

ORIGINAL

Analysis of the scientific production on the implementation of artificial intelligence in precision agriculture

Análisis de la producción científica sobre la implementación de la inteligencia artificial a la agricultura de precisión

Verenice Sánchez Castillo¹  

¹Universidad de la Amazonia. Florencia, Colombia.

Citar como: Sánchez Castillo V. Analysis of the scientific production on the implementation of artificial intelligence in precision agriculture. LatIA. 2023; 1:1. <https://doi.org/10.62486/latia20231>

Enviado: 31-06-2023

Revisado: 20-08-2023

Aceptado: 08-12-2023

Publicado: 09-12-2023

Editor: Misael Ron 

ABSTRACT

The implementation of artificial intelligence is having a transformative impact on precision agriculture by optimizing agricultural resources and minimizing environmental impact, with a focus on sustainable development. The objective of the research is to analyze the scientific production on the implementation of artificial intelligence in precision agriculture. The research was conducted under the quantitative paradigm, using a descriptive and retrospective approach, and its implementation was carried out through a bibliometric study. It was conducted in SCOPUS database in the period 2014 - 2024 without language restriction. The behavior of the research was positive with a maximum peak of 112 researches where research articles in the area of computer science predominated. The most productive country was India with 79 research papers, while the most productive affiliation with 18 research papers was the University of Florida in the United States. Four lines of research and the periods with the highest number of citations in the subject were identified, where it was evidenced that the greatest boom was from 2019. Precision agriculture is an agricultural management tool that integrates a group of advanced technologies such as global positioning systems, geographic information systems, remote sensors, drones, internet of things and artificial intelligence, with an impact on optimizing agricultural resources and minimizing environmental impact in terms of territorial development and the fulfillment of sustainable development objectives.

Keywords: Precision Agriculture; Bibliometric Analysis; Artificial Intelligence; Scientific Production.

RESUMEN

La implementación de la inteligencia artificial está teniendo un impacto transformador en la agricultura de precisión al optimizar los recursos agrícolas y minimizar el impacto ambiental, con un enfoque en el desarrollo sostenible. El objetivo de la investigación es analizar la producción científica sobre la implementación de la inteligencia artificial a la agricultura de precisión. La investigación se realizó bajo el paradigma cuantitativo, mediante un enfoque descriptivo y retrospectivo, y su implementación se realizó mediante un estudio bibliométrico. Se realizó en base de datos SCOPUS en el período 2014 - 2024 sin restricción idiomática. El comportamiento de las investigaciones fue positivo con un pico máximo de 112 investigaciones donde predominaron los artículos de investigación en el área de las ciencias de la computación. El país más productor fue la India con 79 investigaciones, mientras que la filiación más productora con 18 investigaciones fue la Universidad de Florida en Estados Unidos. Se identificaron cuatro líneas de investigación y los períodos de mayor cantidad de citas en el tema, donde se evidenció que el mayor auge fue a partir del 2019. La agricultura de precisión es una herramienta de gestión agrícola que integra un grupo de tecnologías de avanzadas como sistemas de posicionamiento global, sistemas de información geográfica, sensores remotos, drones, internet de las cosas e inteligencia artificial, con un impacto al optimizar los recursos agrícolas y minimizar el impacto ambiental en función del desarrollo territorial y al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

Palabras clave: Agricultura de Precisión; Análisis Bibliométrico; Inteligencia Artificial; Producción Científica.

INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión (AP) es una práctica innovadora que combina tecnologías avanzadas,⁽¹⁾ con el objetivo de optimizar los recursos agrícolas y minimizar el impacto ambiental.^(2,3) Esta innovadora forma de gestión agrícola permite a los productores tomar decisiones informadas y específicas para cada sección de sus campos,⁽⁴⁾ y ajustar los insumos de acuerdo con las necesidades reales de los cultivos,⁽⁵⁾ en este sentido, los encadenamientos productivos⁽⁶⁾ y los circuitos cortos de comercialización juegan un papel importante.⁽⁷⁾

La AP ha demostrado ser una herramienta poderosa para aumentar la productividad agrícola.⁽⁸⁾ Al analizar datos detallados sobre las condiciones del suelo, el clima y el estado de los cultivos, para así aplicar adecuadamente los fertilizantes, pesticidas y agua de riego de manera eficiente. Esto conduce a un mejor aprovechamiento de los recursos,⁽⁹⁾ reduciendo los costos de producción⁽¹⁰⁾ y maximizando los rendimientos.⁽⁸⁾

Además de mejorar la productividad, contribuye significativamente a la sostenibilidad ambiental.⁽¹¹⁾ Al aplicar insumos solo donde son necesarios y en las cantidades adecuadas, se reduce el desperdicio y la contaminación del suelo. Esto ayuda a preservar los recursos naturales y a mitigar el impacto negativo de las prácticas agrícolas en el medio ambiente.⁽¹²⁾ Su implementación no solo tiene un impacto individual sino también colectivo, enfocado al desarrollo territorial agrícola,⁽¹³⁾ sin embargo, constituye un reto al demandar inversión en educación, investigación y desarrollo.⁽¹⁾

Las principales tecnologías habilitadoras de la agricultura de precisión son:

- Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten mapear y georreferenciar los campos, así como identificar variaciones en el terreno, rendimiento de cultivos, etc.⁽¹⁴⁾
- Sensores remotos y vehículos aéreos no tripulados (drones), que mediante la recopilación de imágenes satelitales monitorea el estado de los cultivos, vigor vegetativo, estrés hídrico, detección de plagas, etc.⁽¹⁵⁾
- Sensores de campo y redes de sensores inalámbricos que miden variables como humedad del suelo, temperatura, nutrientes, etc. para tomar decisiones de riego, fertilización y otras prácticas.⁽¹⁶⁾
- Internet de las Cosas (IoT) y computación en la nube que permiten la conexión e integración de dispositivos, sensores y sistemas para el monitoreo y control remoto.⁽¹⁷⁾
- Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Automático estas herramientas procesan grandes volúmenes de datos para generar modelos predictivos, recomendaciones y automatizar procesos.⁽¹⁸⁾

En Colombia se han implementado estas tecnologías en función de cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), en el caso específico de la IA, se ha implementado la herramienta Watson de IBM se ha utilizado para realizar más de 5.000 análisis de suelos en los campos donde se procesan los datos y se generan recomendaciones personalizadas sobre fertilización, riego y prácticas de cultivo para optimizar la productividad,⁽¹⁹⁾ también sistema de inteligencia artificial basado en redes neuronales que con la utilización de imágenes satelitales, puede identificar con alta precisión las áreas aptas para la agricultura en diferentes regiones del país.⁽²⁰⁾

La implementación de la IA está teniendo un impacto transformador en la agricultura de precisión,⁽²¹⁾ ya que contribuye significativamente al cumplimiento de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas,⁽²²⁾ donde se evidencian impactos significativos son: ODS 2 de poner fin al hambre y lograr la seguridad alimentaria, ODS 6 con la gestión sostenible del agua, ODS 12 mediante un enfoque en la producción y el consumo responsables y ODS 15 que fomenta la protección de los ecosistemas terrestres, elementos que impulsan la investigación, la capacitación y la transferencia de conocimientos, para el logro de infraestructuras resilientes y fomento de la innovación.

En este sentido, el objetivo de la investigación es analizar la producción científica sobre la implementación de la inteligencia artificial a la agricultura de precisión.

MÉTODO

La investigación se realizó bajo el paradigma cuantitativo,⁽²³⁾ mediante un enfoque descriptivo y retrospectivo, y su implementación se realizó mediante un estudio bibliométrico.^(24, 25) La base de datos que se utilizó fue SCOPUS (<https://www.scopus.com/>), por su impacto a nivel internacional y se realizó por dos investigadores de forma independiente. Se analizó la producción científica en el período 2014 - 2024, sin restricción idiomática.

La fórmula de búsqueda fue:

- TITLE-ABS-KEY (“artificial intelligence” and “precision agriculture”) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, ”ar”) OR LIMIT-TO (DOCTYPE, ”re”)).

La revisión se realizó el 28 de mayo del 2024 y se recopiló un total de 457 investigaciones (N=457). Para el análisis de la información se descargó el fichero en formato “.RIS” que fue procesado por uno de los investigadores en el gestor bibliográfico EndNote X8.

Para la descripción de las publicaciones se analizaron los siguientes indicadores bibliométricos:

- Producción científica por año: estudia el comportamiento de las investigaciones y su frecuencia en el tiempo. se utilizó la línea de tendencia ajustada en función del mayor valor de R^2 .
- Cantidad de investigaciones por tipo de documento: se analizan la cantidad de documentos según su tipo.
- Cantidad de investigaciones por área del conocimiento: se analizan la cantidad de documentos por áreas del conocimiento.
- Cantidad de publicaciones por país: se analizan la cantidad de documentos por país.
- Cantidad de publicaciones por filiación institucional: se analizan la cantidad de documentos por filiación institucional.

Fuente de información: los indicadores de tendencia y producción científica se obtienen de la base de datos SCOPUS donde se descargaron los ficheros .XLSX en formato Excel y se procesaron en el Microsoft Excel.

Para la confección de los mapas de conocimiento se utilizó el software Vosweiver, donde inicialmente se realizó un análisis de correlación entre países y sus principales clústers de agrupación, se realizó un análisis de coocurrencia de palabras clave y se obtuvo el mapa bibliométrico network con el objetivo de identificar las principales líneas de investigación este análisis fue contrastado con el análisis de frecuencia y densidad de palabras clave obtenido de la plataforma Lens (<https://www.lens.org/>). Finalmente, se realizó un análisis de colaboración autoral y los autores con las publicaciones más recientes mediante el estudio del mapa bibliométrico overlay. Complementario a ello, se realizó un análisis de las citaciones en la base de datos Lens.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento de las investigaciones en el período 2014 - 2016 fue heterogénea con un descenso de las investigaciones de dos, mientras que a partir del año 2017 la tendencia fue positiva y hacia el incremento, caracterizada por una función polinómica con un nivel de confianza de 89,95 %, y un pico máximo en el año 2023 de 112 investigaciones, mientras que en el 2024 ya se cuenta con 85 investigaciones, elemento que refleja que la tendencia puede superar a los períodos anteriores.

