
DEL SUELO AL SOFTWARE: LA DIGITALIZACIÓN DE LA AGRICULTURA PARA UN MUNDO MÁS SOSTENIBLE

Lipsetotte de Jesús Infante Rivera^{1*}, Nibci Mercedes Gabriela Pinto Infante²,
Dulce Althayra Saulips Rodríguez Infante³

¹ Universidad Adventista de Chile, Núcleo de Investigación, Chillán, Chile, e-mail: linfante@continental.edu.pe, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6094-1070>

² Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales "Rómulo Gallegos", Área de Ingeniería de Sistemas, San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela, e-mail: pinto.gabriela31@gmail.com, Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-6643-2316>

³ Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales "Rómulo Gallegos", Área de Ingeniería Agronómica, San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela, e-mail: dulce.r0601@gmail.com, Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-7034-3550>

* Autor de correspondencia

Recibido: 09/04/2025; Aceptado: 15/ 05/2025; Publicado: 30/06/2025

RESUMEN

El estudio propuso examinar exhaustivamente el impacto de la digitalización en la agricultura, con el objetivo de sintetizar la evidencia existente sobre cómo las tecnologías digitales están transformando las prácticas agrícolas y contribuyendo a la sostenibilidad. Se empleó la metodología PRISMA para asegurar una revisión sistemática y transparente de la literatura, que incluyó la identificación de estudios relevantes en bases de datos como *PubMed*, *Scopus* y *Web of Science*, así como en repositorios de organizaciones internacionales. Tras aplicar criterios de inclusión y exclusión rigurosos, se seleccionaron estudios que abordan la aplicación de tecnologías digitales en la agricultura y su relación con la sostenibilidad, evaluando su calidad metodológica. Los principales hallazgos revelaron que la digitalización está impulsando mejoras significativas en la gestión de recursos y

la eficiencia productiva en la agricultura. La aplicación de tecnologías como el IoT, la IA y los sensores remotos permite una gestión más precisa de nutrientes, optimizando el uso de fertilizantes y reduciendo su impacto ambiental. Las conclusiones arrojaron que, la digitalización representa una oportunidad única para transformar la agricultura hacia un modelo más sostenible y resiliente, capaz de enfrentar los desafíos del cambio climático y garantizar la seguridad alimentaria. En el contexto venezolano, la digitalización puede ofrecer una vía para revitalizar el sector agrícola, pero su implementación exitosa requerirá un enfoque estratégico que considere las particularidades del país y promueva la colaboración entre los diferentes actores involucrados.

Palabras clave: Suelo, software, digitalización, agricultura, mundo, sostenible.

FROM SOIL TO SOFTWARE: DIGITALIZING AGRICULTURE FOR A MORE SUSTAINABLE WORLD

ABSTRACT

This study aimed to comprehensively examine the

impact of digitalization on agriculture, with the objective of synthesizing existing evidence on how

digital technologies are transforming agricultural practices and contributing to sustainability. The PRISMA methodology was used to ensure a systematic and transparent literature review, which included the identification of relevant studies in databases such as PubMed, Scopus, and Web of Science, as well as in repositories of international organizations. After applying rigorous inclusion and exclusion criteria, studies addressing the application of digital technologies in agriculture and their relationship with sustainability were selected, assessing their methodological quality. The main findings revealed that digitalization is driving significant improvements in resource management and production efficiency in agriculture. The application of technologies such as IoT, AI, and

remote sensing enables more precise nutrient management, optimizing fertilizer use and reducing their environmental impact. The conclusions showed that digitalization represents a unique opportunity to transform agriculture toward a more sustainable and resilient model, capable of addressing the challenges of climate change and ensuring food security. In the Venezuelan context, digitalization can offer a way to revitalize the agricultural sector, but its successful implementation will require a strategic approach that considers the country's specific characteristics and promotes collaboration among the various stakeholders involved.

