





ORIGINAL

Systematic review on sustainable management of natural resources with smart technologies for food production

Revisión sistemática sobre la gestión sostenible de los recursos naturales con tecnologías inteligentes para la producción de alimentos

Diego Cajamarca Carrazco¹  , Edwin Rogelio Guanga Casco¹  , Santiago Mauricio Salazar-Torres²  , Danny Josue Montalvo Zambrano²  , Eleonora-Melissa Layana-Bajana²  , Winston Fernando Zamora Burbano²  , María Magdalena Paredes Godoy³  

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 060155, Riobamba, Ecuador.

²Universidad Técnica del Norte. 100150, Ibarra, Ecuador.

³Universidad Nacional de Chimborazo. 060107, Riobamba, Ecuador.

Citar como: Cajamarca Carrazco D, Guanga Casco ER, Salazar-Torres SM, Montalvo Zambrano DJ, Layana-Bajana E-M, Zamora Burbano WF, et al. Systematic review on sustainable management of natural resources with smart technologies for food production. Data and Metadata. 2025;4:384. <https://doi.org/10.56294/dm2025384>

Enviado: 01-03-2024

Revisado: 12-07-2024

Aceptado: 31-10-2024

Publicado: 01-01-2025

Editor: Adrián Alejandro Vitón Castillo 

Autor para la correspondencia: Diego Cajamarca Carrazco 

ABSTRACT

Introduction: the environmental problems related to global warming, climate change, and alterations of natural resources deepen the food supply worldwide, so the current challenge involves the applicability of intelligent technologies in production processes, processing, conservation, monitoring, simulation, modeling, and management of natural resources to ensure food sovereignty and the fulfillment of sustainable development goals “zero hunger”.

Objective: therefore, the analysis of the bibliometric review on the sustainable management of natural resources with intelligent technologies to optimize the production of healthy, nutritious and sustainable food was proposed.

Method: scientific information was explored using the Scopus database, over a period of six years, with the use of the methodology (PRISMA, 2020).

Results: the evolution in the applicability of climate-smart agriculture in emerging economies promises short-term contributions to eradicate hunger in the world with a hybridization in the conservation of natural resources, as demonstrated by the interest of the scientific community since 2022 with 110 high-impact publications.

Conclusions: to conclude the incorporation of smart technologies such as industry 4.0, 5.0, IoT, AI, robotics, smart irrigation, satellite imagery, simulation, autonomous learning, Big Data, blockchain will allow guaranteeing healthy, nutritious and sustainable foods.

Keywords: Sustainable Management; Natural Resources; Smart Technologies; Food Production.

RESUMEN

Introducción: la problemática ambiental correlacionada con el calentamiento global, cambio climático, y las alteraciones de los recursos naturales profundiza el aprovisionamiento de alimentos a nivel mundial, por lo que el desafío actual implica la aplicabilidad de tecnologías inteligentes en procesos de producción, procesamiento, conservación, monitoreo, simulación, modelamiento, y manejo de los recursos naturales que garantice la soberanía alimentaria y el cumplimiento de los objetivo de desarrollo sostenible “hambre cero”.

Objetivo: por lo tanto, se planteó el análisis de la revisión bibliométrica sobre la gestión sostenible de los recursos naturales con tecnologías inteligentes para optimizar la producción de alimentos saludables, nutritivos y sostenibles.

Método: se exploró la información científica mediante el empleo de la base de datos Scopus, durante un periodo de seis años, con la utilización de la metodología (PRISMA, 2020).

Resultados: la evolución en la aplicabilidad de una agricultura climáticamente inteligente en las economías emergentes promete contribuciones a corto plazo para erradicar el hambre en el mundo con una hibridación en la conservación de los recursos naturales así lo demuestra el interés de la comunidad científica desde al año 2022 con 110 publicaciones de alto impacto.

Conclusiones: Para finalizar la incorporación de las tecnologías inteligentes como la industria 4.0, 5.0, IoT, IA, robótica, riego inteligente, imágenes satelitales, simulación, aprendizaje autónomo, Big Data, blockchain permitirán garantizar alimentos sanos, nutritivos y sostenibles

Palabras clave: Gestión Sostenible; Recursos Naturales; Tecnologías Inteligentes; Producción Alimentaria.

INTRODUCCIÓN

En el último decenio las tecnologías emergentes digitales han emergido desde una percepción disruptiva, proporcionando al sector primaria de producción de alimentos soluciones eficientes en base al: ^(1,2) internet de las cosas (IoT), macrodatos, inteligencia artificial generativa (IAg), teledetección inteligente, simulación en tiempo real, aprendizaje profundo, ^(3,4,5,6,7) que permita una correcta gestión sostenible de los recursos naturales de manera especial del recurso hídrico, en la producción de alimentos bajo declaratorias internacionales que involucra los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS 2030, “hambre cero” de bajo coste, tradicionalmente propios de cada comunidad y de bajo impacto ambiental, que garantiza la seguridad alimentaria mundial sin alterar los ciclos vitales de la naturaleza. ^(3,8,9,10,11)