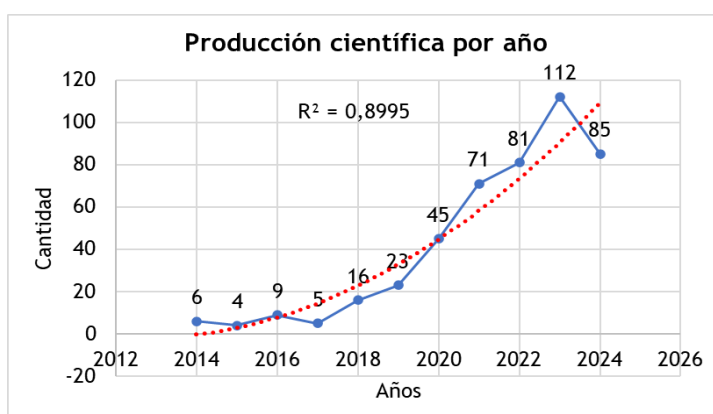


Figura 1. Producción científica por año

La figura 2 muestra un análisis de la producción científica por tipo de documentos, donde se evidenció que el 77 % de los artículos (354) fueron artículos de investigación y el 23 % restantes (103) fueron artículos de revisión.

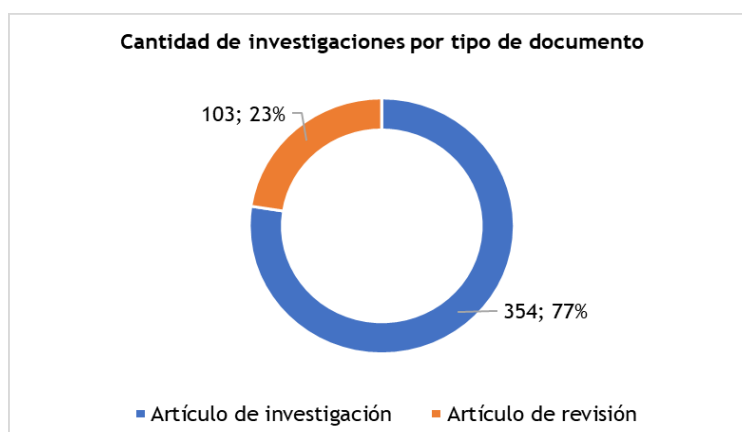


Figura 2. Cantidad de investigaciones por tipo de documento

Se realizó un estudio de las investigaciones por área del conocimiento, donde inicialmente se identificaron 23 áreas en total, la tabla 1 muestra un análisis de las áreas con más de 30 investigaciones que representan el 86,46 % del total. Las ciencias de la computación con 220 investigaciones fue la más representativa (23,45 %), seguido de las ciencias biológicas y agrícolas y la ingeniería con 192 y 144 respectivamente.

Área del conocimiento	Cantidad	Porcentaje
Ciencias de la computación	220	23,45
Ciencias biológicas y agrícolas	192	20,47
Ingeniería	144	15,35
Ciencias ambientales	54	5,76
Ciencias de la tierra y planetaria	51	5,44
Física y Astronomía	46	4,90
Ciencias sociales	37	3,94
Ciencia de materiales	34	3,62
Bioquímica, Genética y Biología Molecular	33	3,52
Muestra	811	86,46
Total	938	100

Se identificaron investigaciones en 87 países, un análisis de los países con más de 20 publicaciones (Figura 3), demostró que la India con 79 investigaciones fue el país más productor, seguido de los Estados Unidos y China con 75 y 55 investigaciones respectivamente. En el área geográfica Latinoamérica se destacó Brasil con 29 investigaciones.

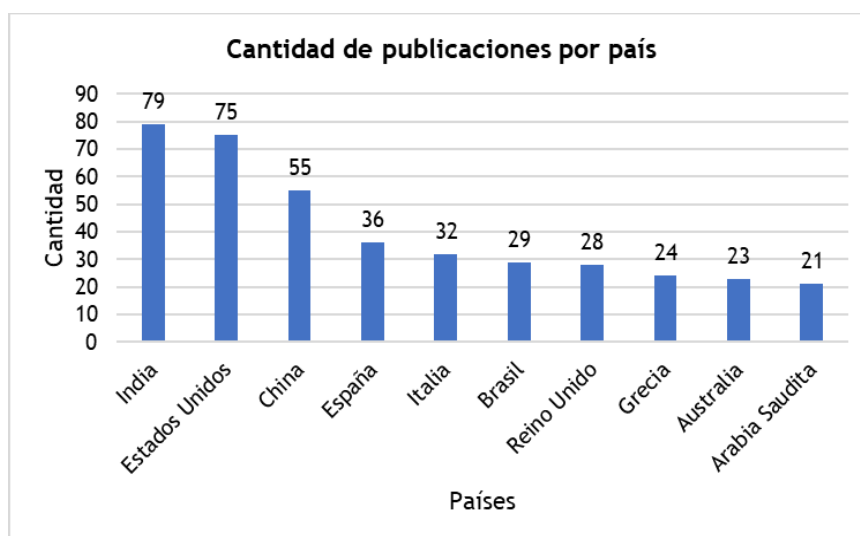


Figura 3. Cantidad de publicaciones por país

La figura 4 muestra un análisis de la cantidad de publicaciones por filiación institucional, donde de las 160 filiaciones que publicaron al menos un artículo, destacó la Universidad de Florida con 18 investigaciones seguido de University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences y Chinese Academy of Sciences con 14 y 8 investigaciones respectivamente.