Keywords: Soil, software, digitalization, agriculture, world, sustainable.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la agricultura enfrenta desafíos globales significativos como, por ejemplo, el cambio climático, el cual ha afectado en gran manera la escasez de recursos naturales y, por ende, garantizar la seguridad alimentaria se ha vuelto un reto tanto para los agricultores como para los gobernantes. Es importante destacar, que el cambio climático tiene un impacto especialmente significativo en la agricultura de los países en desarrollo que dependen fuertemente de la agricultura de subsistencia. En estos contextos, los agricultores son altamente vulnerables a las condiciones climáticas, lo que afecta directamente su producción y seguridad alimentaria. (Parra-López *et al.*, 2024)

Y es que, para abordar los desafíos crecientes en la producción agrícola, es crucial comprender mejor los ecosistemas agrícolas complejos. Las tecnologías digitales modernas permiten monitorear constantemente el entorno físico, generando grandes cantidades de datos a un ritmo acelerado (Kamilaris

et al., 2017).

Tecnologías utilizadas hoy en día, como los drones, los sensores remotos y las plataformas de gestión digital han permitido a los agricultores poder monitorear en tiempo real variables críticas tales como la calidad del suelo, el estado de los cultivos y las condiciones climáticas, entre otras. La agricultura inteligente marca un avance significativo hacia la sostenibilidad agrícola al incorporar tecnologías avanzadas como la computación en la nube, Internet de las Cosas (IoT), inteligencia artificial (IA) y sensores conectados, con el objetivo de mejorar y optimizar las prácticas agrícolas (Morchid, Marhoun, *et al.*, 2024). De acuerdo a (Morchid *et al.*, 2025) “este enfoque busca mejorar la eficiencia de los recursos, a la vez que reduce la huella ambiental y fortalece la resiliencia de los sistemas agrícolas ante los desafíos climáticos” (p. 2).

La automatización de los procesos agrícolas mediante el Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube contribuye a un uso más eficiente de la

energía y los recursos, a la vez que optimiza el rendimiento y reduce los costos de producción (Morchid, El Alami, *et al.*, 2024). También (Kimiti *et al.*, 2009) citado por (Dhanaraju *et al.*, 2022) hace referencia a que la instalación de sensores inalámbricos en los campos agrícolas permite a los agricultores recibir información en tiempo real, lo que les facilita tomar decisiones informadas y actuar de manera efectiva para maximizar los rendimientos de sus cultivos. La agricultura inteligente emerge como un enfoque innovador de gestión que integra el monitoreo, la planificación y el control inteligente de los procesos agrícolas, permitiendo una gestión más eficiente y sostenible (Leso *et al.*, 2022)

Para tratar el tema de la agricultura para un mundo más sostenible, hay que hacer referencia también a lo que es la agricultura sostenible, que de acuerdo a (Dhanaraju *et al.*, 2022) es una técnica agrícola que busca satisfacer las necesidades de la generación actual sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. Asimismo, aporta en un factor muy importante, y es que desempeña un papel fundamental en la preservación de los recursos naturales, la detención de la pérdida de biodiversidad y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Obaisi *et al.*, 2022).

Un estudio presentado por (Srisruthi *et al.*, 2016) se centró en mejorar la eficiencia del uso de la tierra y la mano de obra, conservar el agua, aumentar el rendimiento de los cultivos, reducir el desperdicio de energía y promover la automatización. Esto se logró mediante la

adopción de tecnologías inteligentes y ambientalmente responsables, que permitieron implementar métodos agrícolas más innovadores y sostenibles, beneficiando a la sociedad en general.

Se puede hablar entonces de una agricultura digital, esa que se basa en la aplicación de la tecnología con el fin de aportar nuevas soluciones tecnológicas a la agricultura, llamada hoy en día Agricultura 4.0. Aportes como el riego inteligente, la predicción de cultivos y plagas, el control robótico de plagas, la cosecha inteligente y la mejora de la trazabilidad del campo a la mesa, entre otras (Rodríguez & Montilla Rodríguez, 2024) son soluciones que permiten avanzar en cuanto a precisión e innovación se refiere.

