



Inteligencia artificial y redes 5G en la agricultura de precisión: Una nueva era para el monitoreo de cultivos

Artificial intelligence and 5G networks in precision agriculture: A new era for crop monitoring

Tania Beatriz León-Arias ¹; Carlos Alberto Cabanillas-Agreda ^{1*}; Ronnie Rengifo-Ríos ¹

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

Tania Beatriz León-Arias

 <https://orcid.org/0009-0005-1960-1708>

Carlos Alberto Cabanillas-Agreda

 <https://orcid.org/0000-0003-4269-949X>

Ronnie Ríos-Rengifo

 <https://orcid.org/0009-0003-9884-4825>

Artículo Original

Recibido: 25 de marzo de 2025

Aceptado: 30 de mayo de 2025

Resumen

La integración de la inteligencia artificial (IA) y las redes 5G en la agricultura de precisión está transformando las prácticas agrícolas tradicionales mediante el uso de tecnologías avanzadas orientadas a optimizar la eficiencia productiva y la sostenibilidad ambiental. Este artículo analiza el papel conjunto de la IA y el 5G en el monitoreo de cultivos en tiempo real, así como en la gestión eficiente de recursos agrícolas, como el agua y los fertilizantes. Se desarrolló una revisión sistemática de la literatura y un análisis bibliométrico de 575 estudios publicados entre 2018 y 2024 en inglés y español, con el fin de identificar tendencias de investigación y vacíos de conocimiento en este campo emergente. Los resultados evidencian un alto potencial de estas tecnologías para la modernización del sector agrícola; sin embargo, su implementación enfrenta desafíos asociados a la adopción tecnológica, la seguridad de los datos y las limitaciones de infraestructura. Se concluye que es necesario fortalecer la investigación interdisciplinaria para consolidar el uso de la IA y las redes 5G en la agricultura sostenible.

Palabras clave: inteligencia artificial; redes 5G; agricultura de precisión; monitoreo de cultivos; agricultura sostenible.

Abstract

The integration of artificial intelligence (AI) and 5G networks into precision agriculture is reshaping traditional farming practices by enabling advanced technologies that enhance productivity and environmental sustainability. This article examines the combined role of AI and 5G in real-time crop monitoring and in the efficient management of agricultural resources such as water and fertilizers. A systematic literature review and a bibliometric analysis of 575 studies published between 2018 and 2024 in English and Spanish were conducted to identify research trends and knowledge gaps in this emerging field. The findings reveal a strong potential for these technologies to support the modernization of the agricultural sector; however, their large-scale implementation faces significant challenges related to technological adoption, data security, and infrastructure limitations. The study concludes that further interdisciplinary research is essential to consolidate AI and 5G networks as key enablers of sustainable and smart agriculture.

Keywords: artificial intelligence; 5G networks; precision agriculture; crop monitoring; sustainable agriculture.

*Autor para correspondencia: E. mail: ccabanillas@unitru.edu.pe

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2025.45.01.05>

Citar como:

León-Arias, T., Cabanillas-Agreda, C., & Rengifo-Ríos, R. (2025). Inteligencia artificial y redes 5G en la agricultura de precisión: Una nueva era para el monitoreo de cultivos. *REBIOL*, 45(1), 38-47.



1. Introducción

La creciente preocupación por el cambio climático y la transición hacia sistemas productivos más sostenibles han convertido la búsqueda de soluciones tecnológicas ecológicas y eficientes en una prioridad global. En este escenario, diversos estudios destacan la necesidad de reducir el impacto ambiental de los sectores estratégicos, entre ellos la agricultura, mediante la adopción de tecnologías limpias y sistemas inteligentes de gestión de recursos (Alonso, 2022; Gullifa et al., 2024). En particular, la sostenibilidad energética se ha identificado como un factor clave para la implementación de soluciones digitales avanzadas, ya que el funcionamiento continuo de sensores, plataformas de análisis y sistemas de comunicación depende de infraestructuras energéticas eficientes y ambientalmente responsables (García et al., 2023; Gonnet et al., 2023).

La agricultura de precisión surge como una respuesta tecnológica a estos desafíos, al integrar herramientas digitales que permiten el monitoreo en tiempo real de los cultivos y una gestión más eficiente del agua, los fertilizantes y la energía. En este contexto, la incorporación de nuevas tecnologías se ha vuelto prioritaria para enfrentar problemas relacionados tanto con la productividad agrícola como con la disponibilidad de recursos hídricos (Gevorkov et al., 2023). El uso de energías renovables, como la solar fotovoltaica, en sistemas de riego y bombeo representa un ejemplo de esta convergencia tecnológica, al combinar sostenibilidad energética con soluciones orientadas a garantizar un acceso confiable al agua en entornos agrícolas (Gonnet et al., 2023; Mindú, 2021).