Se realizó un análisis de correlación entre países (Figura 5), con un nivel de coocurrencia mayor o igual a cinco ($n \geq 5$), donde se identificaron cuatro clúster y 33 ítems, en el centro se encontró a India que se relacionó con China, Canadá, Corea del Sur y Egipto, por otro lado, Estados Unidos se relacionó con Australia y Holanda, mientras que el clúster donde se encuentra Brasil se ramificó más siete países colaborando entre sí y puntos de contactos entre sus investigaciones.

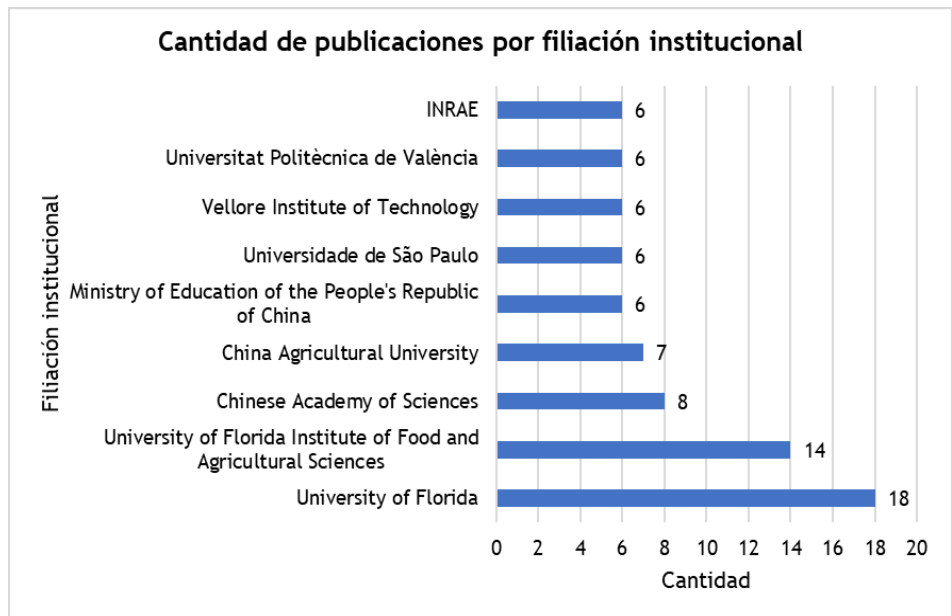


Figura 4. Cantidad de publicaciones por filiación institucional

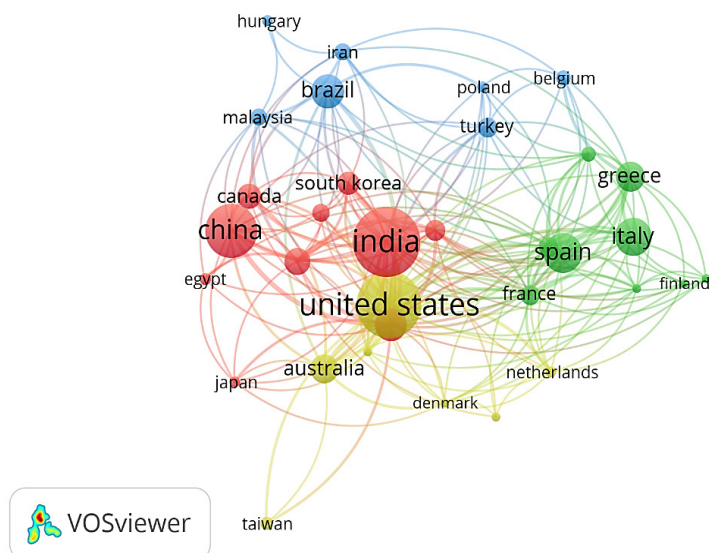


Figura 5. Análisis de correlación entre países ($n \geq 5$)

Tabla 2. Principales líneas de investigación			
Clúster (C)	Ítems	Línea de investigación	Referencia
C1	12	Aplicación de sistemas de soporte de decisiones basados en inteligencia artificial y sensores remotos para la agricultura de precisión y la optimización del rendimiento de cultivos frente al cambio climático.	(26,27,28,29)
C2	8	Desarrollo de sistemas de visión artificial basados en redes neuronales convolucionales y aprendizaje profundo para robots agrícolas y vehículos aéreos no tripulados (drones).	(30,31,32,33,34,35)
C3	5	Desarrollo de sistemas de aprendizaje automático para la optimización de prácticas agrícolas.	(36,37,38,39,40,41)
C4	2	Implementación de sistemas de agricultura inteligente (Smart Farming) basados en Internet de las Cosas (IoT).	(42,43,44,45,46,47)
Total	27		

La figura 6 muestra la red de coocurrencia de palabras clave, con un nivel mayor o igual que 24, donde se identificaron cuatro clústers y 27 ítems, del estudio de las líneas de investigación se identificaron cuatro líneas de investigación (Tabla 2).

