transformative axis of PA whose impact requires inclusive, gradual and contextualized implementation strategies. However, there is a lack of an integrated vision that identifies emerging lines of research and application of AI from a perspective of sustainability and technological equity.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo realizar un mapeo bibliométrico para identificar las tendencias y direcciones futuras de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión. Se aplicó una revisión sistemática mediante el protocolo PRISMA y la ciencia métrica, utilizando bases como Scopus y Web of Science mediante búsqueda combinada con filtros temáticos y temporales. Se analizaron 479 artículos entre 2019 y 2024, procesados con los paquetes Bibliometrix y VOSviewer, permitiendo establecer redes de co-ocurrencia, mapas temáticos y evolución temporal de los conceptos. Demostrando un crecimiento sostenido en la producción científica, con predominancia de países tecnológicamente desarrollados. Se identificaron dos clústeres temáticos principales: uno técnico-computacional enfocado en algoritmos avanzados como machine learning y deep learning, y otro centrado en aplicaciones agronómicas como predicción de rendimiento, monitoreo de cultivos y agricultura sostenible. Asimismo, se evidencian desafíos como la brecha digital, los altos costos de adopción tecnológica y la limitada formación en zonas rurales. En este sentido, la inteligencia artificial emerge como eje transformador de la agricultura de precisión cuyo impacto requiere estrategias de implementación inclusivas, graduales y contextualizadas. Sin embargo, falta una visión integrada que identifique líneas de investigación emergentes y aplicación de la inteligencia artificial desde una perspectiva de sostenibilidad y equidad tecnológica.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo realizar um mapeamento bibliométrico para identificar tendências e direções futuras da inteligência artificial na agricultura de precisão. Uma revisão sistemática foi aplicada usando o protocolo PRISMA e a cienciometria, usando bancos de dados como Scopus e Web of Science por meio de uma pesquisa combinada com filtros temáticos e temporais. Foram analisados 479 artigos entre 2019 e 2024, processados com os pacotes Bibliometrix e VOSviewer, o que nos permitiu estabelecer redes de co-ocorrência, mapas temáticos e evolução temporal dos conceitos. Demonstrando um crescimento sustentado da produção científica, com predominância de países tecnologicamente desenvolvidos. Foram identificados dois clusters temáticos principais: um cluster técnico-computacional focado em algoritmos avançados, como aprendizado de máquina e aprendizado profundo, e outro focado em aplicações agrônomicas, como previsão de rendimento, monitoramento de culturas e agricultura sustentável. Desafios como a exclusão digital, os altos custos de adoção de tecnologia e o treinamento limitado em áreas rurais também são evidentes. Nesse sentido, a inteligência artificial surge como um eixo transformador da agricultura de precisão, cujo impacto exige estratégias de implementação inclusivas, graduais e contextualizadas. No entanto, falta uma visão integrada que identifique as linhas emergentes de pesquisa e aplicação da inteligência artificial a partir de uma perspectiva de sustentabilidade e equidade tecnológica.

KEYWORDS

Precision agriculture, artificial intelligence, agricultural sustainability, technology adoption.

PALABRAS CLAVE

Agricultura de precisión, inteligencia artificial, sostenibilidad agrícola, adopción tecnológica.

PALAVRAS-CHAVE

Agricultura de precisão, inteligência artificial, sustentabilidade agrícola, adoção de tecnologia.

Introducción

Desde sus orígenes, la agricultura ha sido una actividad fundamental para el desarrollo de las civilizaciones, evolucionando desde prácticas rudimentarias hasta convertirse en un sector estratégico para la seguridad alimentaria, el desarrollo rural y el crecimiento económico global. En las últimas décadas, los desafíos vinculados al cambio climático, la degradación de los recursos naturales y la creciente demanda de alimentos han impulsado la transformación del modelo agrícola tradicional hacia uno más eficiente, sostenible e inteligente (Ferreira et al., 2020). En dicho contexto, la innovación tecnológica ha cobrado especial relevancia dando paso a la agricultura de precisión, una modalidad que combina herramientas digitales y analíticas para optimizar el uso de insumos y mejorar la productividad. Entre estas tecnologías, la inteligencia artificial ha emergido como un componente para fortalecer la toma de decisiones y responder a los retos contemporáneos del sector agroalimentario (FAO, 2023b). Así, en la presente investigación, la inteligencia artificial se delimita a técnicas específicas aplicadas en la agricultura de precisión, como el aprendizaje automático, las redes neuronales, la visión por computadora y los modelos predictivos; estas herramientas permiten procesar datos masivos para optimizar decisiones agronómicas como la detección temprana de enfermedades, el monitoreo de cultivos, la predicción de rendimientos y la automatización de tareas constituyéndose en los enfoques más recurrentes y relevantes dentro de la producción científica analizada.

Considerando que la producción agrícola se ha visto afectada por el cambio climático, la degradación del suelo, el uso ineficiente de insumos, la escasez de agua, la presión demográfica, la pérdida de biodiversidad y la contaminación ambiental; estos factores producen una disminución de los rendimientos, aumento de los costos de producción, inseguridad alimentaria y deterioro de los ecosistemas (Ferreira et al., 2020). Asimismo, el Banco Mundial (2023) reconoce que los sistemas de agricultura tradicionales contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero y al agotamiento de recursos naturales agravando la pobreza rural y la vulnerabilidad alimentaria. Es por ello por lo que la Agricultura de Precisión (AP) se presenta como una alternativa tecnológica y sostenible que permite la gestión eficiente y localizada de los recursos mediante la optimización del uso de agua, fertilizantes y pesticidas reduciendo los costos y mitigando el impacto ambiental (Kim y Lee, 2022).

La agricultura de precisión es un enfoque de gestión agrícola que utiliza tecnologías avanzadas y análisis de datos para observar, medir y responder a la variabilidad intraparcelsaria con el fin de optimizar el rendimiento de los cultivos y mejorar la eficiencia en el uso de recursos promoviendo la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental. Este modelo integra sensores inteligentes, sistemas de información geográfica (SIG), el Internet de las Cosas (IoT), el aprendizaje automático y el análisis de grandes volúmenes de datos (big data) para apoyar la toma de decisiones relacionadas con el riego, la fertilización, el control de plagas y otras prácticas agrícolas (Prakash et al., 2024). Según Majumder et al. (2019) tiene como principal característica la gestión de los recursos dentro de las parcelas e incluso de plantas individualmente, gracias al monitoreo de las condiciones agroambientales que facilitan las intervenciones según la necesidad.

