Integración de tecnologías de Agricultura 5.0 en la educación superior: Un enfoque hacia la sostenibilidad agropecuaria

Integration of Agriculture 5.0 technologies in higher education: An approach to agricultural sustainability

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14630544>

AUTORES: Araceli Lucio Quintana^{1*}

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: alucio@ueb.edu.ec

Fecha de recepción: 18 / 10 / 2024

Fecha de aceptación: 08 / 12 / 2024

RESUMEN

La Agricultura 5.0 representa una revolución tecnológica diseñada para abordar desafíos como el cambio climático, la degradación ambiental y el incremento en la demanda de alimentos. Este enfoque integra tecnologías avanzadas como IoT, IA, ML, UAVs y blockchain, promoviendo prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles. Este artículo analiza el papel de la educación superior en la formación de profesionales capacitados para implementar estas tecnologías en el sector agropecuario. Mediante una revisión sistemática de la literatura, se seleccionaron estudios publicados entre 2020 y 2025 que abordaran la intersección entre Agricultura 5.0, sostenibilidad y educación superior. Los resultados revelan que herramientas como sensores inteligentes, UAVs y big data permiten un monitoreo y toma de decisiones informadas en tiempo real, reduciendo el consumo de recursos y los impactos ambientales. Estas tecnologías optimizan la gestión del agua, fertilizantes y pesticidas, además de fomentar prácticas regenerativas y la preservación de la biodiversidad. En el ámbito educativo, la implementación de metodologías como el aprendizaje basado en proyectos (PBL) permite el desarrollo de competencias técnicas

^{1*} Universidad Estatal de Bolívar, alucio@ueb.edu.ec

avanzadas y una comprensión ética de la sostenibilidad. La incorporación de estas tecnologías en la educación superior es esencial para preparar a los futuros profesionales a liderar la transición hacia modelos agrícolas más sostenibles e innovadores. Al equilibrar productividad, sostenibilidad y equidad social, la Agricultura 5.0 y su integración en los programas académicos representan un camino viable hacia un desarrollo agropecuario resiliente y responsable.

Palabras clave: *Tecnología agrícola, educación superior, sostenibilidad, transformación digital, innovación tecnológica*

ABSTRACT

Agriculture 5.0 represents a technological revolution designed to address challenges such as climate change, environmental degradation and increased demand for food. This approach integrates advanced technologies such as IoT, AI, ML, UAVs and blockchain, promoting more efficient and sustainable agricultural practices. This article analyzes the role of higher education in training skilled professionals to implement these technologies in the agricultural sector. Through a systematic literature review, studies published between 2020 and 2025 were selected that addressed the intersection between Agriculture 5.0, sustainability and higher education. The results reveal that tools such as smart sensors, UAVs and big data enable real-time monitoring and informed decision making, reducing resource consumption and environmental impacts. These technologies optimize the management of water, fertilizers and pesticides, in addition to promoting regenerative practices and the preservation of biodiversity. In education, the implementation of methodologies such as project-based learning (PBL) enables the development of advanced technical skills and an ethical understanding of sustainability. The incorporation of these technologies in higher education is essential to prepare future professionals to lead the transition to more sustainable and innovative agricultural models. By balancing productivity, sustainability and social equity, Agriculture 5.0 and its integration into academic programs represent a viable path towards resilient and responsible agricultural development.

Keywords: *Agricultural technology, higher education, sustainability, digital transformation, technological innovation*

INTRODUCCIÓN

La agricultura atraviesa una transformación radical impulsada por la integración de tecnologías avanzadas que configuran el paradigma de la Agricultura 5.0. Este enfoque surge como respuesta a desafíos globales apremiantes, como el crecimiento poblacional, el cambio climático y la degradación ambiental, proponiendo un modelo más eficiente y sostenible. Herramientas como la inteligencia artificial (IA), la automatización y el análisis de datos han permitido optimizar el uso de insumos agrícolas y reducir el impacto ambiental, facilitando la transición hacia prácticas más responsables y productivas (Demircioglu et al., 2024; Ragazou et al., 2022)