El desarrollo de infraestructuras energéticas eficientes resulta fundamental para soportar la digitalización del sector agrícola. Contar con tecnologías adecuadas de almacenamiento de energía permite compensar la

variabilidad de las fuentes renovables, mejorar la eficiencia operativa y aumentar la autonomía de los sistemas agrícolas inteligentes (Alotto et al., 2023). En este sentido, alternativas tecnológicas más sostenibles, como las baterías ecológicas, ofrecen oportunidades para reducir la dependencia de materiales críticos y no renovables utilizados en tecnologías convencionales, cuyos procesos de extracción generan impactos ambientales y sociales significativos (Angadi et al., 2021; Páez, 2023). Asimismo, el avance en soluciones basadas en materiales más abundantes podría favorecer un acceso más equitativo a tecnologías clave para la digitalización agrícola, especialmente en países en desarrollo (Arias et al., 2022).

El crecimiento del uso de fuentes de energía renovables, como la eólica y la solar, ha intensificado la necesidad de sistemas de almacenamiento energético más duraderos y eficientes que respalden aplicaciones tecnológicas de largo plazo, incluidas aquellas asociadas al monitoreo agrícola inteligente (Aguilar-Jiménez et al., 2023; Shan et al., 2022). Aunque las baterías de ion-litio han sido ampliamente estudiadas, su elevado costo y sus limitaciones para aplicaciones de larga duración continúan representando barreras para su implementación a gran escala (Deng, 2023). En este contexto, tecnologías emergentes como las baterías de flujo redox han despertado interés debido a su flexibilidad y potencial para aplicaciones energéticas intensivas en datos y conectividad (Méndez-Jurjo et al., 2021).

Desde una perspectiva económica, la integración de tecnologías sostenibles en el almacenamiento energético y en la gestión inteligente de recursos agrícolas presenta un notable potencial para generar nuevas oportunidades de inversión y desarrollo tecnológico (Nina Paco et al., 2024). El incremento de la eficiencia energética y la reducción de costos operativos podrían mejorar la competitividad de los sistemas agrícolas basados en inteligencia artificial y

redes de comunicación avanzadas, facilitando su adopción en regiones con infraestructura limitada (Gamio, 2017). En este marco, el presente artículo tiene como objetivo analizar el estado actual de la investigación científica relacionada con el desarrollo de infraestructuras tecnológicas sostenibles que soportan la integración de la inteligencia artificial y las redes 5G en la agricultura de precisión, con énfasis en el monitoreo de cultivos. A partir de una revisión sistemática de la literatura, se busca identificar tendencias, aplicaciones y vacíos de investigación, contribuyendo así a una comprensión integral del papel de estas tecnologías en la transición hacia sistemas agrícolas más sostenibles e inteligentes.

2. Materiales y Métodos

Diseño del estudio

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo–cuantitativo, basado en una revisión sistemática de la literatura y un análisis bibliométrico, con el objetivo de examinar el estado actual de la investigación científica sobre la integración de la inteligencia artificial (IA) y las redes 5G en la agricultura de precisión, particularmente en el monitoreo de cultivos.

Estrategia de búsqueda bibliográfica

La búsqueda de información se realizó en la base de datos Scopus, seleccionada por su cobertura multidisciplinaria y su reconocimiento internacional en la indexación de literatura científica de alto impacto. Se consideraron publicaciones correspondientes al periodo 2018–2024, con el fin de capturar los avances más recientes en el campo de estudio.

Se emplearon como términos de búsqueda las palabras clave “5G”, “artificial intelligence” e “agriculture”, combinadas mediante operadores booleanos. La búsqueda se aplicó a títulos, resúmenes y palabras clave de los documentos indexados.

2.3. Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron artículos científicos, revisiones y estudios conceptuales y empíricos que abordaran explícitamente la aplicación o integración de la IA y/o redes 5G en la agricultura de precisión, el monitoreo de cultivos o sistemas agrícolas inteligentes. Se priorizaron publicaciones en inglés y, en menor proporción, en español.