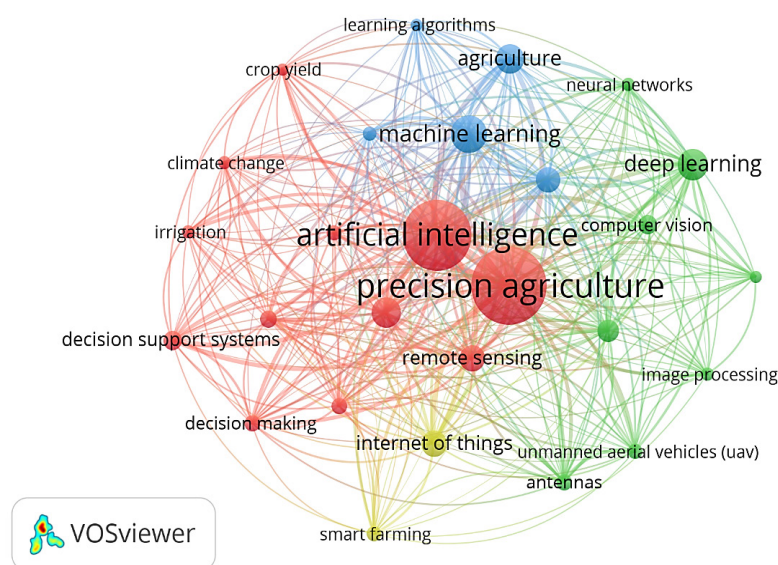


Figura 6. Análisis de coocurrencia de palabras clave ($n \geq 24$)

Se realizó un análisis de frecuencia y densidad de palabras clave (Figura 7), donde las ciencias de la computación fue la palabra más repetida 1220 veces, seguido de inteligencia artificial (762), y agricultura (597). Además, se evidencian estudios relacionados con la productividad agrícola,^(40,48) con el aprendizaje profundo aplicado al desarrollo agrícola^(49,50) y el uso de la computación en la nube mientras sistemas remotos de sensores aplicados a geo-parcelas.⁽⁵¹⁾

251 Agricultural engineering	63 Agricultural productivity	597 Agriculture	129 Agronomy	82 Algorithm
327 Archaeology	762 Artificial intelligence	136 Artificial neural network	522 Biology	262 Business
64 Cloud computing	67 Computer network	1,220 Computer science	79 Computer security	103 Computer vision
117 Convolutional neural network	65 Crop	100 Data mining	123 Data science	166 Deep learning
286 Ecology	194 Economics	466 Engineering	239 Environmental science	88 Field (mathematics)
66 Food security	413 Geography	71 Internet of Things	84 Law	66 Linguistics
311 Machine learning	65 Macroeconomics	64 Materials science	299 Mathematics	142 Operating system

Figura 7. Análisis de frecuencia y densidad de palabras clave

La figura 8 muestra un análisis de colaboración autorial con una frecuencia mayor o igual que cuatro ($n \geq 4$), donde se identificaron tres clústers principales y los autores más representativos fueron: Ampatzidis, Y., Costa, L., Partel, V., Lu, Y. y Osco, L.P.

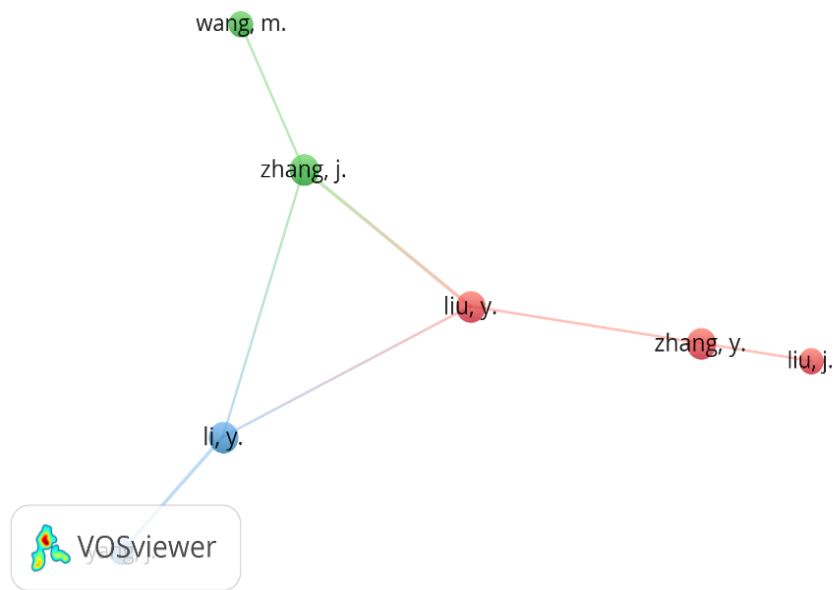


Figura 8. Análisis de colaboración autoral (n≥4)

Se realizó un análisis de las citas (Figura 9), en el período 2004 - 2019 las investigaciones no superaron las 200 citas y predominaron las citas de los artículos que no se encuentran en acceso, a partir del año 2020 los niveles de citas aumentaron hasta 600 y predominaron las citas de artículo en acceso abierto con un pico máximo de 1500 citas.