El desarrollo de tecnologías emergentes, incluyendo el Internet de las Cosas (IoT), el aprendizaje automático (ML) y los sistemas de gestión agrícola, ha impulsado la agricultura de precisión (Rame et al., 2024). Este enfoque permite la recopilación y el análisis de datos en tiempo real sobre parámetros críticos, como la calidad del suelo, los niveles de humedad y las condiciones climáticas, mejorando significativamente la toma de decisiones basada en evidencia (Kiruthiga & Dharmarajan, 2023). Adicionalmente, la automatización mediante robots agrícolas ha transformado tareas operativas como la siembra, el riego y la cosecha, incrementando la eficiencia y reduciendo la dependencia de la mano de obra intensiva (Ahmad & Nabi, 2021).

La sostenibilidad se erige como el núcleo de la Agricultura 5.0, con un enfoque estratégico en energías renovables como la solar y la biomasa. Estas fuentes energéticas no solo reducen las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso de combustibles fósiles, sino que también promueven una producción más limpia y eficiente (Demircioglu et al., 2024). Tecnologías como drones, sensores inteligentes y sistemas de monitoreo remoto complementan este enfoque al optimizar la gestión de recursos y generar nuevas oportunidades económicas para agricultores en zonas rurales. Esto, a su vez, fortalece las comunidades locales al integrar innovación tecnológica con sostenibilidad (Ahmad & Nabi, 2021; Parashar et al., 2024).

La inteligencia artificial (IA) desempeña un rol esencial en esta transformación, enfrentando retos complejos como el cambio climático y la sostenibilidad agrícola. Como parte del concepto de Sociedad 5.0, la IA, junto con el aprendizaje automático, utiliza grandes volúmenes de datos y algoritmos avanzados para optimizar la gestión de recursos,

predecir rendimientos y abordar la escasez de mano de obra (Bissadu et al., 2024; Fraser & Campbell, 2019). Estas capacidades ofrecen soluciones innovadoras y resilientes ante los desafíos actuales, posicionándola como una herramienta imprescindible en la modernización agrícola (Henriksen et al., 2022; Nakaguchi & Ahamed, 2023).

Paralelamente, la adopción de estas tecnologías redefine el papel de las instituciones de educación superior, que deben formar profesionales capaces de integrar la sostenibilidad en todos los procesos agrícolas (Mgendi, 2024a). Este artículo explora cómo las universidades pueden impulsar la adopción de tecnologías de la Agricultura 5.0, como el IoT, la IA y los sensores inteligentes, fomentando prácticas agrícolas que equilibren productividad, sostenibilidad y equidad social. La cuestión central es: ¿Cómo puede la educación superior en ciencias agropecuarias contribuir a la sostenibilidad mediante la incorporación de estas tecnologías?

METODOLOGÍA

Este estudio realizó una revisión sistemática de la literatura con el propósito de analizar cómo la integración de tecnologías emergentes de la Agricultura 5.0 en los programas de educación superior puede contribuir al desarrollo de un modelo agrícola sostenible y resiliente. A través de la identificación, selección y análisis de investigaciones relevantes, se buscó explorar tendencias, desafíos y oportunidades en la formación de profesionales capacitados para enfrentar los retos de la sostenibilidad agropecuaria.

	Pregunta	Motivo
RQ1	¿Cómo puede la educación superior en ciencias agropecuarias contribuir a la sostenibilidad mediante la incorporación de estas tecnologías?	Examinar cómo la educación superior puede preparar profesionales para integrar tecnologías avanzadas en agricultura, promoviendo la sostenibilidad.

Tabla 1. Pregunta de investigación

Criterios de elegibilidad

Se incluyeron estudios que analizaran la integración de tecnologías emergentes de la Agricultura 5.0, como IoT, inteligencia artificial y sensores inteligentes, en la educación

superior con un enfoque en sostenibilidad agropecuaria. Solo se aceptaron estudios publicados en inglés o español entre 2020 y 2025, que abordaran la intersección entre estas tecnologías y la formación de competencias sostenibles en programas académicos relacionados con ciencias agropecuarias.