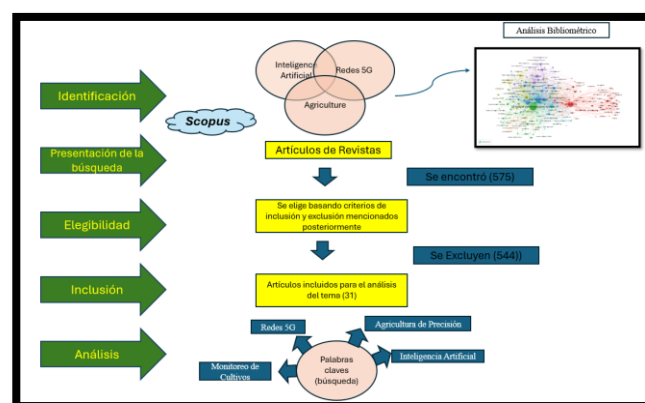
Se excluyeron documentos no relacionados directamente con el sector agrícola, estudios enfocados exclusivamente en entornos urbanos o industriales, trabajos duplicados, documentos sin revisión por pares y publicaciones con información incompleta o irrelevante para los objetivos del estudio.

2.4. Proceso de selección y análisis bibliométrico

El proceso de búsqueda, depuración y selección de los documentos se resume en la Figura 1, siguiendo un esquema metodológico sistemático. En total, se identificaron 575 documentos, los cuales fueron sometidos a un análisis bibliométrico mediante el software VOSviewer, permitiendo examinar redes de coocurrencia de palabras clave, distribución geográfica, producción científica por autor y tendencias temáticas.

Figura 1

Esquema usado en la revisión y selección de la base de datos de Scopus-Análisis bibliográfico.



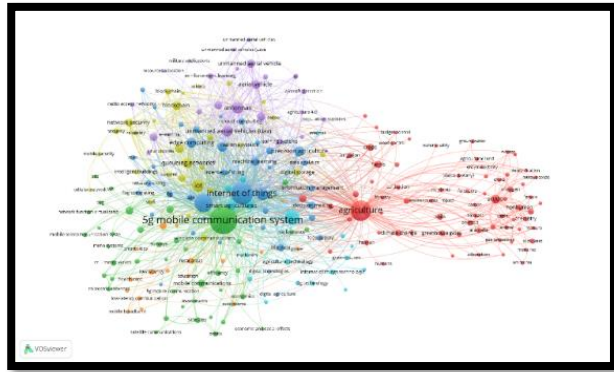
3. Resultados

Tendencias generales de investigación

El análisis bibliométrico evidenció un crecimiento sostenido de la producción científica sobre inteligencia artificial y redes 5G aplicadas a la agricultura de precisión durante el período 2018–2024. La Figura 2 muestra la red de coocurrencia de palabras clave, donde destacan términos asociados a monitoreo de cultivos, Internet de las cosas (IoT), sensores inteligentes y análisis de datos en tiempo real.

Figura 2

Red de co-ocurrencias con palabras claves (150 registros). VOSviewer (06 noviembre, 2024).



La distribución de publicaciones por autor, afiliación, país, tipo de documento y área temática se presenta en la Figura 3, mientras que la Figura 4 y la Figura 5 evidencian una concentración de la producción científica en países con mayor desarrollo tecnológico, aunque con un creciente interés en regiones emergentes.

Figura 3

Gráficos trabajos de investigación completos, publicados y revisados mostrando registros por autor, por afiliación, por país, por tipo y área temática. (Scopus, 2024)

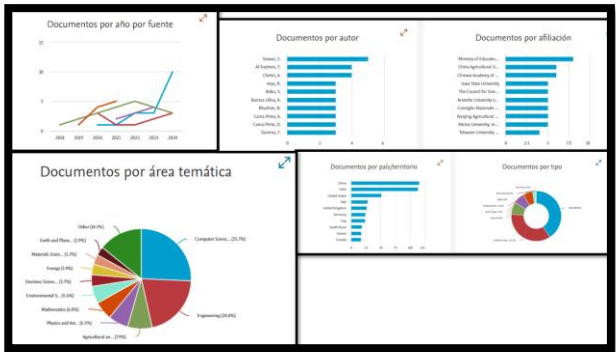


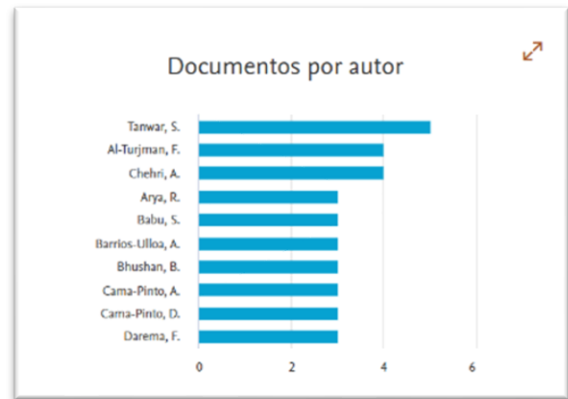
Figura 4

Número de documentos publicado por cada país, (06 Noviembre, 2024).



