

Capítulo 13

La inteligencia artificial y sus beneficios en una agricultura sostenible

Oscar Méndez García

<https://doi.org/10.61728/AE24001137>



Introducción

El sector agrícola es de gran importancia para todos los países. Con el incremento de la población se espera que la demanda alimenticia aumente de manera considerable para el año 2050 (Shariff et al., 2022). Por lo mismo, la producción de este sector es un tema relevante, en virtud de todos los bienes que se producen en las actividades agrícolas, que va desde la preparación de la tierra, cuidado de semillas, cultivos de alimentos, proceso de cosecha, uso de suelo y agua, así como el impacto en el medioambiente. La gestión eficiente de estos recursos ha provocado una transformación tecnológica del sector agrícola con la finalidad de incrementar la producción, disminuir los costos y responder a la alta demanda de manera sostenible con los recursos disponibles.

Con el tiempo, el sector agrícola ha evolucionado adaptándose a los diversos cambios que se han presentado, partiendo de su forma tradicional hasta llegar a la automatización de sus procesos buscando la mejora continua. Es por ello por lo que en la actualidad, este sector ha puesto su interés en la tecnología como fuente primaria para generar innovación, encontrando diferentes aplicaciones para el uso de tecnologías digitales que se pueden enfocar en el sector alimentario, como son drones, vigilancia satelital, tractores de especialización, tecnologías inteligentes, internet de las cosas (IoT), big data y blockchain. Debido a la importancia del sector agrícola, no solamente como impulsor económico sino también por su enorme aportación al sector alimentario (Suarez-Guzmán et al., 2020).

Conforme a lo anterior, se puede concebir a la inteligencia artificial como una tecnología que permite llevar a la agricultura tradicional a una agricultura sostenible atendiendo los factores económicos, sociales y ecológicos presentes en las prácticas agrícolas, demostrando la importancia de los aportes de la tecnología en el aumento de la productividad, la eficiencia del manejo de recursos y la disminución de riesgos, lo cual abre un panorama a nuevos mercados disminuyendo la brecha digital, y ocasiona que el sector agrícola sea adaptativo, y por ende más competitivo, enfocándose

en la sostenibilidad agrícola a partir del uso de tecnología con inteligencia artificial (Raj y de Carvalho, 2023).

Como ya se mencionó, la relación entre la IA y la agricultura empieza a florecer, pero el camino para que se diera esta cooperación ha sido largo y de paso lento, es por ello, en gran parte, que el sector agrícola es un tanto escéptico a las nuevas tecnologías. Sin embargo, a lo largo de cuarenta y cuatro años, la tecnología ha realizado aportes importantes para el desarrollo de la agricultura (Sood et al., 2022), marcando un antes y un después de la implementación de tecnología a través de diversas técnicas y dispositivos que generan el aprendizaje automático, como la integración de drones para la supervisión en tiempo real, tractores y maquinaria especializada con sistemas de navegación satelital para un mejor rendimiento y cuidado de los cultivos (Cook y O'Neill, 2020). Todo esto permea de manera positiva a la economía de las empresas agrícolas impulsando el crecimiento de la IA, buscando un mayor impacto en las economías emergentes.

Entendiendo la relevancia que tiene la IA en todos los procesos dentro la agricultura, en este trabajo se pretende explicar los beneficios que aporta el uso de tecnología con inteligencia artificial al sector agrario y los retos que enfrenta para incursionar de la agricultura tradicional a la agricultura inteligente demostrando que puede ser muy prometedora en el futuro, las aplicaciones que se han desarrollado por medio de IA en el campo a proporcionando información útil para la creación de nuevos modelos para la mejora de la producción de las empresas del sector haciendo que cada vez más productores se unan a la aplicación de la IA, aprovechando la flexibilidad de esta para la resolución de problemáticas tanto de supervisión como de operación adentrándose en la nueva tendencia de la agricultura inteligente.