Cabe mencionar que la agricultura de precisión o inteligente, integra tecnologías adicionales como las tecnologías de comunicación, robots, industria 4.0, 5.0, sensores agrícolas, nanomateriales (NM), computación en la nube, análisis de datos, vehículos aéreos no tripulados equipados con cámaras de alta resolución interconectadas con prácticas de agricultura convencional o ancestral. ^(12,13,14,15,16,17) Finalmente la adopción de esta agricultura climáticamente inteligente integra prácticas de responsabilidad social y ambiental, ⁽¹⁸⁾ desarrollo de tecnologías de producción de energía limpia e asequible, ⁽¹⁹⁾ el incremento de la productividad sostenible de los alimentos, ⁽²⁰⁾ y la atención en procesos investigativos, desarrollo, investigación y tecnológicos I+D+I+T ⁽²¹⁾

Por otro lado, la adopción de estas tecnologías vanguardistas permitirán incrementar la productividad de las actividad agropecuarias mediante la automatización de la industria alimentaria, ⁽²²⁾ en la visión de una agricultura futurista 4.0 sostenible con los principios sociales, económicos, ambientales, culturales y tecnológicos, ⁽²³⁾ considerando el papel importa para la toma de decisiones en base a metadatos de una agricultura inteligentes, ⁽²⁴⁾ considerando que la producción de alimentos a nivel mundial tendrá que proveer de un 70 % adicional a la demanda actual para el año 2050 un reto para las ciencias tecnológicas, agrícolas, pecuarias, acuícolas entre otras. ⁽²⁵⁾

Sin lugar a duda que la aplicabilidad de estas tecnologías aporta ventajas competitivas para la agricultura ecológica inteligente e investigación científica correlacionados con la producción de alimentos sanos, nutritivos y ecológicamente limpios con los recursos suelo, aire y agua cada vez predecibles al cambio climático (CC). ^(26,27,28,29) Para lo cual se conoce poco de este fenómeno antrópico en relación con el agua/nitrógeno en el rendimiento de maíz y sorgo, ⁽³⁰⁾ limitado por sequias, precipitaciones de carácter extremo y aumento de la temperatura del globo terrestre. ⁽³¹⁾

Finalmente, la importancia y su influencia en la adopción de la agricultura inteligente en lugares con nulo o limitado conocimiento digital es poco estudiado, ⁽³²⁾ por lo que este estudio bibliométrico dará respuestas a las interrogantes de la gestión sostenible del recurso natural bajo la aplicabilidad de las tecnologías inteligentes en la producción de alimentos en constante evolución, desde una perspectiva sistémica integral.

MÉTODO

El estudio fue de índole bibliométrico y revisión, se llevó a cabo un minado de la información científica en los meses de marzo - abril de 2024, con la ayuda de las bases de datos electrónicos Scopus, el mayor portal de análisis sobre tecnología y agricultura que contienen títulos, resúmenes, palabras clave y textos completos.

La investigación se basó en la declaración metodológica para la presentación de artículos científicos de revisión Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses (PRISMA 2020) planteado por los investigadores, ⁽³³⁾ que permite transparentar el porqué de la revisión, qué hicieron los autores y qué encontraron, ^(29,39) para lo cual se utilizó las palabras clave relacionadas con la temática del análisis,

correspondiente a la siguiente serie “Gestión Sostenible”, “Recursos Naturales”, “Tecnologías Inteligentes”, y “Producción Alimentaria”, Después de analizar los títulos, resúmenes, palabras clave en idioma inglés, se excluyeron los artículos duplicados, inaccesibles, así como los artículos no relevantes, adicional los capítulos de libros, e indexaciones incompletas lo que resultó en un total de 162 artículos que consideran aportes significativos en la producción alimentaria sostenible en miras de alcanzar los ODS 2030,^(36,37,38,39) como se aprecia en la figura 1.