La población actual se mide por el uso de la tecnología, y el campo o la agricultura no se han quedado atrás. La mayoría de las personas se maneja a través de un móvil o por aplicaciones que contribuyan a mejorar la calidad de su trabajo. Además, se espera que para este año 2025 que 41.6 mil millones de dispositivos recopilen datos sobre cómo trabajamos, vivimos, navegamos por nuestras ciudades y usamos y mantenemos las máquinas de las que dependemos (Sujay Vailshery, 2024)

En la investigación de (Mishra *et al.*, 2024) se hace referencia a que mejorar la producción agrícola, abordar las preocupaciones relacionadas con la agricultura, como las necesidades alimentarias, y conectar y mejorar de manera inteligente las granjas se logran mediante el uso de sistemas agrícolas basados en IoT. Ellos llegan a la

conclusión de que, en los últimos seis años, se ha observado un notable aumento de los sistemas agrícolas basados en IoT.

Asimismo, (Cimino *et al.*, 2024) en su investigación encontraron que los pequeños agricultores se sienten más motivados a adoptar la plataforma digital cuando la perciben como valiosa y capaz de generar los resultados deseados. Esto surge en medio de la relación hombre – dispositivo móvil, ya que, actualmente la mayoría de agendas, aplicaciones y sistemas se manejan de forma personal en los móviles de cada persona.

Por otro lado, se encuentra la gestión eficaz de nutrientes en las explotaciones agrícolas que es un elemento crucial para alcanzar altos rendimientos, mantener la calidad del producto, optimizar el uso de nutrientes y minimizar las pérdidas ambientales. Sin embargo, actualmente las herramientas de software están limitadas a tareas específicas y no se dispone de un sistema integral que abarque toda la gestión de nutrientes a nivel de explotación agrícola (Donauer *et al.*, 2025).

En países europeos ya se utilizan los fertilizantes, haciendo cálculos a través de sistemas digitales, lo que ha sido promovido por leyes gubernamentales; esto hace que cada vez más sean los agricultores que hacen uso de la tecnología en pro de la dinámica tecnológica para el bienestar de estos y, además, contribuyendo a un mundo sostenible. De hecho, ya existen algoritmos más sofisticados para calcular los requerimientos de fertilizantes, teniendo en cuenta factores como el

desarrollo específico del cultivo por año (Henke *et al.*, 2009), (Olf *et al.*, 2005), (Morris *et al.*, 2018), (Reau *et al.*, 1994) o la variabilidad específica del sitio del potencial de rendimiento y la absorción de nutrientes utilizando sistemas basados en sensores y satélites (Basso *et al.*, 2016), (Argento *et al.*, 2021), (Hagn *et al.*, 2025), (Müller *et al.*, 2008), (Raun *et al.*, 2002).

Para América Latina y el Caribe, (Sotomayor *et al.*, 2021), en representación de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura exponen que, la inteligencia artificial (IA), a través del análisis predictivo, identifica patrones en los cambios ambientales, lo que ayuda a mitigar su impacto en los cultivos y mejorar su productividad. Además, la integración de sensores en maquinaria agrícola como tractores, pulverizadoras y cosechadoras permite monitorear su rendimiento, automatizar su uso, reducir costos operativos y disminuir el consumo de energía.

En esta región, se están implementando tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia en la cadena de valor agroalimentaria. Las empresas de agtech, que combinan conocimiento y tecnología innovadora, utilizan herramientas como big data, inteligencia artificial (IA), Internet de las Cosas (IoT) y blockchain para optimizar diversos eslabones de las cadenas agrícolas, ganaderas y agroindustriales. Estos servicios suelen ofrecerse a través de plataformas digitales (Santos Valle y Kienzle 2020, Schroeder *et al.* 2021).