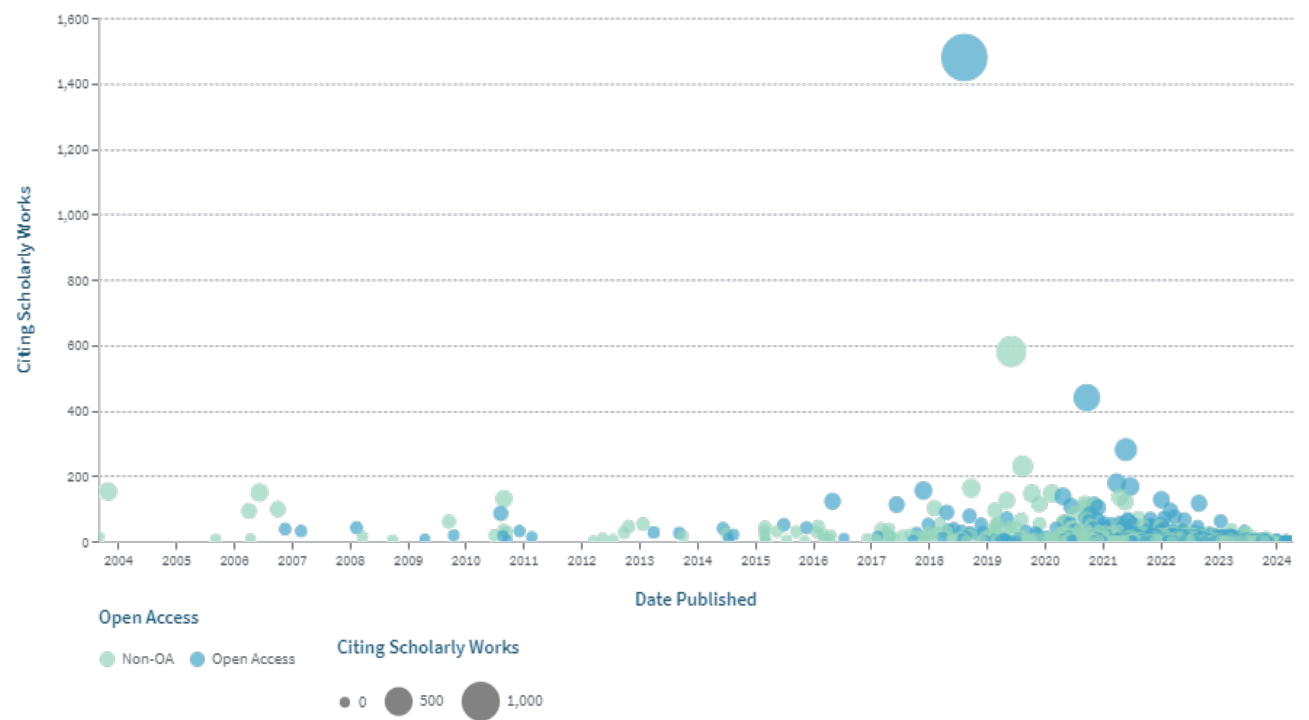


Figura 9. Mapa de citas

CONCLUSIONES

La AP es una herramienta de gestión agrícola que integra un grupo de tecnologías de avanzadas como sistemas de posicionamiento global, sistemas de información geográfica, sensores remotos, drones, internet de las cosas e inteligencia artificial, con un impacto al optimizar los recursos agrícolas y minimizar el impacto ambiental en función del desarrollo territorial y al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

Las investigaciones manifestaron un incremento con el paso del tiempo en función del impacto de estas tecnologías en la optimización de la producción agrícolas, con un predominio de los artículos de investigación

en el área de las ciencias de la investigación, aunque la India fue el país más productor, la Universidad de Florida en los Estados Unidos fue la institución más destacada.

Se realizó un análisis clúster del estudio del mapa de coocurrencia de palabras clave donde se identificaron cuatro líneas de investigación científica relacionadas con la aplicación de sistemas de soporte de decisiones basados en inteligencia artificial y sensores remotos para la agricultura de precisión y la optimización del rendimiento de cultivos frente al cambio climático, el desarrollo de sistemas de visión artificial basados en redes neuronales convolucionales y aprendizaje profundo para robots agrícolas y vehículos aéreos no tripulados (drones), el desarrollo de sistemas de aprendizaje automático para la optimización de prácticas agrícola y la implementación de sistemas de agricultura inteligente (Smart Farming) basados en Internet de las Cosas (IoT).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jin T, Han X. Robotic arms in precision agriculture: A comprehensive review of the technologies, applications, challenges, and future prospects. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024;221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108938>.
2. Choudhari A, Bhojar DB, Badole WP. MFMDLYP: Precision Agriculture through Multidomain Feature Engineering and Multimodal Deep Learning for Enhanced Yield Predictions. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*. 2024;12(7s):589-602. <https://ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/4176>.
3. Toscano F, Fiorentino C, Capece N, Erra U, Travascia D, Scopa A, et al. Unmanned Aerial Vehicle for Precision Agriculture: A Review. *IEEE Access*. 2024;12:69188-205. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3401018>.
4. Chen KY, Kachhadiya J, Muhtasim S, Cai S, Huang J, Andrews J. Underground Ink: Printed Electronics Enabling Electrochemical Sensing in Soil. *Micromachines*. 2024;15(5). DOI: <https://doi.org/10.3390/mi15050625>.
5. Reddy MC. Case study on importance of precision agriculture in changing farm environment. *International Agricultural Engineering Journal*. 2013;22(4):18-20. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20143102930>.
6. Mollo MN, Vendrametto O, Okano MT. Precision livestock tools to improve products and processes in broiler production: A review. *Revista Brasileira de Ciencia Avícola / Brazilian Journal of Poultry Science*. 2010;11(4):211-8. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-635x2009000400001>.
7. Hoyos Chavarro YA, Melo Zamudio JC, Sánchez Castillo V. Sistematización de la experiencia de circuito corto de comercialización estudio de caso Tibasosa, Boyacá. *Región Científica*. 2022;1(1):20228. DOI: <https://doi.org/10.58763/rc20228>.
8. Zain M, Ma H, Ur Rahman S, Nuruzzaman M, Chaudhary S, Azeem I, et al. Nanotechnology in precision agriculture: Advancing towards sustainable crop production. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2024;206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108244>.
9. Gebbers R, Adamchuk VI. Precision agriculture and food security. *Science*. 2010;327(5967):828-31. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1183899>.
10. Choudhury SB, Sarangi S, Pappula S, editors. Optimal Deployment Planning to Maximize Coverage of Agricultural Operations with Effective Resource Utilization. 2021 11th IEEE Global Humanitarian Technology Conference, GHTC 2021; 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/GHTC53159.2021.9612462>.
11. Varella WA, Oliveira Neto GCD, Stefani E, Costa I, Monteiro RC, Conde W, et al. Integrated Service Architecture to Promote the Circular Economy in Agriculture 4.0. Sustainability (Switzerland). 2024;16(6). DOI: <https://doi.org/10.3390/su16062535>.
12. Papadopoulos G, Arduini S, Uyar H, Psiroukis V, Kasimati A, Fountas S. Economic and environmental benefits of digital agricultural technologies in crop production: A review. *Smart Agricultural Technology*. 2024;8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100441>.
13. Arjune S, Kumar VS, editors. Precision Agriculture: Influencing factors and challenges faced by farmers in delta districts of Tamil Nadu. 2022 OPJU International Technology Conference on Emerging Technologies for Sustainable Development, OTCON 2022; 2023. DOI: <https://doi.org/10.1109/OTCON56053.2023.10113906>.