En este sentido, Prakash et al. (2024) y Majumder et al. (2019) coinciden en que esta perspectiva representa una transformación sustancial respecto a la agricultura convencional, al basarse en la recopilación, procesamiento e interpretación de datos en tiempo real para au-

mentar la productividad y la sostenibilidad del sector. La agricultura de precisión representa una alternativa innovadora ante los retos actuales del sector agrícola al ofrecer herramientas que mejoran la toma de decisiones con base en datos incrementando la eficiencia productiva, la sostenibilidad y la resiliencia frente al cambio climático (Gyarmati y Mizik, 2020). Sin embargo, su adopción enfrenta barreras significativas como la brecha digital, los altos costos iniciales y la limitada capacitación técnica en zonas rurales. Frente a este panorama, organismos como la FAO y el Banco Mundial proponen fortalecer las políticas públicas, invertir en infraestructura digital y promover programas de formación que faciliten la apropiación tecnológica en contextos vulnerables (FAO, 2023a; FAO y Banco Mundial, 2021).

La necesidad de adoptar la agricultura de precisión se sustenta frente a la eficiencia laboral en la implementación de tecnologías como la inteligencia artificial, la robótica y los sistemas automatizados ya que permite reducir la dependencia de mano de obra, optimizar tareas repetitivas y disminuir costos operativos. Estudios recientes reportan reducciones de hasta un 40% en los gastos laborales y aumentos del 35% en la eficiencia operativa (Padhiary y Hoque, 2024; Stock et al., 2024). De igual forma, los rendimientos agrícolas se ven influenciados por la integración de sensores, sistemas de monitoreo y herramientas de análisis de datos posibilita una gestión precisa y localizada de insumos como el agua, fertilizantes y pesticidas. Esta precisión técnica se traduce en incrementos de productividad que oscilan entre el 5% y el 15%, junto con una mejora sustancial en la calidad de los cultivos y una reducción significativa del impacto ambiental (Neményi y Nyéki, 2022). Se debe mencionar, que la agricultura de precisión incide en los procesos de toma de decisiones debido a que soportada con la big data, aprendizaje automático y análisis predictivo; se puede anticipar a eventos climáticos o biológicos adversos, optimizar el uso de recursos y actuar de forma proactiva ante condiciones cambiantes (Padhiary y Hoque, 2024).

El uso de tecnologías avanzadas en la agricultura de precisión permite la aplicación específica y eficiente de insumos lo que contribuye a la reducción de costos y al aumento de los rendimientos sin comprometer la sostenibilidad ambiental (Sadowski et al., 2024). Bajo esta lógica, las investigaciones evidencian que la adopción de estas tecnologías puede incrementar la productividad hasta en un 20 % al optimizar el uso de recursos como fertilizantes, agua y pesticidas, y al disminuir las pérdidas asociadas a un manejo ineficiente (Bostanova et al., 2024). En consecuencia, la inteligencia artificial juega un papel fundamental en facilitar el procesamiento de grandes volúmenes de datos, lo cual mejora la eficiencia operativa y fortaleciendo la estabilidad y resiliencia de los rendimientos frente a variaciones climáticas y del mercado (Yost et al., 2017). Asimismo, la agricultura de precisión contribuye a la competitividad del sector respondiendo a las demandas del mercado actual sobre productos con menor huella ambiental. No obstante, el acceso a estas tecnologías se ve condicionado por el capital que disponga las comunidades u organizaciones que deseen adoptar estos sistemas (Sadowski et al., 2024).

De ahí que la articulación de la agricultura de precisión y inteligencia artificial pueden transformar radicalmente el panorama agrícola incidiendo en la productividad del sector. Por consiguiente, Yost et al. (2017) resalta la necesidad de identificar el impacto y la relevancia de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión desde su contribución a la mejora de la eficiencia laboral, los rendimientos agrícolas y el proceso de toma de decisiones en la industria agrícola. Lo anterior, evidencia el insuficiente estado de la cuestión de la temática, por lo cual, desde una revisión sistemática mediante la aplicación de técnicas de biblio-

metría se proporciona una base epistémica sobre las tendencias en este campo de estudio (Yang y Wang, 2023). Por la situación expuesta, se planteó como objetivo del estudio realizar una revisión bibliométrica que estableció un mapeo investigativo para identificar las tendencias y direcciones futuras de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión. Para ello, se empleó una revisión sistemática bajo el protocolo PRISMA y la ciencia métrica con análisis cuantitativo de la producción científica indexada en Scopus y Web of Science entre 2019 y 2024 utilizando herramientas especializadas como Bibliometrix y VOSviewer para la visualización y exploración estructural de los datos.

Métodos

Este estudio tiene como propósito analizar las tendencias y direcciones de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión mediante un mapeo investigativo a partir del uso de técnicas de bibliometría y la aplicación del protocolo PRISMA para las revisiones sistemáticas y metaanálisis. Su fundamentación epistémica se basa en Hernández y Mendoza (2020) en ser un estudio no experimental con enfoque mixto, de alcance exploratorio y descriptivo desde un método no probabilístico; determinando como unidad de análisis los documentos que cumplieron con los criterios de selección para su análisis de contenido.