La región andina alberga 90 emprendimientos de Agtech que abarcan múltiples sectores y tecnologías. Estos emprendimientos ofrecen servicios en diferentes eslabones de la cadena de valor agroalimentaria, con una concentración significativa en Colombia y Perú, y una menor presencia en Ecuador, Bolivia y Venezuela. En estos países, la agricultura es diversificada, incluyendo cultivos extensivos tanto anuales como plurianuales, así como actividades ganaderas importantes para el empleo y las exportaciones (Bert *et al.*, 2023).

En Venezuela, un estudio reciente llevado a cabo por Chacón Ramírez *et al.* (2023) encontraron que los productores agrícolas están dispuestos a adoptar el paradigma AGRO 4.0, lo que implica gestionar eficientemente sus recursos hídricos y actividades productivas para lograr una producción más amigable con el medio ambiente. De la misma forma, se han llevado a cabo diferentes seminarios por parte de Agropecuarios de Venezuela (FEDEAGRO) y la Cooperación técnica directa del IICA en Venezuela entre otros, para incentivar la digitalización agroalimentaria en el país y que los productores puedan actualizarse en cuanto a las nuevas tecnologías se refiere (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2024). Es por ello que, en la presente investigación se quiso examinar la literatura necesaria a fin sintetizar la evidencia sobre la transformación de las tecnologías digitales en las prácticas agrícolas y contribuyendo a la sostenibilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la metodología PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) para

evidenciar las revisiones que se llevaron a cabo en el estudio de manera sistemáticas de manera transparente y rigurosa.

Descripción de las bases de datos y motores de búsqueda utilizados:

Se realizó una búsqueda exhaustiva en las siguientes bases de datos electrónicos y motores de búsqueda:

- **PubMed:** Base de datos de literatura biomédica mantenida por la Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos.
- **Scopus:** Base de datos multidisciplinaria de resúmenes y citas de artículos de revistas revisadas por pares.
- **Web of Science:** Plataforma que proporciona acceso a múltiples bases de datos bibliográficas, incluyendo el *Science Citation Index Expanded*, *Social Sciences Citation Index* y *Arts & Humanities Citation Index*.
- **Otras fuentes:** Se incluyen repositorios de organizaciones internacionales como el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la Universidad Nacional Abierta ya Distancia (UNAD) y plataformas de datos como Statista.

Términos de búsqueda específicos y estrategias de búsqueda utilizadas

Se utilizaron los siguientes términos de búsqueda, combinados con operadores

booleanos (AND, OR) para optimizar la precisión y exhaustividad de la búsqueda:

- «Agricultura digital» O «agricultura inteligente» O «agricultura de precisión»
- “Tecnología agrícola” O “agrotecnología” O “digitalización en la agricultura”
- «Agricultura sostenible» O «agricultura ecológica» O «agricultura climáticamente inteligente»
- “IoT en la agricultura” O “Internet de las cosas en la agricultura” O “sensores en la agricultura”
- “Big data en la agricultura” o “análisis de datos en la agricultura”

Criterios de inclusión y exclusión

Definición de los criterios para seleccionar estudios relevantes:

- Tipo de estudio: Se incluyen estudios empíricos (cuantitativos, cualitativos y mixtos), revisados sistemáticamente, metaanálisis y estudios de caso que abordaran la digitalización en la agricultura y su relación con la sostenibilidad.
- Idioma: Se incluyen estudios publicados en inglés, español y portugués.
- Contexto geográfico: Se considerarán estudios realizados en cualquier región del mundo.

Criterios para excluir estudios que no cumplieron con los requisitos establecidos:

- Estudios que no se centraban en tecnologías digitales aplicadas a la agricultura.
- Estudios que no abordaban la sostenibilidad como un resultado clave.
- Artículos de opinión, editoriales, cartas al editor y resúmenes de conferencias.