Figura 5

Cantidad de Artículos producidos por cada autor scopus (06 Noviembre, 2024)



Impacto de la inteligencia artificial y las redes 5G en el monitoreo de cultivos

Los estudios revisados coinciden en que las redes 5G, debido a su alta velocidad, baja latencia y capacidad de conectar múltiples dispositivos de forma simultánea, constituyen una infraestructura clave para

el despliegue de sensores y dispositivos inteligentes en extensas áreas agrícolas (Fernández, 2021; Omar de León, 2023). Esta conectividad permite la transmisión en tiempo real de datos relacionados con la humedad del suelo, el estado fisiológico de los cultivos y variables climáticas, potenciando el análisis automatizado mediante algoritmos de IA (Nieberding et al., 2023).

Diversas investigaciones documentan aplicaciones concretas de estas tecnologías, como redes satelitales 5G para la agricultura inteligente, que facilitan el monitoreo remoto y la optimización del uso del agua en sistemas agrícolas (Padrón & Brito, 2022; Zhang et al., 2024). Asimismo, el uso de drones y sensores conectados a redes 5G ha demostrado ser significativamente más eficiente que los métodos tradicionales para la detección temprana de plagas, enfermedades y deficiencias nutricionales (Nguyen-Tan & Le-Trung, 2024).

Aplicaciones avanzadas de IA en agricultura de precisión

Los resultados muestran una fuerte tendencia hacia el uso de modelos de aprendizaje profundo y visión por computadora para el diagnóstico de enfermedades y el monitoreo de la salud de los cultivos. Estudios recientes destacan la implementación de redes neuronales convolucionales (CNN) y algoritmos optimizados para dispositivos móviles en la identificación de enfermedades en cultivos como arroz y pepino (Rahman et al., 2024; Saddami et al., 2024).

La **Figura 6** ilustra ejemplos de hojas de arroz afectadas por enfermedades, mientras que la **Figura 7** y la **Figura 8** evidencian el papel de las redes 5G e IoT en el seguimiento continuo de la salud de los cultivos y en la gestión inteligente de sistemas agrícolas.

Figura 6

Ejemplo de hoja de planta de arroz con enfermedad.
(Saddami et al., 2024).

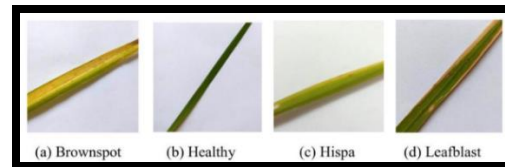


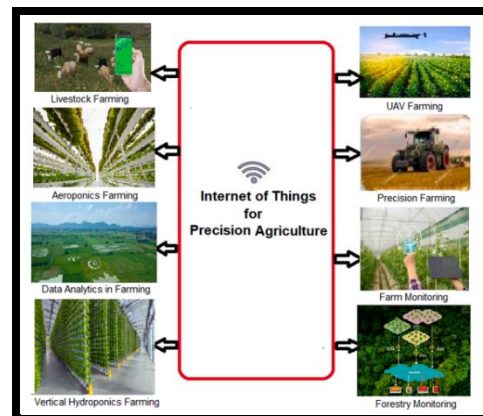
Figura 7

Seguimiento de la salud de los cultivos a través de la conexión 5G. (Nguyen-Tan, T., y Le-Trung, Q. 2024).



Figura 8

Aplicaciones de IoT en agricultura de precisión
(Dhanasekar, S., 2025)



4. Discusión

Los hallazgos respaldan que la convergencia entre redes 5G e inteligencia artificial constituye un habilitador central de la agricultura de precisión moderna, al facilitar flujos de datos de alta frecuencia y baja latencia que sostienen decisiones agronómicas basadas en evidencia. En términos de conectividad, el 5G destaca por su capacidad de conectar múltiples dispositivos simultáneamente y por su desempeño en

escenarios que demandan transmisión rápida y continua, condiciones esenciales para desplegar redes de sensores y dispositivos inteligentes en superficies agrícolas extensas (Fernández, 2021). Esta ventaja tecnológica se amplifica al considerar que el 5G, a diferencia de generaciones previas, ofrece capacidades específicas para IoT y digitalización, con potencial para reducir costos de infraestructura y disminuir brechas de acceso en espacios urbanos y rurales (Omar de León, 2023). Por lo tanto, la conectividad deja de ser un componente periférico y se convierte en parte estructural de los sistemas de monitoreo agrícola en tiempo real.