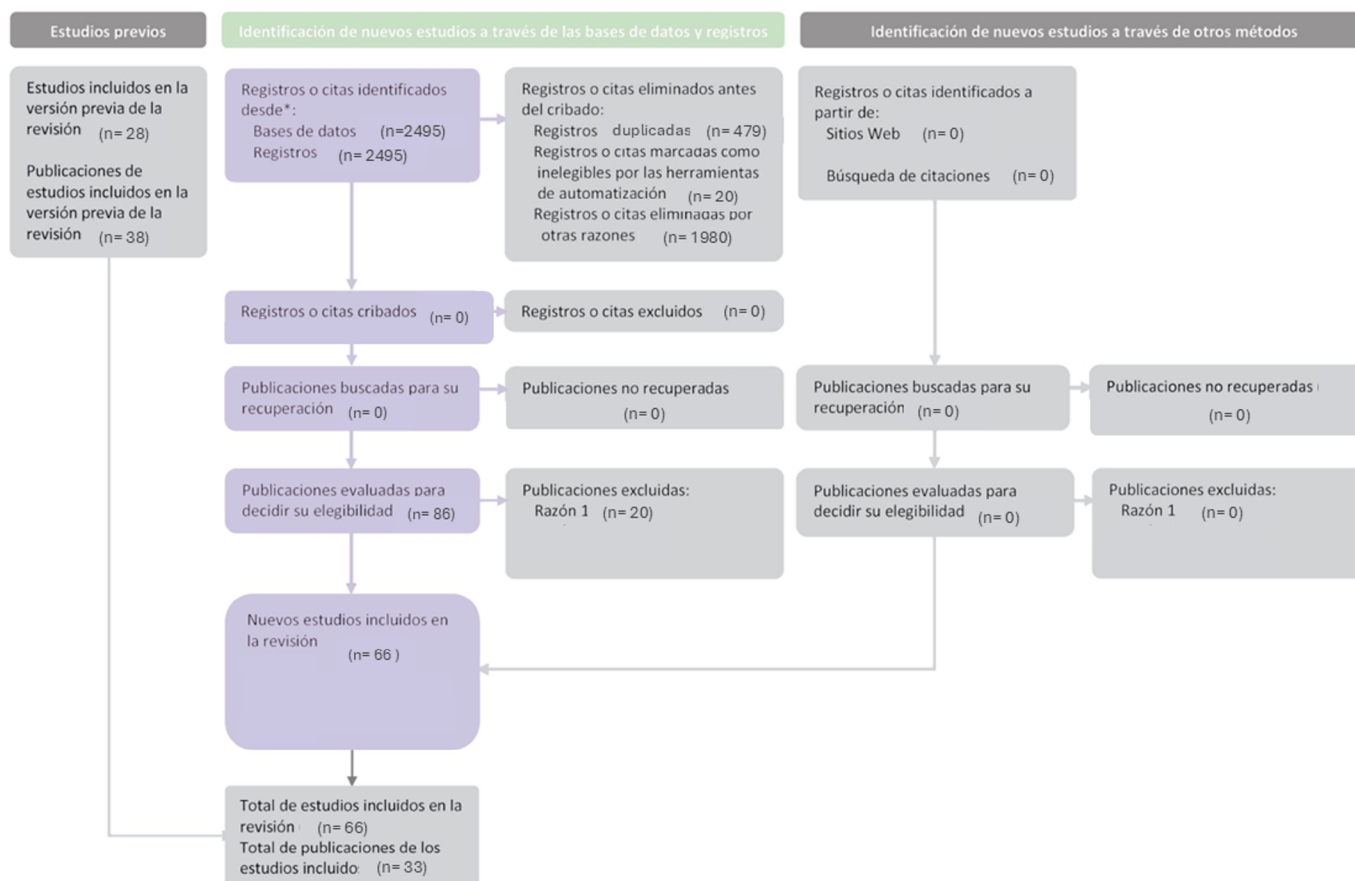
La revisión bibliométrica se sustenta en los estudios de Aria y Cuccurullo (2017) que introduce el paquete bibliometrix como una herramienta para el análisis cuantitativo de la producción científica permitiendo una evaluación estructural de la temática. En este sentido, Donthu et al. (2021) proporciona un enfoque sistémico para la aplicación de los métodos bibliométricos para la visualización de los datos estableciendo criterios de calidad y replicabilidad. Van Eck y Waltman (2014) contribuyen al desarrollo del VOSviewer y su interfaz para la visualización de las redes de co-ocurrencia. Por lo anterior, Chen (2006) evidencia que los análisis dinámicos de la literatura mediante los diferentes paquetes permiten identificar las tendencias emergentes y estructuras cognitivas en los campos de conocimientos.

Inicialmente, se estableció la ecuación de búsqueda: ("Precision Agriculture" OR "Precision agriculture technology" OR "Digital farming" OR "Advanced agronomy") AND ("Artificial Intelligence" OR "Machine Learning" OR "Neural Networks" OR "Deep Learning") AND (Sensors OR Detectors OR Probes OR Receivers) para la base de datos Scopus y Web of Science. Se obtuvo una amplia gama de resultados debido a la relevancia de los temas en la actualidad. Luego de establecer previamente los criterios de selección, se realizó una evaluación exhaustiva de los 1576 de Scopus y 883 de Web of Science para un total de 2459 publicaciones para determinar su pertinencia con respecto a las preguntas de investigación planteadas sobre la influencia de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión como ¿cuál es el estado actual de la investigación sobre la aplicación de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión y cuáles son las tendencias y las deficiencias identificadas en este campo? Cabe mencionar que se excluyeron de forma manual los artículos duplicados y aquellos que dentro del título y resumen no evidenciaron los referentes teóricos relacionados con el tema en estudio. Se identificaron en total 2259 artículos, ante esta cantidad de información, se optó por realizar una delimitación en la ecuación de búsqueda, se aplicaron filtros que incluyeron un rango de publicación entre 2019 y 2024, de las cuales en Scopus se analizaron 303 y en Web of Science 328 con disponibilidad de acceso abierto y la pertinencia con el área temática de Ciencias Agrícolas y Biológicas donde se obtuvo una muestra de 479 artículos producto de la sustracción de 152 artículos duplicados.

De igual forma, mediante el protocolo PRISMA se recopiló la información sobre la temática, con base en los criterios determinados. Así, su principal objetivo es sintetizar, críticamente, cuál es el estado de los estudios alrededor de un tema con el objetivo de comunicar de manera clara y comprensible los resultados del proceso de selección de documentos específicos sobre inteligencia artificial en la agricultura de precisión, se elaborará un diagrama de flujo (Figura 1) siguiendo las directrices establecidas en la declaración PRISMA donde se analizó el contenido de las publicaciones cumpliendo con el protocolo. Este proceso de selección por etapas fue esencial para garantizar que los estudios incluidos fueran pertinentes y relevantes para la pesquisa.

Figura 1. Diagrama de Flujo Evaluación de Calidad

Figure 1. Quality Assessment Flowchart

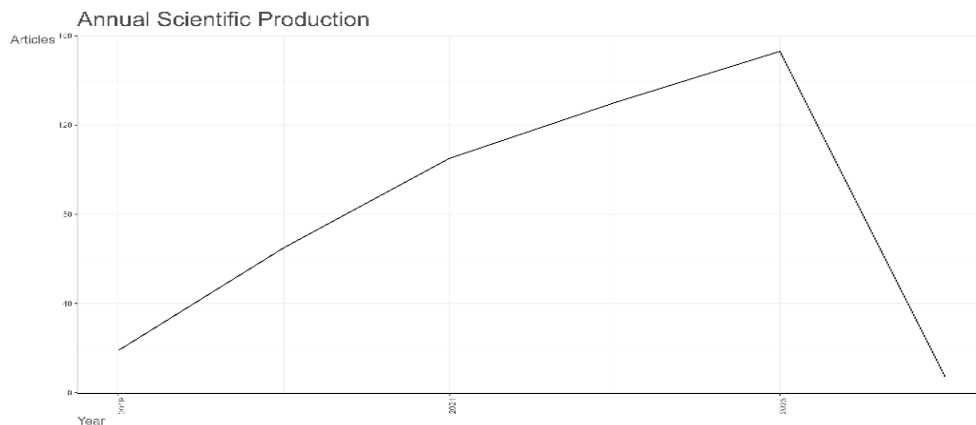


Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

Resultados y discusión

El análisis de la producción anual (Figura 2) presenta la evolución del número de artículos científicos publicados anualmente entre 2019 y 2024 evidenciando una tendencia creciente en la producción científica desde 2019, año en el que se registraron aproximadamente 28 publicaciones, hasta alcanzar un pico en 2023 con alrededor de 154 artículos. Esta trayectoria ascendente refleja un periodo sostenido de incremento en la productividad académica posiblemente vinculado a una mayor inversión en investigación, fortalecimiento institucional o colaboración académica.