Se implementó la metodología PRISMA para evidenciar transparencia sobre la recolección de la literatura de la digitalización en la agricultura sostenible, comenzando con la identificación de 67 registros de bases de datos como *PubMed*, *Scopus*, *Web of Science*, IICA, CEPAL, UNAD y Statista, seguido de la eliminación de duplicados, el cribado de registros no relevantes basados en títulos y resúmenes, la evaluación de la idoneidad. a través de la lectura completa de los artículos preseleccionados, y finalmente, la inclusión de 28 estudios que cumplieron con los criterios de inclusión definidos, tales como enfoques en tecnologías digitales aplicadas a la agricultura y abordar la sostenibilidad como un resultado clave (Figura 1).

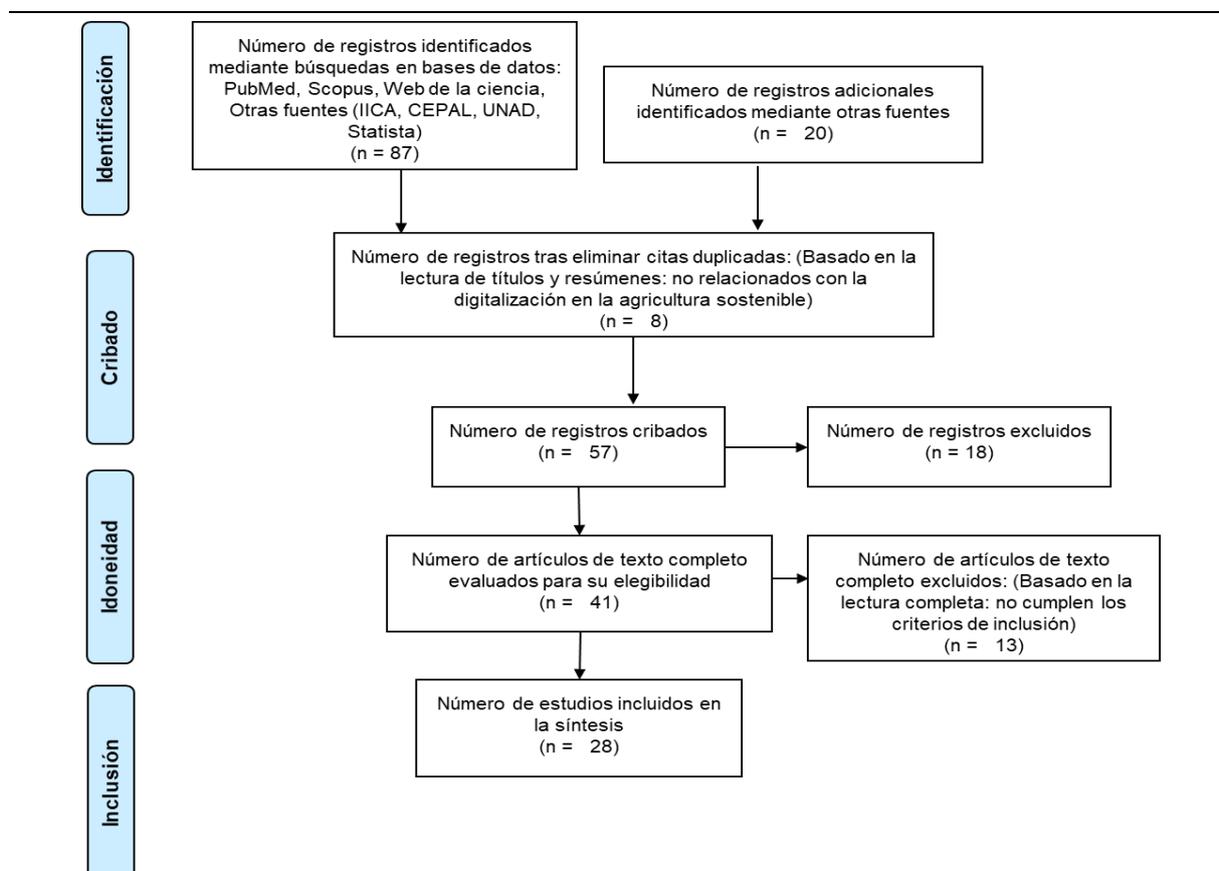


Figura 1. Metodología PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La digitalización de la agricultura, impulsada por tecnologías como el IoT, la IA y los sensores remotos, está redefiniendo las prácticas agrícolas hacia una mayor sostenibilidad y eficiencia. Estudios recientes destacan cómo la gestión específica de nutrientes basada en sensores mejora el rendimiento de los cultivos y reduce el impacto ambiental, con ejemplos concretos en la optimización del uso de nitrógeno (Hagn *et al.*, 2025; Donauer *et al.*, 2025; Argento *et al.*, 2021). Además, el IoT facilita el monitoreo en tiempo real de las condiciones de los cultivos, promoviendo prácticas más informadas y sostenibles (Morchid *et al.*, 2024; Dhanaraju *et al.*,

2022).

Sin embargo, la adopción generalizada de estas tecnologías enfrenta desafíos significativos, especialmente entre los pequeños agricultores. Las barreras económicas y técnicas limitan su capacidad para implementar soluciones AgTech, lo que subraya la necesidad de políticas de apoyo y programas de capacitación (Bert, Lanch y Del Río, 2023). Asimismo, es crucial prestar atención a la calidad de la arquitectura de software en los sistemas agrícolas basados en IoT para garantizar su robustez y eficacia (Mishra, Alzoubi y Gavrilovic, 2024).

En el futuro, la investigación debe centrarse en evaluar los impactos a largo plazo de la digitalización en la