Se excluyeron opiniones, comentarios editoriales y cartas al editor que no proporcionaran datos empíricos o análisis rigurosos. También se descartaron estudios que no relacionaran directamente las tecnologías de la Agricultura 5.0 con la educación superior, los que no estuvieran en inglés o español, y aquellos que no incluyeran un enfoque en sostenibilidad.

Estrategia de búsqueda

Se realizaron búsquedas en Scopus, Web of Science, Springer y Elsevier, utilizando combinaciones de términos en inglés como: ("Agriculture 5.0" OR "emerging technologies") AND ("IoT" OR "artificial intelligence" OR "smart sensors") AND ("higher education" OR "sustainability" OR "skill development"). También se revisaron referencias de los artículos seleccionados para identificar estudios adicionales relevantes. La literatura gris fue excluida del análisis.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el ámbito de la agricultura 5.0, tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la Inteligencia Artificial (IA) y el aprendizaje automático (ML) están transformando significativamente la manera en que se optimizan los procesos agrícolas y se capacita a las nuevas generaciones en habilidades tecnológicas avanzadas (Rudrakar & Rughani, 2023). El IoT facilita la integración de sensores y dispositivos interconectados, permitiendo monitorear en tiempo real variables clave como la humedad, la temperatura y la calidad del suelo. Esto fomenta la toma de decisiones informadas y sostenibles en la gestión de recursos agrícolas (Alahmadi et al., 2022; Mesías-Ruiz et al., 2023)

Por su parte, la IA y el ML procesan grandes volúmenes de datos para predecir tendencias, detectar enfermedades en cultivos y maximizar la eficiencia en el uso de recursos como agua y fertilizantes (Mgendi, 2024a). En este mismo contexto, el uso de drones (UAV) y sistemas de geoposicionamiento como GPS/RTK ofrece herramientas precisas para tareas agrícolas específicas, como la identificación de malezas, el monitoreo del estado de los

cultivos y la aplicación dirigida de tratamientos (Bui et al., 2024; Catala-Roman et al., 2024).

Además, herramientas como los sistemas de información geográfica (GIS) y el método de jerarquía analítica (AHP) se utilizan para mapear y priorizar áreas agrícolas, lo que facilita un uso más eficiente de los recursos disponibles (Sathiyamurthi et al., 2024). Tecnologías de comunicación como LoRaWAN y sensores como el DHT22 ofrecen la posibilidad de monitorear en tiempo real las condiciones ambientales, incluso en zonas remotas, ampliando significativamente las oportunidades para una gestión agrícola sostenible (Sankarasubramanian, 2024).

Metodologías como el aprendizaje basado en proyectos (Project-Based Learning, PBL) están cobrando protagonismo, al fomentar un enfoque interdisciplinario y desarrollar competencias clave como programación, análisis de datos y consideraciones éticas en el uso de tecnologías avanzadas (Carayannis & Morawska, 2023).

A continuación, se caracteriza la información basada en artículos relevantes que analizan la integración de tecnologías de Agricultura 5.0 en la educación superior, su impacto en la sostenibilidad agropecuaria y el desarrollo de competencias técnicas y sostenibles en los programas académicos.