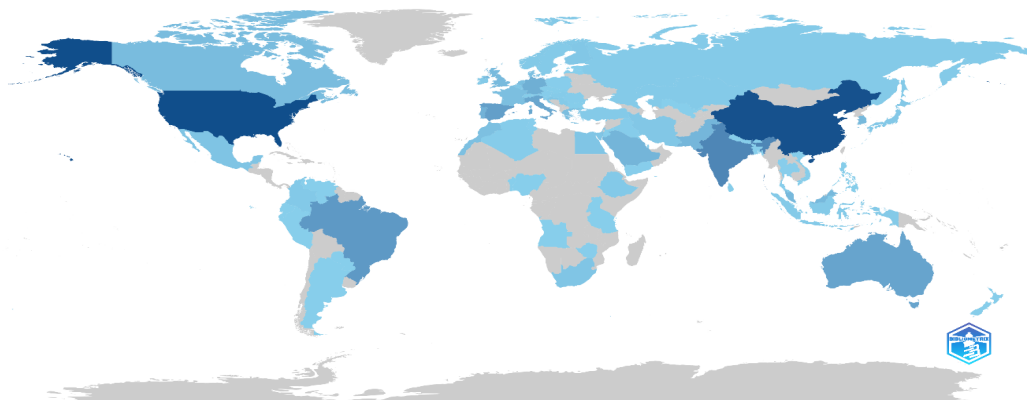
Figura 2. Producción anual
Figure 2. Annual production



Fuente: elaboración propia en Paquete Bibliometrix. Source: own elaboration in Bibliometrix Package.

Asimismo, se observa en la Figura 3 que países como Estados Unidos, China, India, Reino Unido, Alemania y Brasil se destacan por su alta productividad científica revelando una concentración significativa de publicaciones en economías desarrolladas y emergentes con fuerte inversión en ciencia, tecnología e innovación. Por el contrario, gran parte de África, Centroamérica y algunas regiones de Asia Central presentan una baja o nula participación.

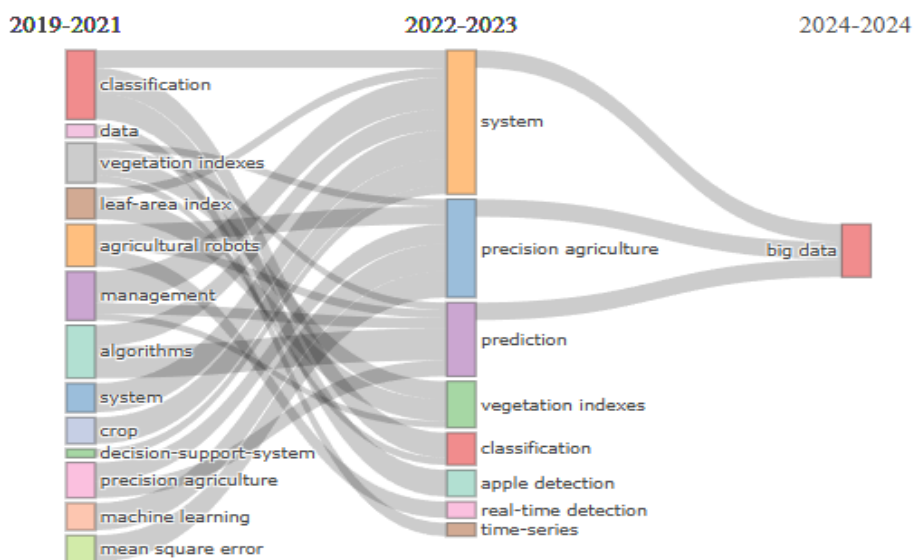
Figura 3. Publicación por países
Figure 3. Publication by country



Fuente: elaboración propia en Paquete Bibliometrix. Source: own elaboration in Bibliometrix Package.

Durante el primer periodo (2019 al 2021), se evidenció que las investigaciones se centraron en el desarrollo de herramientas técnicas basadas en inteligencia artificial y robótica destacando términos como classification, algorithms, agricultural robots, machine learning y decision-support-system reflejando el interés por crear sistemas automatizados de recolección y análisis de datos agrícolas con énfasis en métricas como vegetation indexes y mean square error (Vasconez et al., 2020; Bock et al., 2020). Entre los autores más representativos de este periodo se encuentran A. Mohapatra, A. Khanna, J. Rodrigues y B. Keswani, cuyas contribuciones abordaron soluciones IoT para agricultura inteligente, reconocimiento de patrones visuales en cultivos y modelos de predicción basados en sensores (Keswani et al., 2019; Goel et al., 2021).

Figura 4. Diagrama de Sankey de los términos
Figure 4. Sankey diagram of the terms



Fuente: elaboración propia en Paquete Bibliometrix. Source: own elaboration in Bibliometrix Package.

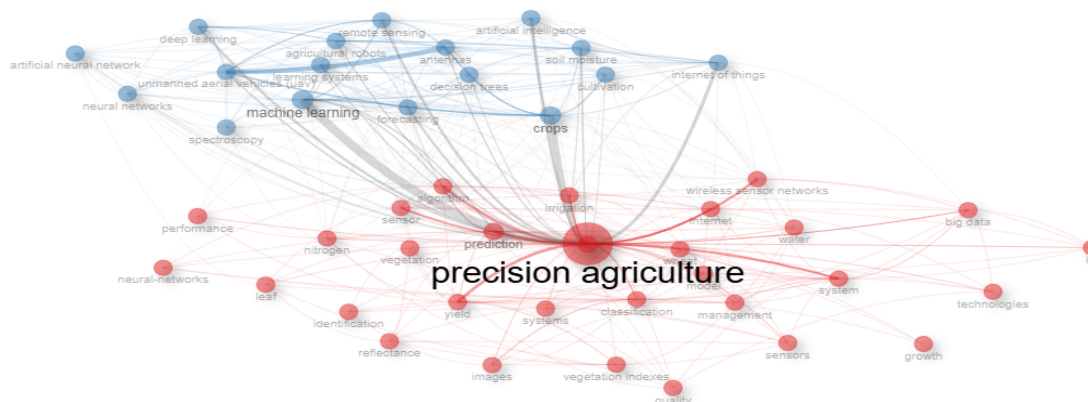
En el segundo periodo (Figura 4) se evidencia un giro hacia temas como precisión agricultura, prediction, apple detection y real-time detection. La literatura se enfoca en validar estas tecnologías en condiciones reales de campo mediante sensores visuales y plataformas de detección automática. Autores como Y. Zhang, X. Liu, Z. Chen, X. Wang y J. Verrelst lideran este periodo con investigaciones centradas en el uso de UAVs, visión por computadora y aprendizaje profundo para detección de frutos, predicción de rendimiento y clasificación de estados fenológicos (Ubina y Cheng, 2022). Para el último periodo se muestra un giro hacia enfoques integradores que vinculan agricultura de precisión con big data, en respuesta a la necesidad de escalar las soluciones tecnológicas desarrolladas. Se destacan conceptos como sistemas de agricultura inteligente sostenibles, adopción tecnológica, y análisis de grandes volúmenes de datos para decisiones agronómicas (Huo et al., 2024; Rozenstein et