La inteligencia artificial y su incursión en la agricultura

La tecnificación de la agricultura con la tecnología 4.0 abrió las puertas para la adopción de la IA por parte de la industria agrícola, mejorando la producción a través de la interconectividad de los diferentes dispositivos que se utilizan en los cultivos, control y uso eficiente del agua, manejo de recursos obteniendo mejores resultados con tecnología inteligente como

lo son el internet de las cosas (IoT) y big data. Con la incorporación de la tecnología inteligente en la agricultura se avanza a una nueva era donde los datos son uno de los activos más importantes de las empresas para la generación de estrategias de proyección para el aumento de producción, disminución de los costos entre otros beneficios; la IA está generando que las empresas agrícolas busquen la optimización de sus sistemas a través de la inversión en tecnologías inteligentes que se estima que estas inversiones aumenten un 25 % para el 2026 (Ryan et al., 2023), con la incorporación de la tecnología inteligente no solo se puede mejorar operacionalmente, también, gracias a la diversidad que presenta la agricultura, puede hacer frente a los diferentes desafíos buscando el desarrollo del sector agrícola (véase tabla 1).

La integración de la IA en las fases de la producción agrícola ha significado mejoras durante todo el proceso, desde la preproducción hasta postproducción, utilizando diversas tecnologías para la supervisión del suelo, calidad de las semillas y sistemas de riego necesarios para lograr productos de calidad. Durante este proceso interviene el aprendizaje automático (ML), mediante el procesamiento de imágenes, sistemas de sensores infrarrojos para el análisis del suelo y drones de monitoreo, con lo que se obtiene información mediante el IoT para su procesamiento (Wang et al., 2021), y de esta manera optimizar la toma de decisiones sobre los objetivos más razonables y asequibles para las empresas agrícolas contestando tres preguntas: ¿Qué vamos a cultivar?, ¿dónde lo vamos a realizar? y ¿cómo lo vamos a hacer? La tecnología inteligente es parte mediadora para el análisis de datos a través del big data y modelos matemáticos logrando información precisa, rápida y eficiente (Nie et al., 2022) para hacer frente a los desafíos en la agricultura.

Tabla 1. Tecnologías inteligentes para los desafíos de la agricultura.

| Desafíos de la agricultura | Tecnología inteligente |
|---|--|
| Administración del suelo | Robótica, Drones, Realidad aumentada, IoT, |
| Administración de los cultivos | Deep learning, Realidad aumentada, Big data |
| Administración del agua | Robótica, Automatización, Machine learning, Redes neuronales, IoT, Big Data. |
| Fertilizantes inteligentes | IoT, Big Data. |
| Administración de enfermedades y pestes | Deep learning, IoT. |
| Cambio climático | Deep learning, Machine learning, IoT, Big Data. |

Fuente: Elaboración propia con datos de Oliveira y Silva, (2023).

Sistemas basados en IA se utilizaron para hacer frente a las afectaciones del cambio climático en los cultivos de maíz del oeste de Estados Unidos, donde se aplicaron seis modelos de IA para realizar pronósticos y aumentar el rendimiento de este cultivo, del cual se espera que la producción caiga un 5 % debido a temperaturas extremas. A través de los modelos de IA se analizaron imágenes satelitales e informes meteorológicos con los datos recopilados. Los modelos predijeron la sequía del 2012 en Estados Unidos que redujo el rendimiento del cultivo de maíz en un 22 %, lo cual demuestra la utilidad de la IA para el desarrollo de estrategias que permitan adaptarse al cambio climático, basados en pronósticos con alto grado de confiabilidad (Kim et al., 2020).

La inteligencia artificial en la agricultura ha demostrado que puede beneficiar gran parte de las etapas de producción en este sector, la agricultura de precisión ha sido pionera en la adopción de tecnología manifestando las mejoras puede ofrecer al desarrollo agrícola, transformando los procesos tradicionales y haciéndolos más eficientes al aplicar soluciones tecnológicas a través de la IA.