La literatura analizada sugiere que el mayor salto cualitativo ocurre cuando la conectividad avanzada se integra con IA para automatizar el análisis y la interpretación de datos. En efecto, los sistemas de monitoreo en tiempo real, combinados con conectividad robusta, permiten que la IA procese información ambiental y fisiológica del cultivo de forma automatizada, reduciendo el desfase entre la observación del problema y la intervención agronómica (Nieberding et al., 2023). Este punto es crucial porque el valor de la agricultura de precisión no reside solo en medir, sino en convertir mediciones en decisiones oportunas. En esa línea, se observa que la IA aplicada a la agricultura ya ha impulsado el monitoreo de cultivos mediante sensores y drones para recopilar datos de suelo, riego y clima, los cuales son interpretados por algoritmos capaces de anticipar escenarios adversos y optimizar recursos (Fernández, 2020). La integración con 5G fortalece esta lógica al asegurar transmisión rápida de datos y soporte para decisiones en tiempo real, lo que incrementa la eficiencia y contribuye a reducir el uso de productos químicos y el impacto ambiental (Fernández, 2021).

Un aporte relevante de la evidencia revisada es que el 5G no debe entenderse como una única arquitectura, sino como un conjunto de soluciones que puede

incluir enlaces terrestres, satelitales y redes privadas adaptadas al entorno agrícola. Por ejemplo, el esquema de red satelital 5G propuesto para agricultura inteligente en Cuba evidencia la viabilidad de arquitecturas híbridas (sensores–estación local–WiFi–satélite HTS–usuario final) para monitorear humedad del suelo y condiciones meteorológicas, y así optimizar el uso de agua, reducir costos y mejorar la calidad de los cultivos (Padrón & Brito, 2022). De modo complementario, se sugiere que estos avances pueden contribuir a reemplazar prácticas tradicionales menos eficientes y cada vez más costosas, particularmente en sistemas productivos que exigen precisión y respuesta rápida (Zhang et al., 2024). En conjunto, estos resultados refuerzan que la conectividad (incluida la satelital) es un componente estratégico para la adopción efectiva de agricultura inteligente en territorios con limitaciones de infraestructura.

Desde un marco conceptual más amplio, los resultados se alinean con la transición hacia la llamada agricultura 4.0, entendida como una evolución de la agricultura de precisión que integra IoT, analítica de datos e IA a lo largo de la cadena de valor agrícola (Tovar-Quiroz, 2023). Esta evolución se asocia con la necesidad de responder a desafíos contemporáneos como sostenibilidad, eficiencia en el uso de recursos y productividad bajo condiciones climáticas cambiantes (Sánchez, 2023). En este sentido, la evidencia revisada sugiere que la digitalización no es únicamente una modernización tecnológica, sino un cambio en la lógica de gestión agrícola: pasar de decisiones reactivas a decisiones predictivas y adaptativas. La importancia de esta transición se observa también en el enfoque de agricultura inteligente que integra sensores, drones e IoT en redes 5G para mejorar el monitoreo y optimizar recursos, permitiendo ajustar decisiones en tiempo real, mejorar el rendimiento y reducir impacto ambiental (Sánchez, 2023).

En cuanto a beneficios operativos, los resultados convergen en que la conectividad 5G permite que sensores de campo registren datos en tiempo real y que la IA los procese para decisiones más precisas en riego, fertilización y control de plagas (Jiménez, 2024). Este enfoque está alineado con un uso más eficiente de insumos y con prácticas sostenibles. Sin embargo, un aspecto que requiere tratamiento cuidadoso en clave Q1 es la necesidad de contextualizar las magnitudes reportadas (p. ej., reducciones porcentuales de uso de recursos) según tipo de cultivo, escala, entorno climático y condiciones de adopción. Aun así, el conjunto de evidencia revisada es consistente con que 5G + IA permite ajustar intervenciones agronómicas con mayor precisión y rapidez (Tang et al., 2021), reforzando el vínculo entre automatización y sostenibilidad.

Un punto destacable es que la adopción de estas tecnologías no se limita a campo abierto; también se expresa con fuerza en agricultura protegida. El uso de sensores en invernaderos para monitorear temperatura y humedad, optimizando crecimiento vegetal y permitiendo predicción de cosechas y asignación eficiente de recursos, muestra aplicaciones maduras y medibles en entornos controlados (Abugattás et al., 2021). Además, el avance de tecnologías digitales (5G, IoT e IA) se asocia a impactos más amplios: productividad, inclusión y sostenibilidad en América Latina y el Caribe, lo cual sugiere que la digitalización agrícola puede vincularse con estrategias de desarrollo y transformación productiva regional (Abugattás et al., 2021). En línea con ello, la integración de IoT e IA como motores de transformación de la agricultura moderna refuerza que el cambio tecnológico es sistémico y no limitado a un único componente (García Torres et al., 2024).