Nº	Autor	Integración de tecnologías	Impacto en la sostenibilidad agropecuaria	Desarrollo de competencias y técnicas sostenibles
1	(Mesías-Ruiz et al., 2023)	Integración de IoT, IA y ML en programas académicos mediante simulaciones, plataformas tecnológicas y gemelos digitales para fomentar habilidades en escenarios reales.	Optimización, recursos, sensores, agroquímicos, detección temprana, UAVs, ML, precisión, impactos ambientales, eficiencia.	Formación en ML, análisis de datos, IoT, ética, sostenibilidad, interdisciplinaridad, PBL, sistemas embebidos, programación, habilidades avanzadas.
2	(Mgendi, 2024a)	Uso de IoT, IA, aprendizaje automático, sensores, UAVs y blockchain para recopilar y analizar datos en tiempo real, optimizando la toma de decisiones agrícolas.	Reducción del uso de agua (hasta 30%), fertilizantes y pesticidas, minimizando la contaminación y mitigando gases de	Necesidad de capacitar agricultores en tecnologías avanzadas y promover prácticas sostenibles como agricultura

			efecto invernadero mediante el uso eficiente de insumos.	regenerativa y preservación de biodiversidad.
3	(Carayannis & Morawska, 2023)	Uso del modelo Quintuple Helix para integrar industria, gobierno, universidad, sociedad y medio ambiente.	Transición digital y verde con enfoque ético, legal y social orientado a abordar crisis climáticas mediante innovaciones sociales y sostenibles.	Introducción de la Universidad 5.0, con colaboración humano-tecnología, optimizando procesos y analizando niveles micro, meso y macro de los ecosistemas.
4	(Sathiyamurthi et al., 2024)	Uso de GIS y AHP para crear mapas de idoneidad agrícola y priorizar tierras agrícolas.	Permite un uso eficiente de recursos, manejo de suelos y cultivos adaptados, y contribuye a la seguridad alimentaria.	Capacitación en manejo de técnicas avanzadas como análisis multicriterio y geoespacial para la planificación agrícola.
5	(Castro et al., 2024)	Uso de LoRaWAN, sensores DHT22, paneles solares y microcontroladores ESSA-IOT 5.0 para monitoreo ambiental.	Mejora en la detección temprana de enfermedades, optimización del uso de bioinsumos, reducción de costos y sostenibilidad en zonas periurbanas.	Formación en manejo de tecnologías IoT, estrategias de monitoreo de cultivos y aplicación precisa de bioinsumos mediante datos recolectados.
6	(Angélica et al., 2024)	Uso de IoT, inteligencia artificial, big data y sensores para optimización de recursos agrícolas.	Reducción del estrés abiótico en cultivos, mejorando las condiciones de crecimiento y promoviendo la sostenibilidad en la producción agrícola.	Desarrollo de habilidades en el uso de tecnologías de realidad virtual para la agricultura, fomentando soluciones innovadoras.
7	(Ahmad & Nabi, 2021)	Uso de IoT, AI, ML, WSN y drones para la recolección, monitoreo, análisis y almacenamiento de datos en plataformas en la nube.	Mejora de la sostenibilidad y productividad agrícola mediante decisiones predictivas y optimización de insumos.	Formación en el uso de sensores inteligentes, UAVs y tecnologías de análisis predictivo para implementar agricultura digital e inteligente.
8	(Maraveas et al., 2024)	Uso de IoT, AI, Blockchain y computación cuántica para la detección y mitigación de amenazas cibernéticas.	Mejor seguridad, eficiencia y sostenibilidad de los sistemas agrícolas, reduciendo	Capacitación en prácticas de ciberseguridad, uso de autenticación multifactorial y

			interrupciones operativas.	desarrollo de estrategias regulatorias.
9	(Catala-Roman et al., 2024)	UAVs equipados con IA (YOLOv10) para detectar malezas invasoras, integrando geoposicionamiento (GPS/RTK) y difusores de tratamiento orgánico.	Mejora la eficiencia en el manejo de malezas, reduce costos de producción y evita el uso de herbicidas químicos, promoviendo la sostenibilidad agrícola.	Desarrollo de sistemas autónomos y colaborativos, promoviendo el uso de drones en la agricultura orgánica y optimizando el uso de recursos naturales.
10	(Juwono et al., 2023)	ML y visión computacional para la discriminación entre malezas y cultivos usando UAVs con cámaras multiespectrales.	Promueve el manejo específico de malezas, reduciendo el uso de herbicidas, costos de producción y mejorando la calidad de cultivos.	Desarrollo de algoritmos avanzados de aprendizaje automático y técnicas de procesamiento de imágenes aplicadas a la agricultura inteligente.