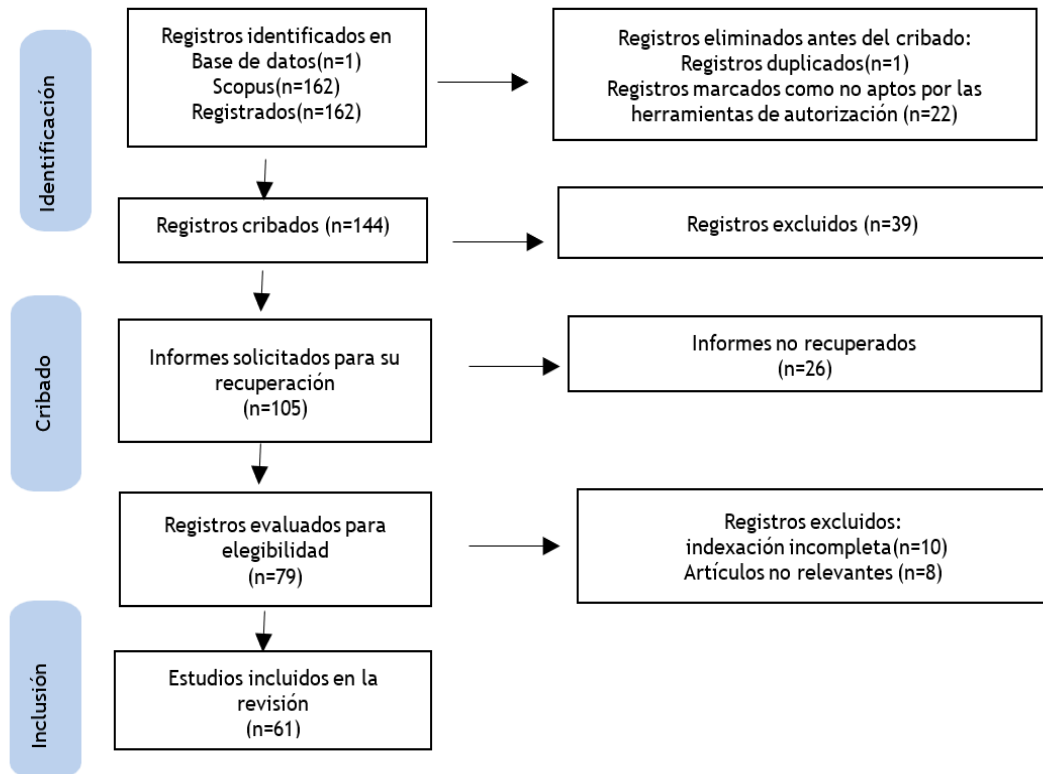


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA. 2020

RESULTADOS

El análisis bibliométrico de estudios relacionados con la gestión sostenible de los recursos naturales con tecnologías inteligentes en la producción de alimentos se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Aportes proporcionados por cada autor en sus artículos de investigación científica en la revisión bibliométrica

Título de la investigación	Autor	Aporte
Siri, Siri, in my hand: Who’s the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence.	⁽⁴⁰⁾	Evolución de la IA (IA restringida, general, superinteligencia artificial, IA humanizada.) con un modelo de las 3C, en la aplicabilidad de la gestión de los recursos naturales Confianza, Cambio y Control.
Exploring artificial intelligence for applications of drones in forest ecology and management. Forest Ecology and Management. Can Drones Help Smallholder Farmers Improve Agriculture Efficiencies and Reduce Food Insecurity in Sub-Saharan Africa? Local Perceptions from Malawi	^(41,42)	Los drones han evolucionado las diversas operaciones de gestión del agua en los páramos y en la agricultura de precisión que ha generado impactos significativos en la seguridad alimentaria y climática con la ayuda de la IA.
The Fourth-Revolution in the Water Sector Encounters the Digital Revolution	^(43,44)	Combinar el poder del análisis de Big Data (incluida la IA) en la gestión del agua a futuro representa una oportunidad de sostenibilidad económica y ambiental.
FIWARE-Compatible Smart Data Models for Satellite Imagery and Flood Risk Assessment to Enhance Data Management	⁽⁴⁵⁾	Al impulsar procesos analíticos avanzados de IA, conducirá a una gestión eficiente de los datos sobre el agua en lugares que disponen del recurso hídrico pero que poseen una mala gobernanza del recurso que permita garantizar la gobernabilidad y el desarrollo sostenible

Evidence of the potential benefits of digital technology integration in Asian agronomy and forestry: A systematic review Smart and sustainable agriculture: Fundamentals, enabling technologies, and future directions	(46,47,48)	El aumento de la población a escala global y con ello la creciente demanda de alimentos requieren de soluciones tecnológicas de inteligencia digital que proveen de una mayor productividad, sostenibilidad y oportunidades en la gestión de los recursos naturales y en las granjas inteligentes.
Research priorities to leverage smart digital technologies for sustainable crop production Remote Sensing and Decision Support System Applications in Precision Agriculture: Challenges and Possibilities Evaluación de hardware de una red de IoT agrícola basada en clústeres IoT-based smart irrigation management system using real-time data Climate-smart agriculture using intelligent techniques, blockchain and Internet of Things: Concepts, challenges, and opportunities	(23,49,50,51,52)	La agricultura tradición enfrenta serios problemas entre los que se puede citar: cambio climático, pérdida de la biodiversidad endémica, incremento de la demanda alimentaria, producción de biocombustibles entre otros por lo que los recientes avances digitales en teledetección, simulación, aprendizaje autónomo, modelamiento, industria agrícola 4.0, blockchain y robótica ofrecen alternativas inteligentes para la gestión sostenible de alimentos.
Internet of Things (IoT) in digital gricultura: An overview Adoption of gric farm networks: a translational process to inform digital agricultural technologies	(48,49)	La producción de alimentos enfrenta desafíos cruciales por los aspectos ambientales afectados como la degradación del suelo, limitado acceso al agua, migración de plagas, calentamiento global cambio climático entre otros, por lo que los sistemas modernos basados en tecnologías como él (IoT), la teledetección, la computación en la nube y el análisis Big Data en la agricultura inteligente permitirá una colaboración en tecnologías futuristas y comunicación no humana en el sector agrícola primario.
Sustainable AI-based production gricultura: Exploring AI applications and implications in agricultural practices	(55)	El establecer una agricultura de bajo impacto ambiental sostenible capaz de garantizar la inseguridad alimentaria de diez mil millones de personas hasta el año 2050, se requiere el empleo de tecnologías inteligentes y el avance de la IA en los procesos de producción de alimentos.
Implementation of an in-field IoT system for precision irrigation management An autonomous IoT platform with security mechanisms for smart agricultura IoT-based smart irrigation management system using real-time data	(18,46,51)	El desarrollo de estaciones con sensores basados en el internet de las cosas IoT, mediante la aplicación de teléfonos inteligentes para la gestión del riego en la agricultura de precisión para la gestionar los recursos hídricos de una manera eficiente para poder combatir el CC.
Sustainable Crop Protection via Robotics and Artificial Intelligence Solutions	(57)	La adopción de la industria 5.0 en a la agricultura inteligente es el planteamiento inteligente, eficaz y ecológica en la gestión de los recursos naturales
Effect of Adoption of Climate-Smart-Agriculture Technologies on Cereal Production, Food Security and Food Diversity in Central Mali	(58)	La investigación analiza el efecto sobre la seguridad alimentaria con la incorporación de nuevas tecnologías digitales a través de escuelas de campo para agricultores en el proyecto “Adaptación de la agricultura y la ganadería al cambio climático”