No obstante, la discusión no puede sostenerse solo en beneficios: los resultados también enfatizan riesgos y restricciones. Un tema crítico es la ciberseguridad. La

presencia de múltiples dispositivos IoT distribuidos en entornos agrícolas incrementa la superficie de ataque y la probabilidad de violaciones de datos, lo que exige formación de usuarios, prácticas seguras y actualizaciones periódicas de seguridad, pues la omisión de estas incrementa vulnerabilidades (Maraveas et al., 2024). En revistas Q1, este punto suele ser "decisivo": la sostenibilidad tecnológica incluye seguridad y gobernanza de datos, no solo eficiencia productiva. Asimismo, la evidencia sugiere que, en ciertas configuraciones, no siempre es indispensable que cada dispositivo opere con conectividad plena a Internet; comparaciones entre NAT y redes 3G/4G/5G, además de WiFi 6, indican que la funcionalidad de NAT suele ser necesaria cuando hay conexión directa a Internet, algo que puede no ser central en todos los escenarios agrícolas (Zhivkov et al., 2023). Este hallazgo abre una discusión útil: en algunos casos, arquitecturas locales o híbridas podrían ser suficientes para determinadas funciones, con implicancias sobre costo, seguridad y resiliencia operativa.

Los resultados también muestran un crecimiento notable de enfoques basados en IA para fitosanidad y monitoreo avanzado. La detección de enfermedades en pepino mediante espectroscopía visible, redes neuronales y validación molecular (LAMP) para identificar patógenos específicos evidencia el potencial de combinar métodos de diagnóstico con modelos computacionales para intervenciones más rápidas y precisas (Rahman et al., 2024). Del mismo modo, el uso de CNN ligeras orientadas a dispositivos móviles (p. ej., ShuffleNet, MobileNetV2 y EfficientNet-B0) para identificar enfermedades en arroz resalta un giro relevante: llevar modelos de IA hacia el borde (edge) y hacia hardware de menor consumo, lo cual es particularmente pertinente para agricultura real (Saddami et al., 2024). En este marco, la visión por computadora también aparece como una herramienta central; modelos como YOLOv8 permiten inferir

estados nutricionales y de crecimiento vegetal para decisiones oportunas (Nguyen-Tan & Le-Trung, 2024). Un componente emergente de alto interés en la discusión es la computación de frontera (MEC), especialmente cuando se integra con redes 5G privadas. Se reporta que redes 5G privadas permiten transmisión de datos desde drones y sensores a servidores MEC, habilitando procesamiento en tiempo real con baja latencia y conectividad estable, indispensable para imágenes de alta resolución y ejecución de modelos IA (Székely et al., 2024). Este diseño es especialmente relevante para zonas remotas: el procesamiento local reduce dependencia de conexión constante, manteniendo funcionalidad incluso con conectividad limitada, lo cual se vincula con automatización de riego basada en aprendizaje automático alimentado por sensores de humedad y condiciones ambientales (Nguyen-Tan & Le-Trung, 2024). En suma, la discusión sugiere que el futuro del monitoreo agrícola no dependerá solo de “tener 5G”, sino de cómo se combina con edge computing, sensores, drones y modelos IA adecuados para operación continua y escalable.

Finalmente, la evidencia revisada apoya que la integración IA–IoT–5G favorece plataformas integradas de gestión inteligente del cultivo, capaces de monitorear variables clave en tiempo real, optimizar intervenciones y habilitar planificación predictiva basada en grandes volúmenes de datos (Ariss et al., 2024; R. Tang et al., 2024). A su vez, se reportan mejoras en precisión para identificación de plagas y enfermedades cuando se combinan algoritmos avanzados (p. ej., modelos tipo AlexNet optimizado) y cámaras de alta resolución conectadas mediante 5G (Ariss et al., 2024; R. Tang et al., 2024). Estas aproximaciones refuerzan la idea de que la agricultura de precisión está migrando hacia sistemas autónomos y escalables, donde robots y drones apoyados por 5G optimizan gestión del cultivo y reducen dependencia

de mano de obra (Székely et al., 2024). En paralelo, se destaca la contribución de estas tecnologías a prácticas sostenibles y a la protección ambiental (Kumar et al., 2022), alineándose con los objetivos de productividad y sostenibilidad.