Tabla 2. Caracterización de los resultados

Nota. IoT: Internet of Things (Internet de las cosas); **IA:** Inteligencia Artificial; **ML:** Machine Learning (Aprendizaje Automático); **UAV:** Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo Aéreo No Tripulado); **GIS:** Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica); **AHP:** Analytic Hierarchy Process (Proceso de Jerarquía Analítica); **LoRaWAN:** Long Range Wide Area Network (Red de Área Amplia de Largo Alcance); **DHT22:** Sensor de temperatura y humedad digital; **ESSA-IOT 5.0:** Microcontrolador específico para aplicaciones en IoT; **WSN:** Wireless Sensor Network (Red de Sensores Inalámbricos); **GPS/RTK:** Global Positioning System/Real-Time Kinematic (Sistema de Posicionamiento Global/Cinemática en Tiempo Real); **AI:** Artificial Intelligence (Inteligencia Artificial); **PBL:** Project-Based Learning (Aprendizaje Basado en Proyectos)

La integración de tecnologías en el contexto de la Agricultura 5.0, como IoT, IA, ML, UAVs y blockchain, se presenta como un eje central en la transformación del sector agropecuario y en la educación superior (Mesías-Ruiz et al., 2023; Mgendi, 2024b). Por ejemplo, el uso de gemelos digitales y plataformas tecnológicas fomenta habilidades prácticas en escenarios académicos (Mesías-Ruiz et al., 2023), mientras que herramientas como LoRaWAN y microcontroladores permiten el monitoreo ambiental en tiempo real (Castro et al., 2024). Además, UAVs con visión computacional han mostrado eficacia en la identificación de malezas y cultivos (Catala-Roman et al., 2024; Juwono et al., 2023). Según Maraveas et al., 2024 el blockchain combinado con IA mejora la seguridad de los

sistemas agrícolas, promoviendo una agricultura más eficiente y resiliente. Estas tecnologías no solo transforman el sector operativo, sino también los entornos educativos mediante su integración en simulaciones y proyectos interdisciplinarios.

Las tecnologías avanzadas contribuyen significativamente a la sostenibilidad agropecuaria al optimizar recursos y mitigar impactos ambientales (Castro et al., 2024; Mesías-Ruiz et al., 2023). Por ejemplo, Juwono et al., 2023 indican que el uso de UAVs y ML reduce la necesidad de herbicidas químicos. Asimismo, IoT y big data permiten identificar y responder al estrés abiótico en los cultivos, mejorando su rendimiento y reduciendo el impacto ambiental (Angélica et al., 2024). La reducción del uso de agua y fertilizantes hasta en un 30 %, como señalan Mgendi, (2024) y Ahmad & Nabi, (2021), refleja el potencial de estas herramientas para minimizar la contaminación y mitigar los efectos del cambio climático. Adicionalmente, la implementación de bioinsumos y técnicas avanzadas fomenta la regeneración del suelo, mejorando la biodiversidad y la sostenibilidad a largo plazo.

La educación superior desempeña un papel clave al desarrollar competencias en tecnologías avanzadas, como IoT, UAVs, ML y blockchain, esenciales para una agricultura sostenible (Slettli, 2024). La formación incluye habilidades en ciberseguridad, análisis predictivo, programación y manejo de bioinsumos, integrando métodos interdisciplinarios como el aprendizaje basado en proyectos (Maraveas et al., 2024). Además, los programas educativos fomentan el desarrollo de sistemas colaborativos y autónomos, como el uso de UAVs en la agricultura orgánica, optimizando recursos naturales. Por último, el enfoque en tecnologías como GIS y AHP para priorizar tierras agrícolas refuerza la planificación sostenible y el manejo avanzado de cultivos (Vinod et al., 2024). Esto asegura que los profesionales estén preparados para implementar soluciones innovadoras que aborden los desafíos ambientales y sociales en el sector agropecuario.