al., 2024). Los principales autores de esta etapa (S. Rutter, D. Huo, J. Lowenberg-DeBoer, C. Stumpe, J. Leukel y T. Zimpel) abordan temas críticos como barreras a la adopción digital, análisis predictivo a gran escala y sostenibilidad.

En este sentido, el mapa de co-ocurrencia (Figura 5) evidencia una estructura semántica centralizada en la *precision agriculture* actuando como nodo articulador de una red interdisciplinaria. Se distinguen dos clústeres temáticos predominantes: uno técnico-computacional (azul), donde destacan términos como *machine learning*, *artificial intelligence*, *neural networks*, *deep learning* y *decision trees*, que reflejan el creciente uso de algoritmos avanzados para el análisis de datos agrícolas; y otro (rojo) orientado a aplicaciones prácticas, incluyendo conceptos como *prediction*, *classification*, *vegetation indexes*, *yield*, *sensors*, *wireless sensor networks*, *big data* e *IoT*, asociados a la recolección, procesamiento y uso eficiente de datos en entornos agrícolas; por lo cual, se presenta la agricultura de precisión como un eje estratégico para la innovación, sostenibilidad y optimización de los sistemas agroproductivos.

Figura 5. Mapa de co-ocurrencia

Figure 5. Co-occurrence map

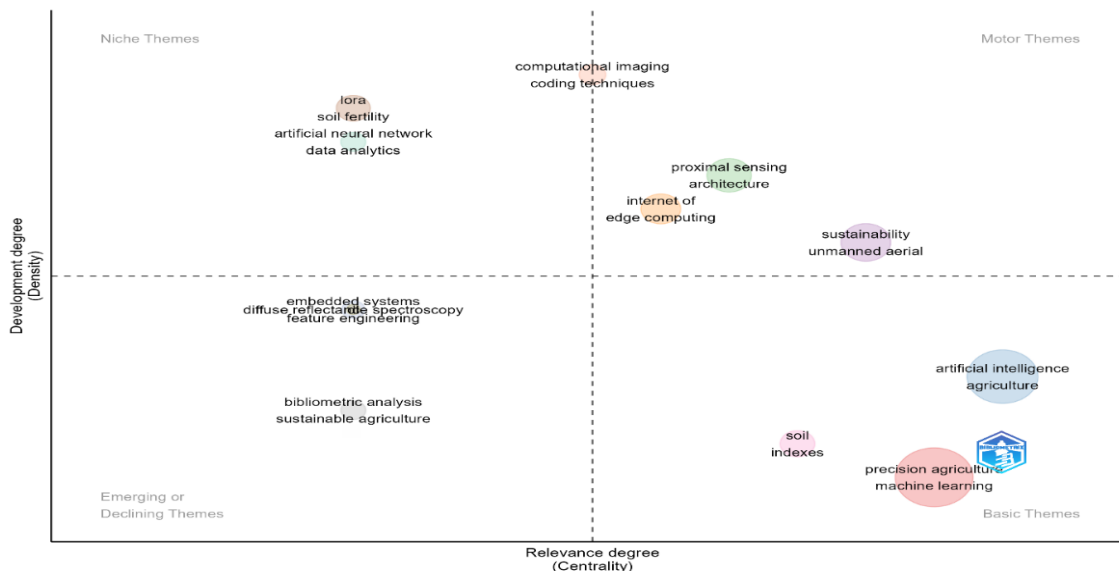


Fuente: elaboración propia en Paquete Bibliometrix. Source: own elaboration in Bibliometrix Package.

La Figura 6 muestra que el cuadrante inferior derecho se ubican los temas básicos, como *precision agriculture*, *machine learning*, *artificial intelligence* y *agriculture*, los cuales constituyen pilares conceptuales ampliamente abordados, aunque con un desarrollo interno moderado. En el cuadrante superior derecho, correspondiente a los temas motores, se encuentran *sustainability*, *unmanned aerial*, *proximal sensing*, *edge computing* e *internet of things*, estos tópicos son altamente desarrollados y centrales para el avance del campo, destacando su capacidad de conectar áreas temáticas diversas. En el cuadrante superior izquierdo, aparecen los temas especializados o de nicho, como *data analytics*, *artificial neural network*, *soil fertility* y *lora*, que, aunque presentan un alto grado de desarrollo, tienen una centralidad limitada. Y en el cuadrante izquierdo, los temas emergentes o en declive, entre ellos *bibliometric analysis* y *sustainable agriculture*.