En términos de implicancias, los resultados sugieren que el impacto de la IA y 5G será mayor cuando se aborden de forma conjunta tres frentes: (a) infraestructura de conectividad adecuada (incluyendo soluciones híbridas), (b) modelos de IA robustos y desplegables en campo (incluyendo edge/mobile), y (c) gobernanza tecnológica (ciberseguridad, capacitación y mantenimiento). En consecuencia, una agenda futura de investigación debe priorizar evaluaciones comparativas entre arquitecturas (p. ej., 5G público vs. 5G privado vs. satelital), estudios de costo–efectividad en distintos cultivos y regiones, y pruebas a escala real que integren seguridad de datos desde el diseño (Maraveas et al., 2024; Omar de León, 2023; Padrón & Brito, 2022). Además, dada la relevancia de invernaderos inteligentes y zonificación ambiental, se requieren estudios que midan consistentemente el impacto sobre rendimiento, calidad y eficiencia de insumos bajo variabilidad climática (Ariss et al., 2024; Sánchez, 2023; R. Tang et al., 2024).

5. Conclusiones

Los resultados de este estudio confirman que la integración de la inteligencia artificial (IA) y las redes 5G está transformando de manera significativa el monitoreo de cultivos en la agricultura de precisión. Estas tecnologías permiten la recopilación, transmisión y análisis de datos en tiempo real sobre variables clave, como las condiciones del suelo, el estado fisiológico de los cultivos y los factores ambientales, lo que facilita una toma de decisiones más precisa y oportuna. En particular, la combinación de conectividad avanzada y algoritmos de IA potencia el análisis automatizado de la información, contribuyendo a la optimización de

prácticas agrícolas como el riego, la fertilización y el control de plagas, así como a la detección temprana de enfermedades.

Asimismo, la evidencia analizada demuestra que la IA y el 5G constituyen pilares fundamentales para el desarrollo de la agricultura de precisión, al mejorar la eficiencia en el uso de recursos y favorecer una gestión agrícola más sostenible. La capacidad del 5G para soportar redes densas de sensores y dispositivos inteligentes, junto con el procesamiento avanzado de datos mediante IA, permite reducir el uso de insumos agrícolas y minimizar el impacto ambiental, promoviendo modelos productivos más responsables y resilientes frente a la variabilidad climática.

No obstante, el estudio también identifica desafíos relevantes asociados a la adopción de estas tecnologías. Entre ellos destacan la necesidad de infraestructura adecuada, la capacitación técnica de los agricultores y la gestión de riesgos relacionados con la seguridad y privacidad de los datos, especialmente en entornos que dependen de dispositivos IoT. Estas limitaciones evidencian que la implementación exitosa de la agricultura inteligente requiere no solo avances tecnológicos, sino también una planificación estratégica que integre aspectos técnicos, organizacionales y normativos.

Finalmente, aunque los avances en la integración de la IA y las redes 5G en la agricultura son prometedores, se requiere profundizar la investigación en áreas como la interoperabilidad de dispositivos, la ciberseguridad y la evaluación del impacto ambiental y socioeconómico a largo plazo. En este sentido, futuros estudios deberían centrarse en la implementación empírica de estas tecnologías en distintos contextos productivos y territoriales, con el fin de consolidar su contribución a la productividad agrícola, la sostenibilidad y la seguridad alimentaria.

6. Contribución de los autores

El concepto del estudio, diseño, recolección e interpretación de datos, boceto inicial del artículo, revisión y aprobación de la versión final que se expone fue realizado por ambos autores.

7. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

8. Referencias Bibliográficas

- Abugattás, J., Barletti, B., Astucuri, J. V., Beltrán, C., Paredes, M., Pantoja, Ó. N., Guevara, M., Torres, D., Chancafe, J., & Dinegro, A. (2021). *Inteligencia artificial: Desafíos y oportunidades para el Perú*.
- Ariss, A., Ennejai, I., Lamjid, A., Mabrouki, J., Kharmoum, N., & Ziti, S. (2024). IoT-enabled smart greenhouse for robotic enhancement of tomato production: Leveraging 5G and edge computing for advanced data-driven automation, precision irrigation, and scalable zoning principles. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 18(21), 88–116. <https://doi.org/10.3991/ijim.v18i21.50829>
- Awais, M., Alharthi, A. H. S. A., Kumar, A., Cholakkal, H., & Anwer, R. M. (2024). *AgroGPT: Efficient agricultural vision-language model with expert tuning* (arXiv:2410.08405). <https://arxiv.org/abs/2410.08405>
- Chereches, I. A., Gaspar, F., & Danci, I. A. (2024). Designing and calibration of a low-cost multi-point soil moisture monitoring system for precision agriculture. *INMATEH Agricultural Engineering*, 245–254. <https://doi.org/10.35633/inmateh-72-23>
- Dhanasekar, S. (2025). A comprehensive review on current issues and advancements of Internet of Things in precision agriculture. *Computer Science Review*, 55, 100694. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2024.100694>
- Fernández, F. R. (2021). *Inteligencia artificial y agricultura: Nuevos retos en el sector agrario*.
- García Torres, I. A., Castillo León, R. E., Navas Espín, W. R., & Veintimilla Andrade, J. G. (2024). El uso de la inteligencia artificial en un invernadero. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 910–930. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12331
- Henríquez Fierro, E., & Zepeda González, M. I. (2004). Elaboración de un artículo científico de investigación. *Ciencia y Enfermería*, 10(1). <https://doi.org/10.4067/S0717-95532004000100003>
- Hernández-Salazar, C. A., González-Estrada, O. A., & González-Silva, G. (2024). Integración de la inteligencia artificial y la agricultura de precisión en cultivos de café. *Revista UIS Ingenierías*, 23(4). <https://doi.org/10.18273/revuin.v23n4-2024012>
- Jiménez, F. (2024). *Technology applications in the agricultural industry: 5G and artificial intelligence for precision agriculture in Cartago, Costa Rica*.