El estudio bibliométrico, según el año de publicación se aprecia en la figura 2, en el cual las principales investigaciones sobre la gestión de los recursos naturales con la aplicación de tecnologías inteligentes en la producción alimentaria han registrado un pico de producción científica para los años 2022 y 2023 con 39 y 44 artículos de alto impacto sobre el análisis del estudio respectivamente.

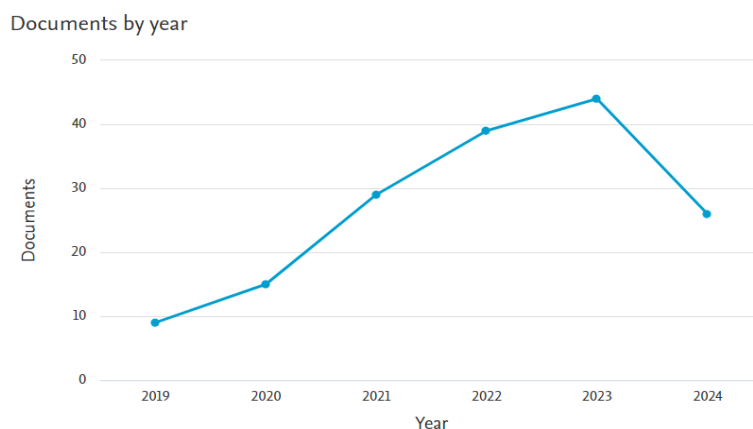


Figura 2. Análisis bibliométrico a partir del año de publicación 2019 - 2024

De acuerdo con la información científica, los países de procedencia del estudio se observan en la figura 3, sobre la gestión de los recursos naturales con aplicaciones de tecnologías inteligentes digitales para la producción alimentaria, disponen de una mayor incidencia en los países que se detallan a continuación: Estados Unidos, Reino Unido, Italia y Pakistán con 23, 15 y 13 estos dos últimos países.

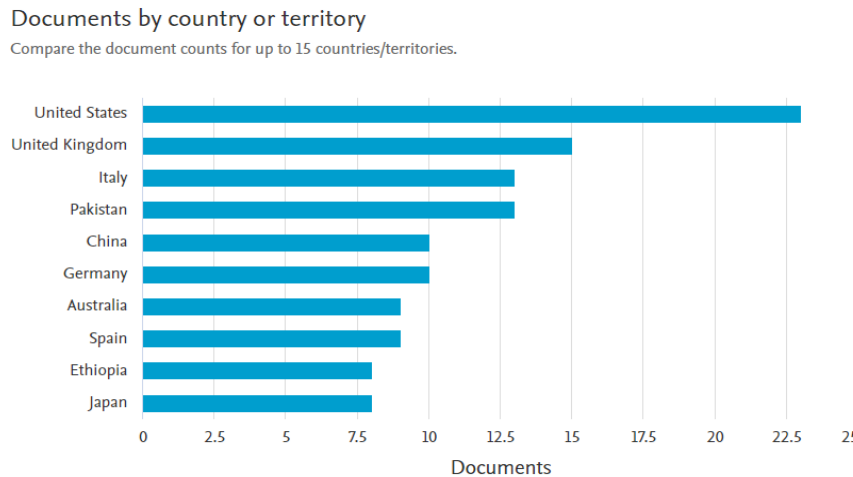


Figura 3. Análisis según país de publicación de procedencia del estudio científico

El análisis bibliométrico, considerando el tipo de documento analizado para el presente estudio que se contempla en la figura 4, se observa que la totalidad de mano escritos se encuentran indexados en la base de datos Scopus y el resultado es del 100 %, mismo porcentaje obtenido por medio del tipo de fuente como un criterio de inclusión para la presente investigación.

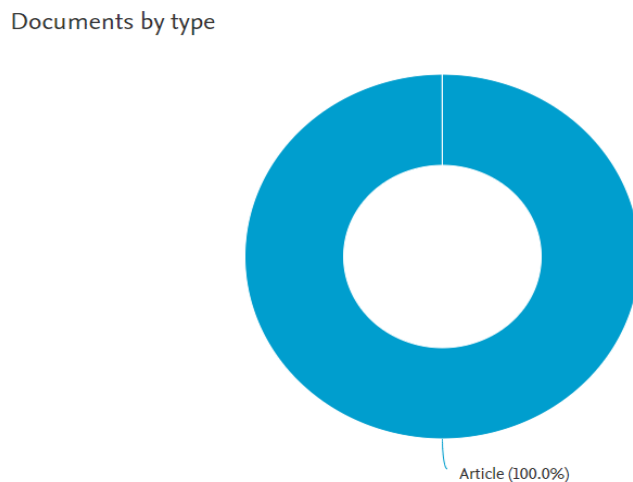


Figura 4. Análisis bibliométrico considerando el tipo de documento

DISCUSIÓN

La investigación bibliométrica recalca los primeros hallazgos relacionados con la aplicabilidad en la era digital en la producción de alimentos climáticamente inteligentes de las fuentes científicas analizadas, permitiendo una transformación destructiva en la manera de producir alimentos de origen ecológica considerando la conservación de los recursos naturales, bajo este panorama real el fin del estudio se centro en el análisis de la aplicabilidad de las tecnologías emergentes digitales en la producción de alimentos bajo estándares de conservación de los recursos naturales.