CONCLUSIONES

La educación superior en ciencias agropecuarias puede contribuir a la sostenibilidad mediante la integración de tecnologías avanzadas de Agricultura 5.0 al fomentar competencias técnicas y éticas en los estudiantes. Al incluir IoT, IA, ML, UAVs y

blockchain en programas académicos, los futuros profesionales adquieren habilidades para optimizar recursos, reducir impactos ambientales y adoptar prácticas regenerativas.

Se propone diseñar y consolidar programas académicos interdisciplinarios que integren proyectos prácticos basados en Agricultura 5.0, combinando tecnologías como IoT, UAVs y ML con enfoques éticos y sostenibles. Estos programas deben incluir la colaboración con la industria y el gobierno para garantizar la transferencia tecnológica y el acceso a infraestructuras avanzadas, promoviendo así un impacto tangible en la sostenibilidad agropecuaria y en la formación de profesionales altamente capacitados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, L., & Nabi, F. (2021). Agriculture 5.0: Artificial Intelligence, IoT, and Machine Learning. *Agriculture 5.0: Artificial Intelligence, IoT, and Machine Learning*. <https://doi.org/10.1201/9781003125433>
- Alahmadi, A. N., Rehman, S. U., Alhazmi, H. S., Glynn, D. G., Shoaib, H., & Solé, P. (2022). Cyber-Security Threats and Side-Channel Attacks for Digital Agriculture. *Sensors*, 22(9). <https://doi.org/10.3390/S22093520>
- Angélica, I., Torres, G., Elizabeth, R., León, C., Ricardo, W., Espín, N., Geovanny, J., & Andrade, V. (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
- Bissadu, K. D., Sonko, S., & Hossain, G. (2024). Society 5.0 enabled agriculture: Drivers, enabling technologies, architectures, opportunities, and challenges. *Information Processing in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/J.INPA.2024.04.003>
- Bui, H. T., Aboutorab, H., Mahboubi, A., Gao, Y., Sultan, N. H., Chauhan, A., Parvez, M. Z., Bewong, M., Islam, R., Islam, Z., Camtepe, S. A., Gauravaram, P., Singh, D., Ali Babar, M., & Yan, S. (2024). Agriculture 4.0 and beyond: Evaluating cyber threat intelligence sources and techniques in smart farming ecosystems. *Computers & Security*, 140, 103754. <https://doi.org/10.1016/J.COSE.2024.103754>
- Carayannis, E. G., & Morawska, J. (2023). University and Education 5.0 for Emerging Trends, Policies and Practices in the Concept of Industry 5.0 and Society 5.0.

- Industry 5.0: Creative and Innovative Organizations, 1–25.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-26232-6_1
- Castro, N., Candia, A., Queiruga, C., Pagano, M., Ocampo, M. M., & Diaz, J. (2024). Desafíos tecnológicos de un proyecto de IoT para la agricultura familiar y manejo agroecológico en invernaderos del periurbano de La Plata. *Memorias de Las JAIIO*, 10(3), 118–130. <https://publicaciones.sadio.org.ar/index.php/JAIIO/article/view/968>
- Catala-Roman, P., Segura-Garcia, J., Dura, E., Navarro-Camba, E. A., Alcaraz-Calero, J. M., & Garcia-Pineda, M. (2024). AI-based autonomous UAV swarm system for weed detection and treatment: Enhancing organic orange orchard efficiency with agriculture 5.0. *Internet of Things*, 28, 101418. <https://doi.org/10.1016/J.IOT.2024.101418>
- Demircioglu, P., Bogrekci, I., Durakbasa, M. N., & Bauer, J. (2024). Autonomation, Automation, AI, and Industry-Agriculture 5.0 in Sustainable Agro-Ecological Food Production. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 545–556. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53991-6_42
- Fraser, E. D. G., & Campbell, M. (2019). Agriculture 5.0: Reconciling Production with Planetary Health. *One Earth*, 1(3), 278–280. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.022>
- Henriksen, B., Røstad, C. C., & Thomassen, M. K. (2022). Industry 5.0 – Making It Happen in the Agri Industry. *The Core Product Service Platform. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 663 IFIP, 424–431. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16407-1_50
- Juwono, F. H., Wong, W. K., Verma, S., Shekhawat, N., Lease, B. A., & Apriono, C. (2023). Machine learning for weed–plant discrimination in agriculture 5.0: An in-depth review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 10, 13–25. <https://doi.org/10.1016/J.AIIA.2023.09.002>
- Kiruthiga, C., & Dharmarajan, K. (2023). Machine Learning in Soil Borne Diseases, Soil Data Analysis & Crop Yielding: A Review. *Proceedings of the International Conference on Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics, ICIITCEE 2023*, 702–706. <https://doi.org/10.1109/IITCEE57236.2023.10091016>