Inteligencia artificial en la agricultura de precisión

La agricultura de precisión (AP) es una fuente de mejoras tecnológicas para la toma de decisiones a través de la recolección de información mediante diversos sistemas, satélites, vehículos autónomos que permite realizar pronósticos sobre los posibles escenarios y generar estrategias para enfrentar las diversas problemáticas, la inteligencia artificial se ha sumado al esfuerzo de la agricultura de precisión por maximizar las ganancias de los productores agrícolas, asimismo, mediante el aprendizaje automático se han desarrollado nuevos algoritmos para el uso de vehículos autónomos o robots que minimiza el daño a los cultivos al evitarles pérdidas innecesarias, la automatización de los procesos permite crear redes neuronales a partir de la información recabada para el desarrollo de estrategias aplicables a los diferentes tipos de cultivos, suelos, tipos de clima que permita replicar a través de la IA las técnicas agrícolas en diversas zonas que compartan similitudes geográficas (Linaza et al., 2021).

Con el uso de IA a través de la AP, los agricultores buscan mantener la sostenibilidad del sector mediante estrategias para hacer frente a la dis-

minución de recursos y la creciente demanda de producción, entendiendo que la respuesta a todos estos desafíos es la tecnología que brinda los mejores resultados en el manejo eficiente de recursos obteniendo altos rendimientos, mejor adaptabilidad ante los cambios por los efectos climáticos como económicos (Ayoub Shaikh et al., 2022), la aplicación de la IA continua demostrando tener un gran potencial para controlar de mejor forma las fases de producción agrícola como se muestra en la figura uno.

Figura 1. Fases de la producción agrícola.



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Ayoub Shaikh et al. (2022).

Con el uso de la AP en las fases de producción agrícola se optimizan los procesos en selección de cultivo, se analizan de forma precisa los datos recabados de las cosechas anteriores para medir las condiciones y elegir el cultivo más propicio, con esto, se puede obtener información detallada sobre la calidad del suelo, lo cual permite definir el tipo de riego así como los fertilizantes necesarios, evitando gastos y contaminación excesiva del suelo con químicos que pueden dañar futuros cultivos (Zhu et al., 2019). En la fase de la cosecha, la utilización de drones de monitoreo y equipo de sensores permite supervisar la calidad de los cultivos identificando en-

fermedades de manera temprana, para tomar medidas preventivas, con los tractores de navegación satelital se reduce el tiempo de cosecha comparado con el uso de jornaleros, pasando a la última fase de producción se utilizan sistemas de aprendizaje automático, big data, IoT para procesar la información con la finalidad de crear estrategias que les permitan ser competitivos (Unal, 2020).

Basados en los beneficios potenciales se aplicó la Agricultura de Precisión en el cultivo de moras en la zona de Riobamba, Ecuador. Mediante el desarrollo de una red de sensores inalámbricos que permiten realizar un sistema de riego inteligente para el cuidado del cultivo, demostrando la importancia de la gestión del vital líquido para las actividades de este sector. La red de monitoreo consta de 3 nodos que reciben la información del área de cultivo de manera inalámbrica, los datos recabados permitieron conocer que las 140 plantas de mora cultivadas en la zona, necesitan para su crecimiento 180.44 litros de agua, el sistema calculó que 3 horas de riego es tiempo suficiente para la hidratación deseada, representando un ahorro de 60.48 litros de agua al día, 725.76 litros al mes y 8709.12 litros al año, estos sistemas pueden cubrir hasta 200 hectáreas de cultivo (Paredes et al., 2021).

La inclusión de los avances tecnológicos en los procesos agrícolas ha permitido la evolución del sector en un tiempo relativamente corto, primordialmente con base en el manejo efectivo de la información que se relaciona con los riesgos, mercados, clientes e inversiones. La información tiene un papel fundamental en la inteligencia artificial, todos los empresarios conocen la importancia de la información siendo un concepto básico de la administración, pero con los avances tecnológicos la generación de información aumentó exponencialmente, de tal manera que, procesarla por los medios tradicionales resulta casi imposible e intentarlo es totalmente ineficaz. Por lo que se han empleado diversos tipos de tecnología con inteligencia artificial que ha permitido a los agricultores extraer información relevante que permita generar conocimiento sobre las diferentes áreas de aplicación de la agricultura, tecnologías como big data y el IoT han demostrado ser sistemas importantes de apoyo para enfrentar los desafíos dentro de la agricultura digital.