sostenibilidad agrícola y en desarrollar soluciones innovadoras que sean enormes y accesibles para todos los agricultores. La colaboración entre investigadores, responsables de la formulación de políticas y el sector privado es esencial para impulsar la innovación y garantizar que las tecnologías digitales se utilicen de manera efectiva para promover un sistema alimentario más sostenible y resiliente (Parra-López *et al.*, 2024).

CONCLUSIONES

Basado en los hallazgos derivados de la metodología PRISMA, se pudo evidenciar que, la digitalización de la agricultura emerge como un factor transformador con el potencial de revolucionar las prácticas agrícolas a nivel global. La implementación de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), la Inteligencia Artificial (IA) y el uso de sensores remotos ha demostrado ser efectiva para optimizar la gestión de recursos, reducir el impacto ambiental y mejorar la productividad agrícola.

Sin embargo, la transición hacia la agricultura digital enfrenta desafíos significativos, particularmente en países en desarrollo y entre los pequeños agricultores. Las barreras económicas, la falta de acceso a la tecnología y las limitaciones en la capacitación representan obstáculos importantes para la adopción generalizada de estas innovaciones.

En el contexto de Venezuela, donde la agricultura enfrenta desafíos únicos debido a la situación económica que ha vivido el país, la digitalización podría

ofrecer una oportunidad para revitalizar el sector y mejorar la seguridad alimentaria, lo que supone un hallazgo significativo en ese sentido. Sin embargo, los entes gubernamentales encargados de la parte agroalimentaria, han realizado mejoras en cuanto al conocimiento y formación de los agricultores para sumar esfuerzos y poder atacar las problemáticas que se puedan presentar, haciendo uso de la tecnología para contrarrestar los efectos del cambio climático. Para ello, se requerirá la reconstrucción de infraestructuras acorde a al entorno agricultor venezolano.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los autores del estudio por hacer sus aportes a la investigación.