Para el estudio de identificaron un total de 162 documentos científicos de relevancia alojados en la base de datos Scopus, de la misma manera se evidencia el aumento de la producción científica en el tema en los años 2021, 2022 y 2023, cuya tendencia continua en lo que va del año 2024. Esto puede ver resultado de varios variables como la economía, la educación ambiental, el cambio generacional y sobre todo al manifiesto emitido en el año 2015 de la Agenda del Nuevo Milenio conocido también con el acrónimo ODS, Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030.^(59,60)

Adicional la existencia de investigaciones como el caso de,⁽¹⁸⁾ evaluaron la adopción de la producción de alimentos climáticamente inteligente que produce mayores rendimientos en los cultivos provocando mayores ingresos económicos a las familias del agro que contribuyen a la sostenibilidad ambiental, y tecnológica aliviando la pobreza en el ruralidad y la resiliencia climática en espacios agrícolas contribuyendo a alcanzar los ODS de las Naciones Unidas (ONU).

Otro tópico de la investigación demuestra que fueron excluidos estudios de conferencias, capítulos de libro, y cartas al editor, este resultado es compatible por la expresión de,⁽⁶¹⁾ sobre el empleo de la tecnología de sensores inteligentes en la agricultura local y su incidencia positiva en el cambio climático mundial.

Por otra parte, en función de la revisión bibliométrica se propone un enfoque integrador de las tecnologías inteligentes en los procesos de producción alimentaria que involucre la comercialización, industrialización y gestión eficiente de los residuos generados en la actividad, que conlleve a una sinergia de los pilares de sostenibilidad ambiental, social y tecnológico, este último como un eje transversal en la maximización de alimentos de origen animal y vegetal.

Finalmente, la actividad agrícola ecológicamente inteligente involucra ciencias multidisciplinares, como la biología, agrotecnia, tecnologías como la IA, IoT, y sin lugar a dudas su impacto en el desarrollo en las redes de productores socialmente responsables con la conservación de la naturaleza,⁽⁶²⁾ que garanticen una correcta provisión de alimentos para la especie humana en este mundo globalizado y digital.

CONCLUSIONES

La tecnología digital al servicio de la producción de alimentos sin lugar a dudas desemboca en la gestión y conservación de los recursos naturales bajo preceptos de modelos de producción adaptativa, resiliente, y sostenible que permitan incorporar tecnologías como la industria 4.0, 5.0, IoT, IA, robótica, riego inteligente, imágenes satelitales, simulación, aprendizaje autónomo, Big Data, blockchain entre otras tecnologías inteligentes que permitan alcanzar el romanticismo de la lírica “hambre cero” en base a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030, considerando que estas aplicaciones inteligentes vanguardistas no se encuentra al alcance de los países pobres y en vías de desarrollo, por lo que amerita la democratización de las fuentes tecnológicas para incrementar la producción de alimentos a nivel global.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Li W, Ma Z, Li J, Li Q, Li Y, Yang J. Digital Twin Smart Water Conservancy: Status, Challenges, and Prospects. *Water*. enero de 2024;16(14):2038.
2. Erokhin V, Mouloudj K, Bouarar AC, Mouloudj S, Gao T. Investigating Farmers' Intentions to Reduce Water Waste through Water-Smart Farming Technologies. *Sustainability*. enero de 2024;16(11):4638.
3. Benameur R, Dahane A, Kechar B, Benyamina AEH. An Innovative Smart and Sustainable Low-Cost Irrigation System for Anomaly Detection Using Deep Learning. *Sensors*. enero de 2024;24(4):1162.
4. Tao F, Zhang M. Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing. *IEEE Access*. 2017;5:20418-27.
5. Lamrini M, Ben Mahria B, Chkouri MY, Touhafi A. Towards Reliability in Smart Water Sensing Technology: Evaluating Classical Machine Learning Models for Outlier Detection. *Sensors*. enero de 2024;24(13):4084.
6. Perelli C, Branca G, Corbari C, Mancini M. Physical and Economic Water Productivity in Agriculture between Traditional and Water-Saving Irrigation Systems: A Case Study in Southern Italy. *Sustainability*. enero de 2024;16(12):4971.
7. Fuentes-Peñailillo F, Gutter K, Vega R, Silva GC. Transformative Technologies in Digital Agriculture: Leveraging Internet of Things, Remote Sensing, and Artificial Intelligence for Smart Crop Management. *J Sens Actuator Netw*. agosto de 2024;13(4):39.
8. Okoli NJ, Kabaso B. Building a Smart Water City: IoT Smart Water Technologies, Applications, and Future Directions. *Water*. enero de 2024;16(4):557.
9. Mitra A, Vangipuram SLT, Bapatla AK, Bathalapalli VKVV, Mohanty SP, Kougianos E, et al. Everything You wanted to Know about Smart Agriculture. *arXiv*; 2022. <http://arxiv.org/abs/2201.04754>
10. García L, Parra L, Jimenez JM, Lloret J, Lorenz P. IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview

on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture. *Sensors*. enero de 2020;20(4):1042.