- 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>
- Mesías-Ruiz, G. A., Pérez-Ortiz, M., Dorado, J., de Castro, A. I., & Peña, J. M. (2023). Boosting precision crop protection towards agriculture 5.0 via machine learning and emerging technologies: A contextual review. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1143326. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2023.1143326/BIBTEX>
- Mgendi, G. (2024a). Unlocking the potential of precision agriculture for sustainable farming. *Discover Agriculture 2024 2:1*, 2(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/S44279-024-00078-3>
- Mgendi, G. (2024b). Unlocking the potential of precision agriculture for sustainable farming. *Discover Agriculture 2024 2:1*, 2(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/S44279-024-00078-3>
- Nakaguchi, V. M., & Ahamed, T. (2023). Artificial Intelligence in Agriculture: Commitment to Establish Society 5.0: An Analytical Concepts Mapping for Deep Learning Application. *IoT and AI in Agriculture*, 133–152. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8113-5_9
- Parashar, A., Mabrouki, J., & Sharma, J. (2024). AI and Smart Technologies for Smart Agriculture Environment. *Studies in Big Data*, 143, 95–107. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50860-8_6
- Ragazou, K., Garefalakis, A., Zafeiriou, E., & Passas, I. (2022). Agriculture 5.0: A New Strategic Management Mode for a Cut Cost and an Energy Efficient Agriculture Sector. *Energies* 2022, Vol. 15, Page 3113, 15(9), 3113. <https://doi.org/10.3390/EN15093113>
- Rame, R., Purwanto, P., & Sudarno, S. (2024). Industry 5.0 and sustainability: An overview of emerging trends and challenges for a green future. *Innovation and Green Development*, 3(4), 100173. <https://doi.org/10.1016/J.IGD.2024.100173>
- Rudrakar, S., & Rughani, P. (2023). IoT based Agriculture (Ag-IoT): A detailed study on Architecture, Security and Forensics. *Information Processing in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/J.INPA.2023.09.002>

- Sankarasubramanian, P. (2024). Enhancing precision in agriculture: a smart predictive model for optimal sensor selection through IoT integration. *Smart Agricultural Technology*, 100749. <https://doi.org/10.1016/J.ATECH.2024.100749>
- Sathiyamurthi, S., Saravanan, S, Shankar Karuppanan, ., Balakumbahan, R, Sivasakthi, M, Praveen Kumar, S, Ramya, M, Hussain, Sajjad, Tariq, A., & Sathiyamurthi, * S. (2024). Agricultural land suitability of Manimutha Nadhi watershed using AHP and GIS techniques. *Discover Sustainability* 2024 5:1, 5(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/S43621-024-00471-4>
- Sletli, V. (2024). Smart Farming or Digital Agriculture. Reference Module in Social Sciences. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13701-3.00490-4>
- Vinod, V. C., S., A. H., & Albaaji, G. F. (2024). Precision farming for sustainability: An agricultural intelligence model. *Computers and Electronics in Agriculture*, 226, 109386. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2024.109386>