Figura 6. Mapa temático

Figure 6. Thematic map

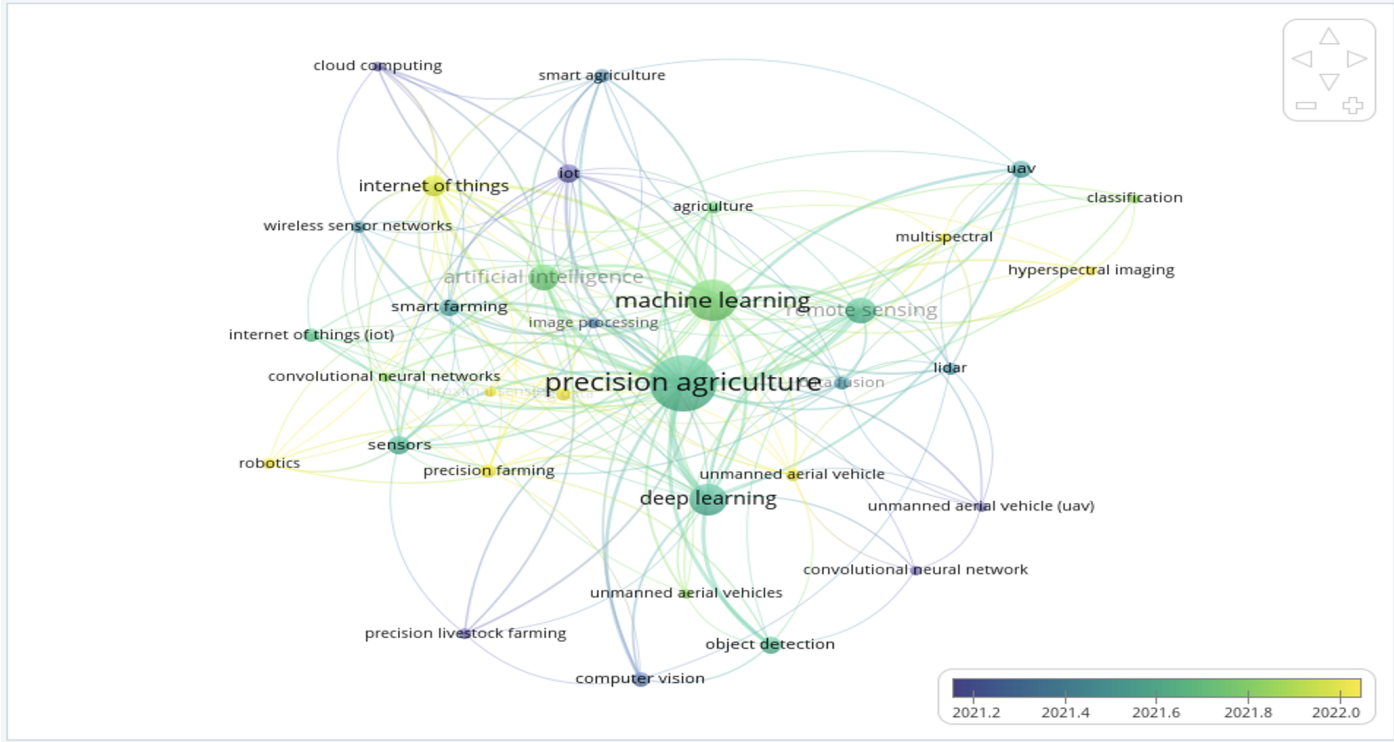


Fuente: elaboración propia en Paquete Bibliometrix. Source: own elaboration in Bibliometrix Package.

A partir del uso de VOSviewer se destacan las etiquetas se representan en forma de círculos y las dimensiones individuales de cada círculo corresponde a la frecuencia de aparición de la palabra clave en los documentos analizados (Figura 7).

El análisis integral de los documentos revisados confirma que la integración de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión ha generado avances sustanciales en la eficiencia laboral, la productividad agrícola y la capacidad de toma de decisiones estratégicas (Gyarmati y Mizik, 2020). La implementación de tecnologías como sensores inteligentes, algoritmos de aprendizaje automático, maquinaria autónoma y robótica ha permitido optimizar la gestión de recursos, automatizar tareas repetitivas y liberar a los campesinos para concentrarse en actividades de mayor valor agregado (Patel et al., 2024). No obstante, esta transformación tecnológica enfrenta obstáculos como la alta inversión inicial, la escasa disponibilidad de tecnologías avanzadas en zonas rurales, la falta de conectividad, la necesidad de capacitación técnica y las preocupaciones relacionadas con la privacidad de los datos agrícolas. Adicionalmente, el riesgo de dependencia tecnológica y la posible reducción del empleo agrario generan resistencias que deben ser gestionadas a través de estrategias de adaptación inclusiva y regulación ética. A pesar de estos desafíos, la inteligencia artificial sigue posicionándose como una herramienta esencial para enfrentar los retos del cambio climático, mejorar la predicción de condiciones adversas y fomentar una agricultura más sostenible y rentable, siempre que su implementación sea gradual, equitativa y centrada en las necesidades reales del agricultor.

Figure 7. Co-occurrence network by year



Fuente: elaboración propia en Paquete VOSviewer. Source: own elaboration in VOSviewer Package.

Ahora bien, en la Tabla 1 se muestra las nuevas tendencias en el abordaje de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión donde China es el país más citado con diez menciones, seguido de India (siete) y Estados Unidos (seis); destacando un avance significativo en el campo. Asimismo, Alemania Pakistán, Grecia, Emiratos Árabes, Filipinas, Brasil y Reino Unido comienzan a demostrar una presencia significativa, mientras que países como Nigeria, Chile, Ecuador Israel y Malasia aparecen de manera mas esporádica, demostrando que la aplicación de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión se concentra sobre todo en economías fuertes y de fuerte desarrollo tecnológico.

Tabla 1. Nuevas tendencias de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión
Table 1. New artificial intelligence trends in precision agriculture

Tópico	País	Autores representativos	Nuevas tendencias
Precision Agriculture	Estados Unidos	Lowenberg y Erickson (2019)	Big data y sostenibilidad
	Grecia y Emiratos Arabes Unidos	Fountas et al. (2020)	
Machine Learning	India	Keswani et al. (2019)	Detección en tiempo real
Deep Learning	Filipinas y China	Ubina y Cheng (2022)	Automatización con UAVs y redes neuronales
Artificial Intelligence	China	Zhang et al. (2023)	IoT agrícola y ética de datos
Remote Sensing	Estados Unidos, Brasil y Alemania	Bock et al. (2020)	Análisis hiperespectral multifuente
IoT in Agriculture	India	Goel et al. (2021)	Sensores conectados y eficiencia hídrica
Big Data	China	Zhang et al. (2023)	Análisis predictivo a gran escala
Smart Farming	Grecia y Emiratos Arabes Unidos	Fountas et al. (2020)	Sistemas autónomos de decisión agrícola
Crop Monitoring	Estados Unidos, Brasil y Alemania	Bock et al. (2020)	Detección temprana de estrés en cultivos
	India	Goel et al. (2022)	
Soil Moisture Prediction	Nigeria, Estados Unidos y Pakistán	Adereti et al. (2024)	Predicción de humedad en tiempo real
Sustainable Agriculture	Alemania	Stumpe et al. (2024)	Agricultura regenerativa
Image Classification	India	Goel et al. (2022)	Reconocimiento de imágenes satelitales
Climate Adaptation	Reino Unido y Israel	Rutter y Rozenstein (2024)	Modelos predictivos frente al cambio climático
	Malasia, China y Pakistán	Huo et al. (2024)	
	Pakistán, Reino Unido y China	Malik y Wang (2024)	
Yield Prediction	China	Zhang et al. (2023)	Estimación precisa del rendimiento
Vegetation Indexes	Estados Unidos, Brasil y Alemania	Bock et al. (2020)	Índices multiespectrales avanzados
Decision Support Systems	China	Zhang et al. (2023)	Soporte inteligente a decisiones agrícolas
Smart Irrigation	India	Keswani et al. (2019)	Sistemas inteligentes de riego
	India	Goel et al. (2022),	
	Filipinas y China	Ubina y Cheng (2022)	
Satellite Imaging	Grecia y Emiratos Arabes Unidos	Fountas et al. (2020) y	Imágenes satelitales con alta resolución
	Chile, Ecuador y Estados Unidos	Vasconez et al. (2020)	
Plant Disease Detection	Pakistán, Reino Unido y China	Malik y Wang (2024)	Detección de patógenos en fase temprana
Data Fusion	China	Chen et al. (2024)	Fusión de datos satelitales y de sensores
Agroecology	Pakistán, Reino Unido y China	Malik y Wang (2024)	Enfoques agroecológicos basados en inteligencia artificial
Neural Networks	Nigeria, Estados Unidos y Pakistán	Adereti et al. (2024)	Aprendizaje profundo para análisis multiescala
	Pakistán, Reino Unido y China	Malik y Wang (2024)	
Agricultural Robotics	Filipinas y China	Ubina y Cheng (2022)	Robots agrícolas autónomos