11. Citoni B, Fioranelli F, Imran MA, Abbasi QH. Internet of Things and LoRaWAN-Enabled Future Smart Farming. *IEEE Internet Things Mag*. diciembre de 2019;2(4):14-9.

12. Guevara I, Ryan S, Singh A, Brandon C, Margaria T. Edge IoT Prototyping Using Model-Driven Representations: A Use Case for Smart Agriculture. *Sensors*. enero de 2024;24(2):495.

13. Zia H, Rehman A, Harris NR, Fatima S, Khurram M. An Experimental Comparison of IoT-Based and Traditional Irrigation Scheduling on a Flood-Irrigated Subtropical Lemon Farm. *Sensors*. enero de 2021;21(12):4175.

14. Dahane A, Benameur R, Kechar B, Benyamina A. An IoT Based Smart Farming System Using Machine Learning. En: 2020 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC) [Internet]. 2020 [citado 27 de julio de 2024]. p. 1-6. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9297341>

15. Ali A, Hussain T, Tantashutikun N, Hussain N, Cocetta G. Application of Smart Techniques, Internet of Things and Data Mining for Resource Use Efficient and Sustainable Crop Production. *Agriculture*. febrero de 2023;13(2):397.

16. An C, Sun C, Li N, Huang B, Jiang J, Shen Y, et al. Nanomaterials and nanotechnology for the delivery of agrochemicals: strategies towards sustainable agriculture. *J Nanobiotechnology*. 4 de enero de 2022;20(1):11.

17. Maslekar NV, Kulkarni KP, Chakravarthy AK. Application of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Pest Surveillance, Monitoring and Management. En: Chakravarthy AK, editor. *Innovative Pest Management Approaches for the 21st Century: Harnessing Automated Unmanned Technologies* [Internet]. Singapore: Springer; 2020 [citado 27 de julio de 2024]. p. 27-45. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0794-6_2

18. Ma W, Rahut DB. Climate-smart agriculture: adoption, impacts, and implications for sustainable development. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. 29 de abril de 2024;29(5):44.

19. Dhal S, Wyatt BM, Mahanta S, Bhattarai N, Sharma S, Rout T, et al. Internet of Things (IoT) in digital agriculture: An overview. *Agron J*. 2024;116(3):1144-63.

20. Zheng H, Ma W, He Q. Climate-smart agricultural practices for enhanced farm productivity, income, resilience, and greenhouse gas mitigation: a comprehensive review. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. 21 de marzo de 2024;29(4):28.

21. Khademi Noshabadi SM, Omid Najafabadi M, Mirdamadi SM. Uptake of climate-smart agricultural technologies and practices: a three-phase behavioral model. *Front Sustain Food Syst* [Internet]. 30 de mayo de 2024 [citado 1 de octubre de 2024];8. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2024.1389368/full>

22. Rehman A, Saba T, Kashif M, Fati SM, Bahaj SA, Chaudhry H. A Revisit of Internet of Things Technologies for Monitoring and Control Strategies in Smart Agriculture. *Agronomy*. enero de 2022;12(1):127.

23. Mehedi IM, Hanif MS, Bilal M, Vellingiri MT, Palaniswamy T. Remote Sensing and Decision Support System Applications in Precision Agriculture: Challenges and Possibilities. *IEEE Access*. 2024;12:44786-98.

24. Sunhare P, Chowdhary RR, Chattopadhyay MK. Internet of things and data mining: An application oriented survey. *J King Saud Univ - Comput Inf Sci*. 1 de junio de 2022;34(6, Part B):3569-90.

25. Khan MA, Akram T, Sharif M, Awais M, Javed K, Ali H, et al. CCDF: Automatic system for segmentation and recognition of fruit crops diseases based on correlation coefficient and deep CNN features. *Comput Electron Agric*. 1 de diciembre de 2018;155:220-36.

26. Antony AP, Leith K, Jolley C, Lu J, Sweeney DJ. A Review of Practice and Implementation of the Internet of Things (IoT) for Smallholder Agriculture. *Sustainability*. enero de 2020;12(9):3750.