Big data y su aplicación en la agricultura

Para el procesamiento de datos los sistemas conocidos como big data son definidos como sistemas especializados para el tratamiento de grandes bancos de información, de los cuales se puede obtener estadísticos, análisis predictivos con los que se pueden plantear estrategias que mejora la eficiencia de no solo de los cultivos, sino que aumenta la seguridad alimentaria (Dakshayini y Balaji Prabhu, 2020).

La aplicación de sistemas de big data se hace presente en todos los ámbitos donde la inteligencia artificial se utiliza para el procesamiento de información en busca de aplicar el conocimiento generado en la práctica real, el sector agrícola desde una perspectiva de innovación empieza a utilizar este tipo de tecnología que aporta una mayor confianza en la toma de decisiones avaladas por las conocidas 4 V del big data, volumen, velocidad, variedad y veracidad, por medio de las cuales se adquiere la información de las fases del proceso agrícola que se han mencionado anteriormente cultivos, suelo, clima entre otros, procesando estos datos a través de sistemas especializados obteniendo análisis espaciales permitiendo evaluar alternativas desde diferentes perspectivas para la toma eficiente de decisiones y la implementación de estrategias que permitan mantener la sostenibilidad de la agricultura (Bhat y Huang, 2021).

- *Volumen*: Dentro de Big data son los datos macros que se almacenan dentro de clúster para su posterior análisis, siendo uno de los desafíos para esta la infraestructura necesaria debido a que el volumen es cada vez mayor.
- *Velocidad*: El proceso de toma decisiones en sectores donde se utiliza tecnología se debe realizar de forma ágil, por tal razón la velocidad de procesamiento de información es en tiempo real creando modelos que visualicen la toma de decisiones.
- *Variedad*: Maneja que la información no es excluyente de los diferentes procesos, se debe analizar en conjunto, ya que esta repercute de manera general en la toma decisiones, por lo cual se busca que los datos convergen en algún punto.
- *Veracidad*: La confiabilidad de la información es vital para la correcta toma de decisiones, por lo que se debe garantizar la fidelidad de los datos.

La variedad de aplicaciones del big data dentro de la agricultura otorga beneficios para la solución de problemas de sus diversas áreas como la cadena de valor, predicciones de oferta y demanda, gestión adecuada de los recursos y rápida respuesta a los cambios climáticos (Kamilaris et al., 2017), lo cual permite a los agricultores aumentar la rentabilidad al tomar decisiones inteligentes sobre los posibles escenarios, manteniendo la importancia del procesamiento de los macro datos en la agricultura (Ang y Seng, 2021).

Modelos basados en big data fueron utilizados en actividades agropecuarias en China, a través de estructuras de sensores que recopilan información del suelo, almacenando para su análisis y depuración para generar modelos predictivos sobre la producción que permite a los productores una toma de decisiones basadas en datos estadísticos con alto grado de confiabilidad, otro modelo basado en big data fue aplicado en la India para un análisis de las actividades agrícolas por medio de una red de sensores que recababan información de la producción de los cultivos que eran monitoreados a través de aplicaciones móviles, el modelo proporcionó información específica para sistematizar estrategias de comercialización para el nivel estatal y nacional (Vite Cevallos et al., 2020).

El big data genera la tecnología inteligente que permite a la industria agrícola obtener información oportuna de los diversos escenarios a nivel mundial, así como las problemáticas de cada zona y las medidas utilizadas para solventar estas problemáticas, lo cual genera un conocimiento valioso que ayuda en la generación de estrategias para lograr un mejor posicionamiento frente a la competencia (Maya Gopal y Chintala, 2020), así como el IoT que se desempeña en diversas áreas agrícolas proporcionando aprendizaje automático permitiendo la transición de la agricultura tradicional a la inteligencia artificial (Bhat y Huang, 2021).