REFERENCIAS

- Argento, F., Anken, T., Abt, F., Vogelsanger, E., Walter, A., and Liebisch, F. (2021). Site-specific nitrogen management in winter wheat supported by low-altitude remote sensing and soil data. *Precision Agriculture*, 22(2), 364-386. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09733-3>
- Basso, B., Fiorentino, C., Cammarano, D., and Schulthess, U. (2016). Variable rate nitrogen fertilizer response in wheat using remote sensing. *Precision Agriculture*, 17(2), 168-182. <https://doi.org/10.1007/s11119-015-9414-9>
- Bert, F., Lanch, J., y Del Río, J. A. (2023). *Desarrollo agtech en la Región Andina: Casos de éxito y lecciones para el futuro* (Oficial V. Título. VI. Serie.; p. 87). Banco Interamericano de Desarrollo.

- <https://publications.iadb.org/es/desarrollo-agtech-en-la-region-andina-casos-de-exito-y-lecciones-para-el-futuro>
- Chacón Ramírez, E. A., Cardillo, J., Mora, L., y Hernández, M. Y. (2023). Agro 4.0: ¿Una posibilidad de mejora en el campo venezolano o una solución para la agricultura en Venezuela? *Agroalimentaria Journal - Revista Agroalimentaria*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.338829>
- Cimino, A., Coniglio, I. M., Corvello, V., Longo, F., Sagawa, J. K., and Solina, V. (2024). Exploring small farmers behavioral intention to adopt digital platforms for sustainable and successful agricultural ecosystems. *Technological Forecasting and Social Change*, 204, 123436. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123436>
- Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., and Kaliaperumal, R. (2022). Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. *Agriculture*, 12(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
- Donauer, J., Luthardt, M., Peter, C., Grunert, M., Ostermaier-Welz, A., Leßke, F., and Hülsbergen, K.-J. (2025). Web-based nutrient management with the software webBESyD—Scientific principles, software architecture and model validation. *Smart Agricultural Technology*, 11, 100859. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100859>
- Hagn, L., Mittermayer, M., Kern, A., Kimmelman, S., Maidl, F.-X., and Hülsbergen, K.-J. (2025). Effects of Sensor-Based, Site-Specific Nitrogen Fertilizer Application on Crop Yield, Nitrogen Balance, and Nitrogen Efficiency. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 25(3), 795. <https://doi.org/10.3390/s25030795>
- Henke, J., Sieling, K., Sauermann, W., and Kage, H. (2009). Analysing soil and canopy factors affecting optimum nitrogen fertilization rates of oilseed rape (*Brassica napus*). *The Journal of Agricultural Science*, 147(1), 1-8. <https://doi.org/10.1017/S0021859608008162>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2024, abril 19). *Primer Seminario Virtual IICA-FEDEAGRO “Opciones de tecnologías y emprendimientos digitales para el sector agropecuario de América Latina y el Caribe”* [Oficial]. Opciones de tecnologías/emprendimientos digitales sector agropecuario de América Latina y el Caribe; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://hdl.handle.net/11324/22500>
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., and Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23-37. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>
- Kimiti, J. M., Odee, D. W., and Vanlauwe, B. (2009). Area under grain legumes cultivation and problems faced by smallholder farmers in legume production in the semi-arid Eastern