<https://repositorio.ulacit.ac.cr/bitstream/handle/20.500.14230/11312/>

Kumar, A., Singh, S. R., Yadav, M. C., Bhuj, B. D., Dhar, S., Pruthi, N. K., Rizwan, M., Jyoti, K., Thapa, R. S., Mishra, K., Rajput, A., & Singh, A. (2022). Artificial intelligence, Internet of Things (IoT) and smart agriculture for sustainable farming: A review. *Sustainability*, 11(11).

Maraveas, C., Rajarajan, M., Arvanitis, K. G., & Vatsanidou, A. (2024). Cybersecurity threats and mitigation measures in agriculture 4.0 and 5.0. *Smart Agricultural Technology*, 9, 100616. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100616>

Nguyen-Tan, T., & Le-Trung, Q. (2024). A novel 5G PMN-driven approach for AI-powered irrigation and crop health monitoring. *IEEE Access*, 12, 125211–125222. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3452719>

Nieberding, F., Huisman, J. A., Huebner, C., Schilling, B., Weuthen, A., & Bogena, H. R. (2023). Evaluation of three soil moisture profile sensors using laboratory and field experiments. *Sensors*, 23(14), 6581. <https://doi.org/10.3390/s23146581>

O'Grady, M. J., Langton, D., & O'Hare, G. M. P. (2019). Edge computing: A tractable model for smart agriculture? *Artificial Intelligence in Agriculture*, 3, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.12.001>

Omar de León. (2023). *Redes 5G en América Latina: Desarrollo y potencialidades*. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/434ab732-7b7a-4ac1-9445-e043ce7a7c19/content>

Padrón, G. G. S., & Brito, J. F. A. (2022). Propuesta de servicio 5G para la agricultura inteligente en Cuba.

Rahman, S. T., Vasker, N., Ahammed, A. K., & Hasan, M. (2024). Advancing cucumber disease detection in agriculture through machine vision and drone technology (arXiv:2409.12350). <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2409.12350>

Saddami, K., Nurdin, Y., Zahramita, M., & Safiruz, M. S. (s. f.). *Advancing green AI: Efficient and accurate lightweight CNNs for rice leaf disease identification*.

Sánchez, C. M. (s. f.). *Profesor/a responsable de la asignatura*.

Székel, S., O'Driscoll, F., Iheme, L., Kypuros, D., Pang, V., & Shmigelsky, G. (2024). Smart architecture framework with 5G private networks and AI for sustainable agriculture. In *2024 6th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)* (pp. 730–735). <https://doi.org/10.1109/GPECOM61896.2024.10582768>

Tang, R., Aridas, N. K., Talip, M. S. A., & Tang, J. (2024). Design of vegetable pest identification system based on improved AlexNet algorithm and 5G communication. *ACS Agricultural Science & Technology*, 4(2), 214–222. <https://doi.org/10.1021/acsagstech.3c00303>

Tang, Y., Dananjayan, S., Hou, C., Guo, Q., Luo, S., & He, Y. (2021). A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105895. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105895>

Tovar-Quiroz, A. D. (2023). Agricultura 4.0: Uso de tecnologías de precisión y aplicación para pequeños productores. *Informador Técnico*, 87(2).

<https://doi.org/10.23850/22565035.5536>

Van Hilten, M., & Wolfert, S. (2022). 5G in agri-food—A review on current status, opportunities and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 201, 107291. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107291>

Zhivkov, T., Sklar, E. I., Botting, D., & Pearson, S. (2023). 5G on the farm: Evaluating wireless network capabilities and needs for agricultural robotics. *Machines*, 11(12), 1064. <https://doi.org/10.3390/machines11121064>

Zhang, J., Trautman, D., Liu, Y., Bi, C., Chen, W., Ou, L., & Goebel, R. (2024). Achieving the rewards of smart agriculture. *Agronomy*, 14(3), 452. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030452>