Internet de las cosas y sus beneficios en la agricultura

El internet de las cosas (IoT), al igual que los sistemas de big data forma parte de las tecnologías inteligentes que, sumadas a la inteligencia artificial, han sentado precedentes de la importancia de incorporar estas tecnologías de vanguardia para mejorar la productividad de la zona agrícola, la carac-

terística principal del IoT es la conectividad de los objetos en este caso de todos los dispositivos dentro de la agricultura que generen información creando redes de comunicación de intercambio de datos no estructurados los cuales son tomados por la inteligencia artificial para realizar análisis para darle estructura a estos datos para generar decisiones fundamentadas en información de calidad (Yang, 2020), con la agricultura de precisión se dieron avances significativos, pero con la adopción del IoT se ha logrado la automatización con mejores resultados sobre todo en las tareas de alta complejidad y que con mano de obra humana demoraba de forma considerable, situación que se empieza a sortear con los equipos modernos para las diferentes áreas como un ejemplo de esto son los tractores de última generación guiados por sistemas de navegación satelital ya considerados por los agricultores como esencial e irremplazables para aumentar la productividad (Ci?Velek, 2021).

Otros de los dispositivos que han generado grandes beneficios con la aplicación del IoT es el uso de drones para monitorear en tiempo real cultivos y la calidad del suelo, mencionando que estos utilizan sensores, cámaras y otro tipo de tecnologías que permiten recabar este tipo de información para un mejor control de calidad (Van Der Merwe et al., 2020), en el municipio de Apartado, Colombia, se implementó el uso de drones para actividades de fumigación otorgando un alcance mayor en áreas de acceso difícil y de riesgo para trabajadores, el uso de esta tecnología permite una fumigación de alta precisión y mapeos para el control de plagas manteniendo saludables los cultivos de banano (Idarraga Vargas et al., 2024).

El énfasis al seguimiento de los cultivos es necesario para asegurar la producción conforme a la demanda alimentaria de la población por lo cual el IoT y la IA al automatizar las actividades agrícolas son fundamentales para la agricultura (Subeesh y Mehta, 2021), las tecnologías inteligentes han aumentado la precisión de las decisiones estratégicas al acumular información e interpretar sus datos de forma que aseguran que las medidas que se tomen para el logro de los objetivos sean las adecuadas, proporcionando una adaptación rápida y flexible al entorno del sector agrícola.

Esta adaptación que proporciona el IoT a los procesos de la agricultura, no es una tarea fácil de realizar, debido a la gran variedad de factores que intervienen tanto organizacionales como ambientales siendo estos los

más impredecibles, con la intervención del IoT para recabar toda la información producida de las diferentes fuentes que el big data acumula para su análisis entre datos estructurados y no estructurados por medio de la IA identificando los marcadores de tendencias, los casos de éxito, los riesgos, procesando todo a través del aprendizaje automático que permitirá hacer más eficientes los sistemas llegando al aprendizaje profundo que ya no es solo el procesamiento de datos, sino que se pueden representar en diferentes niveles de abstracción para el desarrollo de soluciones o mejoras novedosas para la creación de sistemas autónomos en la agricultura (Misra et al., 2022).

Con la cantidad de datos que se tiene que procesar por medio del IoT, el respaldo de la I.A. es pieza clave debido a que proporciona mejoras en la operatividad, las ventajas que se obtienen por medio de las tecnologías inteligentes, amplía los panoramas de una agricultura sostenible por medio de la recopilación de datos con lo que se puede pronosticar la producción agrícola basada en modelos sólidos de inteligencia artificial (Adli et al., 2023).