Cloud Computing	India, Emiratos Árabes Unidos, Portugal y Brasil	Rodrigues et al. (2022)	Almacenamiento y análisis en la nube
	India	Yadav et al. (2022)	
Time Series Forecasting	China	Chen et al. (2024)	Modelos de predicción basados en series temporales
Environmental Monitoring	India	Keswani et al. (2019)	Monitoreo ambiental continuo
Blockchain in Agriculture	China	Zhang et al. (2023)	Trazabilidad y contratos inteligentes con blockchain

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

En consecuencia, se evidencia que la inteligencia artificial ha emergido como una herramienta transformadora en la agricultura, con aplicaciones como el aprendizaje automático, la visión por computadora y las redes neuronales profundas, que permiten analizar datos masivos, detectar enfermedades, predecir condiciones del suelo y optimizar recursos mejorando la productividad y el sustento de los campesinos (Ubina et al., 2022). Tecnologías como los drones, sensores IoT y sistemas de recomendación han facilitado prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles, mientras que soluciones complementarias como la robótica, la automatización y la blockchain aportan valor en trazabilidad, reducción de impactos ambientales y eficiencia operativa. Sin embargo, el éxito de la inteligencia artificial en el sector rural depende en gran medida de la percepción y apropiación por parte de los campesinos, quienes expresan tanto entusiasmo como reservas ante su implementación. Autores revelan la necesidad de mayor capacitación, acceso equitativo y un enfoque que armonice innovación tecnológica con prácticas ecológicas tradicionales. La adopción responsable de estas tecnologías exige un enfoque estratégico que combine infraestructura, formación contextualizada y atención a los impactos éticos, sociales y ambientales; garantizando una agricultura de precisión realmente inclusiva y sostenible (Huo et al., 2024).

Conclusión

Esta investigación permitió explorar la aplicación de tecnologías de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión demostrando su impacto significativo para la agricultura. Se evidencia que la incorporación de sistemas de inteligencia artificial en la agricultura ofrece beneficios sustanciales como la capacidad de anticipar eventos climáticos adversos y detectar tempranamente enfermedades en los cultivos, lo que contribuye a una gestión agrícola más eficiente y resiliente (Zhang et al., 2023). Desde una perspectiva bibliométrica, el análisis permitió identificar una producción científica en aumento entre 2019 y 2024 con un punto máximo en 2023 reflejando el creciente interés por la integración de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión. Se evidenció una mayor concentración de publicaciones en países como Estados Unidos, China, India, Reino Unido, Alemania y Brasil revelando un liderazgo científico vinculado a economías con alta inversión en innovación tecnológica. Las líneas temáticas dominantes se agrupan en dos grandes clústeres: uno técnico-computacional centrado en machine learning, deep learning y redes neuronales; y otro orientado a aplicaciones prácticas como monitoreo de cultivos, predicción de rendimiento y agricultura sostenible. Además, se detectaron vacíos en la literatura en torno a la apropiación tecnológica en países en desarrollo y al análisis ético del uso de inteligencia artificial en entornos rurales, lo cual representa una oportunidad futura de investigación en el campo.

No obstante, también se identifican desafíos relevantes como la limitada disponibilidad de tecnologías avanzadas en ciertas regiones, la necesidad de formación especializada y las preocupaciones en torno a la seguridad de los datos, lo que plantea la urgencia de establecer un equilibrio entre innovación y sostenibilidad para lograr una adopción efectiva (Verrelst et al., 2021). Tecnologías como el aprendizaje automático, la visión por computadora y las redes neurales profundas han mostrado eficacia al proporcionar análisis detallados, recomendaciones personalizadas y monitoreo preciso de las condiciones del suelo y los cultivos, lo que ha permitido optimizar recursos y mejorar los rendimientos agrícolas a largo plazo. Se resalta la importancia de una integración estratégica y progresiva de herramientas de inteligencia artificial en la agricultura de precisión, lo cual requiere un enfoque multidisciplinario que favorezca la innovación continua y la participación de los agricultores en un entorno productivo dinámico.

Financiamiento

El presente estudio fue financiado por el Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo para la Sustentabilidad (CIIDES S.A.S. BIC).

Bibliografía

- Adereti, D., McMaine, J. y Malik, A. (2024). Understanding barriers to smart farming in small-scale systems. *Journal of Rural Studies*, 101, 342-354.
- Aria, M. y Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975. DOI [10.1016/j.joi.2017.08.007](https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007)
- Banco Mundial (2023). *Digital Agriculture: Farmers in the Driver's Seat*. Banco Mundial.
- Bock, C.H., Barbedo, J.G.A., Del Ponte, E.M. y Mahlein, A.K. (2020). From visual estimates to fully automated sensor-based assessments of plant diseases. *Phytopathology Research*, 2, 1-9. DOI [10.1186/s42483-020-00049-8](https://doi.org/10.1186/s42483-020-00049-8)
- Bostanova, P.I., Palisat, I. y Koicheva, V. (2024). The economic impact of precision farming on sustainable agricultural development. *Ekonomika i Upravljenje: Problemy, Resheniya*.
- Chen, C. (2006). CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(3), 359-377. DOI [10.1002/asi.20317](https://doi.org/10.1002/asi.20317)
- Chen, Z., Liu, X. y Zhang, Y. (2024). Blockchain in agriculture: Applications and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 210, 107745.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N. y Lim, W.M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. DOI [10.1016/j.jbusres.2021.04.070](https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070)
- FAO (2023a). *Innovation in Agriculture: A Key Driver for Food Security and Sustainability*. FAO.