27. Affoh R, Zheng H, Zhang X, Wang X, Dangui K, Zhang L. Climate-Smart Agriculture as an Adaptation Measure to Climate Change in Togo: Determinants of Choices and Its Impact on Rural Households' Food Security. *Agronomy.* julio de 2024;14(7):1540.
28. Bashiru M, Ouedraogo M, Ouedraogo A, Läderach P. Smart Farming Technologies for Sustainable Agriculture: A Review of the Promotion and Adoption Strategies by Smallholders in Sub-Saharan Africa. *Sustainability.* enero de 2024;16(11):4817.
29. Nadeem F, Jacobs B, Cordell D. Adapting to Climate Change in Vulnerable Areas: Farmers' Perceptions in the Punjab, Pakistan. *Climate.* mayo de 2024;12(5):58.
30. Amouzou KA, Lamers JPA, Naab JB, Borgemeister C, Vlek PLG, Becker M. Climate change impact on water- and nitrogen-use efficiencies and yields of maize and sorghum in the northern Benin dry savanna, West Africa. *Field Crops Res.* 1 de abril de 2019;235:104-17.
31. Mabitsela MM, Motsi H, Hull KJ, Labuschagne DP, Booysen MJ, Mavengahama S, et al. First report of aeroponically grown Bambara groundnut, an African indigenous hypogeal legume: Implications for climate adaptation. *Heliyon.* 1 de marzo de 2023;9(3):e14675.
32. Holler J, Bernier Q, Roberts JT, Robinson S ann. Transformational Adaptation in Least Developed Countries: Does Expanded Stakeholder Participation Make a Difference? *Sustainability.* enero de 2020;12(4):1657.
33. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *J Clin Epidemiol.* 1 de junio de 2021;134:178-89.
34. Albhirat MM, Rashid A, Rasheed R, Rasool S, Zulkiffl SNA, Zia-ul-Haq HM, et al. The PRISMA statement in enviropreneurship study: A systematic literature and a research agenda. *Clean Eng Technol.* 1 de febrero de 2024;18:100721.
35. Sánchez-Serrano S, Pedraza-Navarro I, Donoso-González M. ¿Cómo hacer una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA? Usos y estrategias fundamentales para su aplicación en el ámbito educativo a través de un caso práctico. *Bordón Rev Pedagog.* 30 de septiembre de 2022;74(3):51-66.
36. Garcia Rojas DC, Appelt JL, Epprecht M, Kounnavong S, Elbers C, Lanjouw PF, et al. Interactions between sustainable development goals at the district level in Lao PDR. *World Dev.* 1 de junio de 2024;178:106564.
37. Damiano R, Di Maria C. Exploring the role of companies and sustainability disclosure in achieving sustainable development goals: A focus on zero hunger and social inclusion. *Corp Soc Responsib Environ Manag.* 2024;31(4):2715-32.
38. Raman R, Lathabai HH, Patwardhan A, Harikumar S, Nedungadi P. Top 100 highly cited sustainability researchers. *Heliyon* [Internet]. 15 de abril de 2024 [citado 28 de julio de 2024];10(7). Disponible en: [https://www.cell.com/heliyon/abstract/S2405-8440\(24\)04635-8](https://www.cell.com/heliyon/abstract/S2405-8440(24)04635-8)
39. Peng B, Shuai C, Yin C, Qi H, Chen X. Progress toward SDG-2: Assessing food security in 93 countries with a multidimensional indicator system. *Sustain Dev.* 2024;32(1):815-62.
40. Kaplan A, Haenlein M. Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Bus Horiz.* 1 de enero de 2019;62(1):15-25.
41. Buchelt A, Adrowitzer A, Kieseberg P, Gollob C, Nothdurft A, Eresheim S, et al. Exploring artificial intelligence for applications of drones in forest ecology and management. *For Ecol Manag.* 1 de enero de 2024;551:121530.
42. McCarthy C, Nyoni Y, Kachamba DJ, Banda LB, Moyo B, Chisambi C, et al. Can Drones Help Smallholder Farmers Improve Agriculture Efficiencies and Reduce Food Insecurity in Sub-Saharan Africa? Local Perceptions from Malawi. *Agriculture.* mayo de 2023;13(5):1075.
43. Garrido-Baserba M, Corominas L, Cortés U, Rosso D, Poch M. The Fourth-Revolution in the Water Sector

Encounters the Digital Revolution. *Environ Sci Technol*. 21 de abril de 2020;54(8):4698-705.

44. Ishaque W, Mukhtar M, Tanvir R. Pakistan's water resource management: Ensuring water security for sustainable development. *Front Environ Sci [Internet]*. 20 de enero de 2023 [citado 28 de julio de 2024];11. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2023.1096747/full>

45. Kouloglou IO, Antzoulatos G, Vosinakis G, Lombardo F, Abella A, Bakratsas M, et al. FIWARE-Compatible Smart Data Models for Satellite Imagery and Flood Risk Assessment to Enhance Data Management. *Information*. mayo de 2024;15(5):257.

46. Azlan ZHZ, Junaini SN, Bolhassan NA. Evidence of the potential benefits of digital technology integration in Asian agronomy and forestry: A systematic review. *Agric Syst*. 1 de mayo de 2024;217:103947.

47. Jararweh Y, Fatima S, Jarrah M, AlZu'bi S. Smart and sustainable agriculture: Fundamentals, enabling technologies, and future directions. *Comput Electr Eng*. 1 de septiembre de 2023;110:108799.

48. Popkova EG, Litvinova TN, Kolieva AE, Dugina TA, Agalakova OS. INCREASING FOOD QUALITY AT SMART FARMS AS A PROMISING PATH FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE AND FOOD SECURITY. *Int J Qual Res*. 30 de noviembre de 2023;17(3):1265-76.

49. Storm H, Seidel SJ, Klingbeil L, Ewert F, Vereecken H, Amelung W, et al. Research priorities to leverage smart digital technologies for sustainable crop production. *Eur J Agron*. 1 de mayo de 2024;156:127178.

50. Emmanuel Effah. Evaluación de hardware de una red de IoT agrícola basada en clústeres. *Revistas y publicaciones del IEEE | IEEE Xplore [Internet]*. [citado 28 de julio de 2024]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10445220?>

51. Hafian A, Benbrahim M, Kabbaj MN. IoT-based smart irrigation management system using real-time data. *Int J Electr Comput Eng IJECE*. 1 de diciembre de 2023;13(6):7078-88.