- Kenya. *Journal of Sustainable Development in Africa*, 11(4), 305-315. <http://repository.seku.ac.ke/xmlui/handle/123456789/279>
- Leso, B. H., Enrique, D. V., and Peruchi, D. F. (2022). O papel do ecossistema de inovação para desenvolver uma agricultura inteligente. *Exacta*, 20(1), Article 1. <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.17362>
- Mishra, A., Alzoubi, Y. I., and Gavrilovic, N. (2024). Quality attributes of software architecture in IoT-based agricultural systems. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100523. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100523>
- Morchid, A., El Alami, R., Raezah, A. A., and Sabbar, Y. (2024). Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(3), 102509. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102509>
- Morchid, A., Et-taibi, B., Oughannou, Z., Alami, R. E., Qjidaa, H., Jamil, M. O., Boufounas, E.-M., and Abid, M. R. (2025). IoT-enabled smart agriculture for improving water management: A smart irrigation control using embedded systems and Server-Sent Events. *Scientific African*, 27, e02527. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02527>
- Morchid, A., Marhoun, M., El Alami, R., and Boukili, B. (2024). Intelligent detection for sustainable agriculture: A review of IoT-based embedded systems, cloud platforms, DL, and ML for plant disease detection. *Multimedia Tools and Applications*, 83(28), 70961-71000. <https://doi.org/10.1007/s11042-024-18392-9>
- Morris, T. F., Murrell, T. S., Beegle, D. B., Camberato, J. J., Ferguson, R. B., Grove, J., Ketterings, Q., Kyveryga, P. M., Laboski, C. A. M., McGrath, J. M., Meisinger, J. J., Melkonian, J., Moebius-Clune, B. N., Nafziger, E. D., Osmond, D., Sawyer, J. E., Scharf, P. C., Smith, W., Spargo, J. T., ... Yang, H. (2018). Strengths and Limitations of Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. *Agronomy Journal*, 110(1), 1-37. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.020112>
- Müller, K., Böttcher, U., Meyer-Schatz, F., and Kage, H. (2008). Analysis of vegetation indices derived from hyperspectral reflection measurements for estimating crop canopy parameters of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Biosystems Engineering*, 101(2), 172-182. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.07.004>
- Obaisi, A. I., Adegbeye, M. J., Elghandour, M. M. Y., Barbabosa-Pliego, A., and Salem, A. Z. M. (2022). Natural Resource Management and Sustainable Agriculture. En M. Lackner, B. Sajjadi, and W.-Y. Chen (Eds.), *Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation* (pp. 2577-2613). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72579-2_133

- Olf, H.-W., Blankenau, K., Brentrup, F., Jasper, J., Link, A., and Lammel, J. (2005). Soil- and plant-based nitrogen-fertilizer recommendations in arable farming. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 414-431. <https://doi.org/10.1002/jpln.200520526>
- Parra-López, C., Ben Abdallah, S., Garcia-Garcia, G., Hassoun, A., Sánchez-Zamora, P., Trollman, H., Jagtap, S., and Carmona-Torres, C. (2024). Integrating digital technologies in agriculture for climate change adaptation and mitigation: State of the art and future perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*, 226, 109412. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109412>
- Raun, W. R., Solie, J. B., Johnson, G. V., Stone, M. L., Mullen, R. W., Freeman, K. W., Thomason, W. E., and Lukina, E. V. (2002). Improving Nitrogen Use Efficiency in Cereal Grain Production with Optical Sensing and Variable Rate Application. *Agronomy Journal*, 94(4), 815-820. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.8150>
- Reau, R., Wagner, D., Palleau, J., Borin, M., and Sattine, M. (1994). *End of winter diagnosis: Winter rapeseed (Brassica napus) and nitrogen fertilization*. 220-221. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19960710742>
- Rodríguez, M., y Montilla Rodríguez, J. P. (2024). *Incidencia del internet de las cosas (IOT) en el sector agropecuario Colombiano en los últimos años* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/64212>
- Sotomayor, O., Ramírez, E., y Martínez, H. (2021). *Digitalización y cambio tecnológico en las mipymes agrícolas y agroindustriales en América Latina* (Oficial LC/TS.2021/65; p. 198). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/787ce64b-7f95-4a27-aad9-0a3dc9a3bb70/content>
- Srisruthi, S., Swarna, N., Ros, G. M. S., and Elizabeth, E. (2016). Sustainable agriculture using eco-friendly and energy efficient sensor technology. *2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology (RTEICT)*, 1442-1446. <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2016.7808070>
- Sujay Vailshery, L. (2024). *Topic: Internet of Things (IoT)* [Tecnología y comunicaciones]. Statista. <https://www.statista.com/topics/2637/internet-of-things/>