14. Halitim AM, Bouhedda M, Tchoketch-Kebir S, Rebouh S. Real-Time Implementation of Relative Positioning Approaches Using Low-Cost Single-Frequency GPS Receivers and Raspberry Pi Platform for Agriculture Applications. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*. 2024;35(2):376-89. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40313-024-01069-x>.
15. Baiocchi V, Fortunato S, Giannone F, Marzaioli V, Monti F, Onori R, et al. LiDAR RTK Unmanned Aerial Vehicles for security purposes. *Geographia Technica*. 2024;19(1):34-42. DOI: https://doi.org/10.21163/GT_2024.191.03.
16. Yan X, Ma Y, Lu Y, Su C, Liu X, Li H, et al. Zeolitic Imidazolate-Framework-Engineered Heterointerface Catalysis for the Construction of Plant-Wearable Sensors. *Advanced Materials*. 2024;36(16). DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.202311144>.
17. Chaturvedi P, Gandhi P. IoT-based smart climate agriculture system for precision agriculture using WSN. *The Convergence of Self-Sustaining Systems With AI and IoT* 2024. p. 227-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.05.013>.
18. SaberiKamarposhti M, Ng KW, Yadollahi M, Kamyab H, Cheng J, Khorami M. Cultivating a sustainable future in the artificial intelligence era: A comprehensive assessment of greenhouse gas emissions and removals in agriculture. *Environmental Research*. 2024;250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118528>.
19. EFE. Inteligencia artificial para el agro colombiano. EFEAgro. 2020. <https://efeagro.com/inteligencia-artificial-agro-colombiano/>.
20. Universidad Nacional de Colombia U. Inteligencia artificial (IA) identifica zonas aptas para la agricultura en Colombia. 2024. <https://ascun.org.co/inteligencia-artificial-ia-identifica-zonas-aptas-para-la-agricultura-en-colombia/>.
21. Hoyos Patiño JF, Velásquez Carrascal BL, Rico Bautista DR, García Díaz N. Impacto transformador de la inteligencia artificial y aprendizaje autónomo en la producción agropecuaria: un enfoque en la sostenibilidad y eficiencia. *Formación Estratégica*. 2023;7(1):40-55. <https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/download/111/80>.
22. Unidas N. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2015. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>.
23. Sánchez Suárez Y, Marqués León M, Hernández Nariño A, Suárez Pérez M. Metodología para el diagnóstico de la gestión de trayectorias de pacientes en hospitales. *Región Científica*. 2023;2(2):2023115. DOI: <http://doi.org/10.58763/rc2023115>.
24. Sánchez Suárez Y, Pérez Gamboa AJ, Hernández Nariño A, Yang Díaz-Chieng L, Marqués León M, Pancorbo Sandoval JA, et al. Cultura hospitalaria y responsabilidad social: un estudio mixto de las principales líneas para su desarrollo. *Salud, Ciencia y Tecnología-Serie de Conferencias*. 2023;2:451. DOI: <https://doi.org/10.56294/sctconf2023451>.
25. Raudales-Garcia EV, Acosta-Tzin JV, Aguilar-Hernández PA. Economía circular: una revisión bibliométrica y sistemática. *Región Científica*. 2024;3(1):2024192. DOI: <https://doi.org/10.58763/rc2024192>.
26. Brenes JA, Martínez A, Quesada-López C, Jenkins M. Decision support systems that use artificial intelligence for precision agriculture: A systematic literature mapping. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*. 2020;2020(E28):217-29. <https://citic.ucr.ac.cr/publicaciones/decision-support-systems-use-artificial-intelligence-precision-agriculture-systematic>.
27. Gutiérrez F, Htun NN, Schlenz F, Kasimati A, Verbert K. A review of visualisations in agricultural decision support systems: An HCI perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019;163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.053>.
28. Kpienbaareh D, Kansanga M, Luginaah I. Examining the potential of open source remote sensing for building effective decision support systems for precision agriculture in resource-poor settings. *GeoJournal*. 2019;84(6):1481-97. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10708-018-9932-x>.