52. Ahmed RA, Hemdan EED, El-Shafai W, Ahmed ZA, El-Rabaie ESM, Abd El-Samie FE. Climate-smart agriculture using intelligent techniques, blockchain and Internet of Things: Concepts, challenges, and opportunities. *Trans Emerg Telecommun Technol*. 2022;33(11):e4607.

53. Dhal S, Wyatt BM, Mahanta S, Bhattarai N, Sharma S, Rout T, et al. Internet of Things (IoT) in digital agriculture: An overview. *Agron J*. 2024;116(3):1144-63.

54. Bekee B, Segovia MS, Valdivia C. Adoption of smart farm networks: a translational process to inform digital agricultural technologies. *Agric Hum Values [Internet]*. 5 de abril de 2024 [citado 28 de julio de 2024]; Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10460-024-10566-3>

55. Mana AA, Allouhi A, Hamrani A, Rehman S, el Jamaoui I, Jayachandran K. Sustainable AI-based production agriculture: Exploring AI applications and implications in agricultural practices. *Smart Agric Technol*. 1 de marzo de 2024;7:100416.

56. Dong Y, Werling B, Cao Z, Li G. Implementation of an in-field IoT system for precision irrigation management. *Front Water [Internet]*. 15 de febrero de 2024 [citado 28 de julio de 2024];6. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/water/articles/10.3389/frwa.2024.1353597/full>

57. Balaska V, Adamidou Z, Vryzas Z, Gasteratos A. Sustainable Crop Protection via Robotics and Artificial Intelligence Solutions. *Machines*. agosto de 2023;11(8):774.

58. Sissoko P, Guindo SS, Togola S, Dembélé BD, Grimsby LK, Aune JB. Effect of Adoption of Climate-Smart-Agriculture Technologies on Cereal Production, Food Security and Food Diversity in Central Mali. *Agriculture*. junio de 2023;13(6):1196.

59. Ajeigbe KB, Ganda F. Leveraging Food Security and Environmental Sustainability in Achieving Sustainable Development Goals: Evidence from a Global Perspective. *Sustainability*. enero de 2024;16(18):7969.

60. Carrazco DIC, Escobar JOC, Vinueza DFF, Godoy MMP. AI-based fragile ecosystems for Andean paramo conservation. RISTI - Rev Iber Sist E Tecnol Inf. 2024;2024(E70):749-59.

61. Nramat W, Traiphath W, Sukruan P, Utaprom P, Tongsawai S, Namgaew S, et al. Developing a prototype centre using agricultural smart sensors to promote agrarian production with technology. EUREKA Phys Eng. 19 de enero de 2023;(1):54-66.

62. Nakelse T, Dennis E. A Review of Sustainable Indices Relevant to the Agri-Food Industry. Sustainability. enero de 2024;16(18):8232.

FINANCIACIÓN

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

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: Diego Cajamarca Carrazco, Edwin Rogelio Guanga Casco, Santiago Mauricio Salazar-Torres, Danny Josue Montalvo Zambrano, Eleonora-Melissa Layana-Bajana, Winston Fernando Zamora Burbano, María Magdalena Paredes Godoy.

Curación de datos: Diego Cajamarca Carrazco, Santiago Mauricio Salazar-Torres, María Magdalena Paredes Godoy.

Análisis formal: Diego Cajamarca Carrazco, Edwin Rogelio Guanga Casco, Santiago Mauricio Salazar-Torres, María Magdalena Paredes Godoy.

Investigación: Diego Cajamarca Carrazco, Edwin Rogelio Guanga Casco, Santiago Mauricio Salazar-Torres, Danny Josue Montalvo Zambrano, Eleonora-Melissa Layana-Bajana, Winston Fernando Zamora Burbano, María Magdalena Paredes Godoy.

Metodología: Diego Cajamarca Carrazco, Edwin Rogelio Guanga Casco, Santiago Mauricio Salazar-Torres, Danny Josue Montalvo Zambrano, Eleonora-Melissa Layana-Bajana, Winston Fernando Zamora Burbano, María Magdalena Paredes Godoy.

Software: Diego Cajamarca Carrazco, Edwin Rogelio Guanga Casco, Santiago Mauricio Salazar-Torres, María Magdalena Paredes Godoy.

Supervisión: Diego Cajamarca Carrazco, Santiago Mauricio Salazar-Torres, María Magdalena Paredes Godoy.

Validación: Diego Cajamarca Carrazco, Santiago Mauricio Salazar-Torres, María Magdalena Paredes Godoy.

Visualización: Diego Cajamarca Carrazco, Edwin Rogelio Guanga Casco, Santiago Mauricio Salazar-Torres, Danny Josue Montalvo Zambrano, Eleonora-Melissa Layana-Bajana, Winston Fernando Zamora Burbano, María Magdalena Paredes Godoy.

Redacción - borrador original: Diego Cajamarca Carrazco, Edwin Rogelio Guanga Casco, Santiago Mauricio Salazar-Torres, Danny Josue Montalvo Zambrano, Eleonora-Melissa Layana-Bajana, Winston Fernando Zamora Burbano, María Magdalena Paredes Godoy.

Redacción - revisión y edición: Diego Cajamarca Carrazco, Edwin Rogelio Guanga Casco, Santiago Mauricio Salazar-Torres, Danny Josue Montalvo Zambrano, Eleonora-Melissa Layana-Bajana, Winston Fernando Zamora Burbano, María Magdalena Paredes Godoy.