Conclusiones

La agricultura a presentados avances tecnológicos en las últimas décadas, en la búsqueda de la sostenibilidad con el aumento de la producción, garantizando mejoras en las prácticas tradicionales del cuidado de cultivos y los diferentes factores que intervienen en los procesos agrícolas, uno de los principales desafíos en el sector alimentario es el aumento de la población que está alcanza más de ocho mil millones con el pronóstico de llegar a más de nueve mil millones para el año 2050, lo que aumentar la demanda de alimentos en un 69 %, y por ende la necesidad de una mayor producción de alimentos. La alternativa para hacer frente a estas problemáticas en la implementación de tecnologías digitales basada en la inteligencia artificial que ha demostrado la optimización de los recursos de manera significativa, analizando datos para la creación de modelos que permitan realizar pronósticos más eficientes para el cuidado de las cosechas lo que incide en una alta producción.

Realizando un análisis de las diversas etapas por los cuales ha atravesado el sector agrícola desde la agricultura 1.0 a la agricultura 4.0, es en la

agricultura de precisión que identificamos el primer paso para la inclusión de tecnología digital, incursionando de manera paulatina en la agricultura inteligente por medio de las tecnologías modernas basadas en inteligencia artificial como los son el internet de las cosas, el big data, computación en la nube, la conectividad mediante tecnologías de información y comunicación, y el aprendizaje automático que hacen viable una agricultura sostenible.

Son diversas razones que hacen a la inteligencia artificial sea un concepto cada vez más replicado dentro del sector agrícola, quienes han encontrado en esta, una alternativa para la automatización de los procesos reemplazando a los métodos tradicionales de manera efectiva disminuyendo los costos de mano de obra, aumentando las capacidades de producción, y abriendo nuevas oportunidades de crecimiento con el uso de la inteligencia artificial para crear modelos que estandarice la gestión de los datos para la planeación (Sood et al., 2022), aumentando la calidad de los procesos agrícolas.

Los beneficios que brinda la inteligencia artificial para impulsar el sector agrario a través de las diversas tecnologías que se pueden aplicar en este campo, son prometedoras, si bien hay algunos retos que se deben superar como la falta de infraestructura o preparación mediante capacitaciones al personal para el manejo de sistemas especializados, los aportes que genera el desarrollo tecnológico supera con creces estas limitantes, por lo que se puede inferir que en un futuro no solo se seguirá utilizando la inteligencia artificial en este sector, sino que ampliará más el abanico de sistemas y dispositivos que ofrecerán soluciones holísticas en el contexto agrícola.

Por lo cual el camino que ha estado marcando el desarrollo tecnológico en la agricultura tradicional pasando por la agricultura de precisión hasta este momento donde la agricultura inteligente empieza atender las problemáticas sobre la productividad, la seguridad alimentaria, sostenibilidad, cuidado ambiental basada en prácticas agrícolas inteligentes (Kamilaris et al., 2017), donde las últimas aplicaciones de big data y el internet de las cosas desarrollan todo su potencial para realizar mejoras de los procesos y servicios del sector, creando oportunidades para integrar las tecnologías digitales 4.0, reconociendo que la inteligencia artificial aún no alcanza su nivel más álgido, por lo cual se espera desempeñe un papel clave en el crecimiento de la agricultura.