29. Yousaf A, Kayvanfar V, Mazzone A, Elomri A. Artificial intelligence-based decision support systems in smart agriculture: Bibliometric analysis for operational insights and future directions. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2023;6. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1053921>.
30. Yang R, Wang Y, Wang B. Progress and trend of agricultural robots based on WoS bibliometrics and knowledge graph. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2022;38(1):53-62. DOI: <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2022.01.006>.
31. Deshpande R, Patidar H. Tomato plant leaf disease detection using generative adversarial network and deep convolutional neural network. *Imaging Science Journal*. 2022;70(1):1-9. DOI: <https://doi.org/10.1080/13682199.2022.2161696>.
32. Deshpande R, Patidar H. Detection of Plant Leaf Disease by Generative Adversarial and Deep Convolutional Neural Network. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B*. 2023;104(5):1043-52. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40031-023-00907-x>.
33. Pandey A, Jain K. An intelligent system for crop identification and classification from UAV images using conjugated dense convolutional neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022;192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106543>.
34. Sabanci K, Aslan MF, Ropelewska E, Unlarsen MF. A convolutional neural network-based comparative study for pepper seed classification: Analysis of selected deep features with support vector machine. *Journal of Food Process Engineering*. 2022;45(6). DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13955>.
35. Salem DA, Hassan NA, Hamdy RM. Impact of transfer learning compared to convolutional neural networks on fruit detection. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. 2024;46(4):7791-803. DOI: <https://doi.org/10.3233/JIFS-233514>.
36. Eugenio FC, Grohs M, Schuh MS, Venancio LP, Schons C, Badin TL, et al. Flooded rice variables from high-resolution multispectral images and machine learning algorithms. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2023;31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100998>.
37. Javidan SM, Banakar A, Vakilian KA, Ampatzidis Y, Rahnama K. Diagnosing the spores of tomato fungal diseases using microscopic image processing and machine learning. *Multimedia Tools and Applications*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-024-18214-y>.
38. Mohyuddin G, Khan MA, Haseeb A, Mahpara S, Waseem M, Saleh AM. Evaluation of Machine Learning Approaches for Precision Farming in Smart Agriculture System: A Comprehensive Review. *IEEE Access*. 2024;12:60155-84. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3390581>.
39. Pero C, Bakshi S, Nappi M, Tortora G. IoT-Driven Machine Learning for Precision Viticulture Optimization. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2024;17:2437-47. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2023.3345473>.
40. Uzuno Altan M, Nabatov E. Using machine learning to enhance agricultural productivity in Turkey: insights on the importance of soil moisture, temperature and precipitation patterns. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2024;21(10):6981-98. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05439-x>.
41. Vibhute AD, Kale KV, Gaikwad SV. Machine learning-enabled soil classification for precision agriculture: a study on spectral analysis and soil property determination. *Applied Geomatics*. 2024;16(1):181-90. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12518-023-00546-3>.
42. Ayoub Shaikh T, Rasool T, Rasheed Lone F. Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision agriculture and smart farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022;198. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107119>.
43. Chukkapalli SL, Mittal S, Gupta M, Abdelsalam M, Joshi A, Sandhu R, et al. Ontologies and artificial intelligence systems for the cooperative smart farming ecosystem. *IEEE Access*. 2020;8:164045-64. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3022763>.

44. Javaid M, Haleem A, Singh RP, Suman R. Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*. 2022;3:150-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2022.09.004>.
45. Karunathilake EMBM, Le AT, Heo S, Chung YS, Mansoor S. The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture. *Agriculture (Switzerland)*. 2023;13(8). DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13081593>.
46. Raouhi EM, Lachgar M, Hrimech H, Kartit A. Unmanned Aerial Vehicle-based Applications in Smart Farming: A Systematic Review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2023;14(6):1150-65. DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.01406123>.
47. Unal Z. Smart Farming Becomes even Smarter with Deep Learning - A Bibliographical Analysis. *IEEE Access*. 2020;8:105587-609. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000175>.
48. Ed-daoudi R, Alaoui A, Ettaki B, Zerouaoui J. A Predictive Approach to Improving Agricultural Productivity in Morocco through Crop Recommendations. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2023;14(3):199-205. DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140322>.
49. Alsubai S, Dutta AK, Alkhayyat AH, Jaber MM, Abbas AH, Kumar A. Hybrid deep learning with improved Salp swarm optimization based multi-class grape disease classification model. *Computers and Electrical Engineering*. 2023;108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108733>.
50. Anusha DJ, Anandan R, Venkata Krishna P. A novel deep learning and Internet of Things (IoT) enabled precision agricultural framework for crop yield production. *Journal of Autonomous Intelligence*. 2024;7(4). DOI: <https://doi.org/10.32629/jai.v7i4.1218>.
51. Wu T, Luo J, Zhang X, Dong W, Huang Q, Zhou Y, et al. Remote sensing granular computing and precise applications based on geo-parcels. *National Remote Sensing Bulletin*. 2023;27(12):2774-95. DOI: <https://doi.org/10.11834/jrs.20211622>.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Verenice Sánchez Castillo.

Investigación: Verenice Sánchez Castillo.

Metodología: VereniceS Sánchez Castillo.

Redacción - borrador original: Verenice Sánchez Castillo.

Redacción - revisión y edición: Verenice Sánchez Castillo.