- _____. (2023b). *La ciencia, la tecnología y la innovación al servicio de una agricultura sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/science-technology-and-innovation/es>
- FAO y Banco Mundial (2021). *Joint Report on Digital Agriculture and Climate Resilience*. FAO y Banco Mundial.
- Ferreira, P., Loures, A., Castanho, R., Chamizo, A., Loures, L. y Panagopoulos, T. (2020). Assessing the effectiveness of precision agriculture management systems in Mediterranean small farms. *Sustainability*, 12(9), 3765. DOI [10.3390/su12093765](https://doi.org/10.3390/su12093765)
- Fountas, S., Mylonas, N. y Gemtos, T.A. (2020). Smart farming and sustainability. *Agronomy*, 10(4), 637.
- Goel, R., Yadav, C., Vishnoi, S. y Rastogi, R. (2021). Smart agriculture: Urgent need of the day in developing countries. *Sustainable Computing Informatics and Systems*, 30, 100512. DOI [10.1016/j.suscom.2021.100512](https://doi.org/10.1016/j.suscom.2021.100512)
- Gyarmati, G. y Mizik, T. (2020). *The present and future of the precision agriculture*. IEEE 15th International Conference of System of Systems Engineering (SoSE).
- Hernández-Sampieri, S. y Mendoza, C. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill.
- Huo, D., Malik, A., Ravana, S., Rahman, A. y Ahmedy, I. (2024). Mapping smart farming: Addressing agricultural sustainability through big data and AI. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 186, 113858. [10.1016/j.rser.2023.113858](https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113858)
- Keswani, B., Mohapatra, A., Mohanty, A., Khanna, A. y Rodrigues, J.J.P.C. (2019). Adapting weather conditions-based IoT-enabled smart irrigation in agriculture. *Neural Computing and Applications*, 31, 1401-1417. DOI [10.1007/s00521-018-3737-1](https://doi.org/10.1007/s00521-018-3737-1)
- Kim, M.Y. y Lee, K.H. (2022). Electrochemical sensors for sustainable precision agriculture—A review. *Frontiers in Chemistry*, 10, 848320.
- Lowenberg-DeBoer, J. y Erickson, B. (2019). Precision agriculture technology adoption in the US. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 51(1), 1-16.
- Majumder, K., Phadikar, S. y Bhakta, I. (2019). State-of-the-art technologies in precision agriculture: A systematic review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(11), 4878-4888. DOI [10.1002/jsfa.9740](https://doi.org/10.1002/jsfa.9740)
- Malik, A. y Wang, T. (2024). Smart farming adoption: Barriers and enablers in emerging economies. *Journal of Cleaner Production*, 402, 136978.
- Neményi, M. y Nyéki, A. (2022). Crop yield prediction in precision agriculture. *Agronomy*, 12(10), 1-15. DOI [10.3390/agronomy12102460](https://doi.org/10.3390/agronomy12102460)

- Padhiary, M. y Hoque, A. (2024). Automation and AI in precision agriculture: Innovations for enhanced crop management and sustainability. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 20(10), 1-20. DOI [10.9734/ajrcos/2024/v17i10512](https://doi.org/10.9734/ajrcos/2024/v17i10512)
- Patel, K.K., Kumar, R. y Singh, D. (2024). A review on precision agriculture: An evolution and prospect for the future. *International Journal of Plant y Soil Science*, 36(5), 363-374. DOI [10.9734/IJPSS/2024/v36i54534](https://doi.org/10.9734/IJPSS/2024/v36i54534)
- Prakash, A., Bhambota, S., Kumar, S. y Sharma, A. (2024). Investigations of precision agriculture technologies with application to developing countries. *Environment, Development and Sustainability*, 27(7), 15135-15171. DOI [10.1007/s10668-024-04572-y](https://doi.org/10.1007/s10668-024-04572-y)
- Rodrigues, J.J.P.C. y Mohapatra, A. (2022). Wireless sensor networks for agriculture: A comprehensive review. *Sensors*, 22(4), 1432.
- Rozenstein, O., Cohen, Y., Alchanatis, V. y Behrendt, K. (2024). Data-driven agriculture and sustainable farming using machine learning and remote sensing. *Precision Agriculture*, 25, 233-249. DOI [10.1007/s11119-023-10061-5](https://doi.org/10.1007/s11119-023-10061-5)
- Rutter, S.M. y Rozenstein, O. (2024). Livestock monitoring with AI and sensors: State of the art. *Animals*, 14(2), 230.
- Sadowski, A., Wiśniewski, J. y Marciniak, M. (2024). *The role of precision agriculture technologies in enhancing sustainable agriculture*. Sustainability.
- Stock, R., Ogunyiola, A. y Gardezi, M. (2024). Precision agriculture and the future of agrarian labor in the US food system. *Agriculture and Human Values*, 41(3), 1-15. DOI [10.1007/s10460-024-10615-x](https://doi.org/10.1007/s10460-024-10615-x)
- Stumpe, C., Leukel, J. y Zimpel, T. (2024). Prediction of pasture yield using machine learning and remote sensing technologies. *Precision Agriculture*, 25, 150-169. DOI [10.1007/s11119-023-10079-9](https://doi.org/10.1007/s11119-023-10079-9)
- Ubina, N.A. y Cheng, S. (2022). A review of unmanned system technologies with applications in precision agriculture. *Drones*, 6(1), 12. DOI [10.3390/drones6010012](https://doi.org/10.3390/drones6010012)
- Van Eck, N.J. y Waltman, L. (2014). Visualizing bibliometric networks. En Y. Ding, R. Rousseau, y D. Wolfram (Eds.), *Measuring Scholarly Impact* (pp. 285-20). Springer. DOI [10.1007/978-3-319-10377-8_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_13)
- Vasconez, J.P., Delpiano, J., Vougioukas, S., y Auat Cheein, F.A. (2020). Comparison of convolutional neural networks in agricultural classification tasks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105348. DOI [10.1016/j.compag.2020.105348](https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105348)
- Verrelst, J., Rivera-Caicedo, J.P. y Moreno, J. (2021). Remote sensing of vegetation traits using machine learning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 173, 56-68.

- Yadav, C., Goel, R. y Rastogi, R. (2022). Edge computing in agriculture: Opportunities and challenges. *Future Generation Computer Systems*, 136, 252-264.
- Yang, Y. y Wang, H. (2023). Sustainable agriculture through artificial intelligence: A bibliometric analysis. *Sustainability*, 15(3), 1056.
- Yost, M., Kitchen, N.R., Sudduth, K.A. y Sadler, E.J. (2017). Long-term impact of a precision agriculture system on grain crop production. *Precision Agriculture*, 18(6), 840-856.
DOI [10.1007/s11119-016-9490-5](https://doi.org/10.1007/s11119-016-9490-5)
- Zhang, Y., Liu, X. y Chen, Z. (2023). *Big Data Applications in Agriculture: A Review*. Computers and Electronics in Agriculture.