Referencias

- Adli, H. K., Remli, M. A., Wan Salihin Wong, K. N. S., Ismail, N. A., González-Briones, A., Corchado, J. M., & Mohamad, M. S. (2023). *Recent Advancements and Challenges of AIoT Application in Smart Agriculture: A Review*. *Sensors*, 23(7), 3752. <https://doi.org/10.3390/s23073752>
- Ang, K. L.-M. y Seng, J. K. P. (2021). Big Data and Machine Learning With Hyperspectral Information in Agriculture. *IEEE Access*, 9, 36699–36718. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3051196>
- Ayoub Shaikh, T., Rasool, T., & Rasheed Lone, F. (2022). *Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision agriculture and smart farming*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107-119. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107119>
- Bhat, S. A., & Huang, N.-F. (2021). *Big Data and AI Revolution in Precision Agriculture: Survey and Challenges*. *IEEE Access*, 9, 110209–110222. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3102227>
- Ci?Velek, Ç. (2021). *Development of an IoT based (LoRaWAN) Tractor Tracking System*. *Tar?m Bilimleri Dergisi*. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.769200>
- Cook, P., & O'Neill, F. (2020). *Artificial Intelligence in Agribusiness is Growing in Emerging Markets*. <https://policycommons.net/artifacts/1279703/artificial-intelligence-in-agribusiness-is-growing-in-emerging-markets/1870529/>
- Dakshayini, M. y Balaji Prabhu, B. V. (2020). An Effective Big Data and Blockchain (BD-BC) Based Decision Support Model for Sustainable Agriculture System. En A. Haldorai, A. Ramu, S. Mohanram, & C. C. Onn (Eds.), *EAI International Conference on Big Data Innovation for Sustainable Cognitive Computing* (pp. 77–86). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19562-5_8
- Idarraga Vargas, A., Pinzon Gonzalez, J. E., & Vergara Suarez, S. D. J. (2024). *Análisis de los costos de la aplicación de drones en la fumigación en las fincas bananeras del municipio de Apartadó. Estudio de caso*. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/1fe239ef-e6d0-4a3b-810d-daeecd5c17e0>
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). *A review on the practice of big data analysis in agriculture*. *Computers and Elec-*

- tronics in Agriculture, 143, 23-37. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>
- Kim, N., Na, S.-I., Park, C.-W., Huh, M., Oh, J., Ha, K.-J., Cho, J., & Lee, Y.-W. (2020). *An Artificial Intelligence Approach to Prediction of Corn Yields under Extreme Weather Conditions Using Satellite and Meteorological Data*. Applied Sciences, 10(11), 3785. <https://doi.org/10.3390/app10113785>
- Linaza, M. T., Posada, J., Bund, J., Eisert, P., Quartulli, M., Döllner, J., Pagani, A., G. Olaizola, I., Barriguinha, A., Moysiadis, T., & Lucat, L. (2021). *Data-Driven Artificial Intelligence Applications for Sustainable Precision Agriculture*. Agronomy, 11(6), 1227. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061227>
- Maya Gopal P.S., & Chintala, B. R. (2020). Big Data Challenges and Opportunities in Agriculture: *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*, 11(1), 48–66. <https://doi.org/10.4018/IJAEIS.2020010103>
- Misra, N. N., Dixit, Y., Al-Mallahi, A., Bhullar, M. S., Upadhyay, R., & Martynenko, A. (2022). IoT, Big Data, and Artificial Intelligence in Agriculture and Food Industry. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(9), 6305–6324. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2998584>
- Nie, J., Wang, Y., Li, Y., & Chao, X. (2022). Artificial intelligence and digital twins in sustainable agriculture and forestry: A survey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46(5), 642–661. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3033>
- Oliveira, R. C. D., & Silva, R. D. D. S. E. (2023). *Artificial Intelligence in Agriculture: Benefits, Challenges, and Trends*. Applied Sciences, 13(13), 7405. <https://doi.org/10.3390/app13137405>
- Paredes, M., Zúñiga, W., Morocho Caiza, A. F., & Mendoza, M. (2021). Agricultura de precisión mediante WSN con nodos inteligentes aplicada a un sistema de riego en cultivo de mora. *Revista Perspectivas*, 3(2), 26–30. <https://doi.org/10.47187/perspectivas.vol3iss2.pp26-30.2021>
- Raj, V. H. A., & De Carvalho, C. X. (2023). A Perspective on the Application of Artificial Intelligence in Sustainable Agriculture with Special Reference to Precision Agriculture. *SDMIMD Journal of Management*, 1–13. <https://doi.org/10.18311/sdmimd/2023/33006>
- Ruiz-Real, J. L., Uribe-Toril, J., Torres Arriaza, J. A., & De Pablo Valenciano, J. (2020). *A Look at the Past, Present and Future Research Trends of*

- Artificial Intelligence in Agriculture*. *Agronomy*, 10(11), 1839. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111839>
- Ryan, M., Isakhanyan, G., & Tekinerdogan, B. (2023). An interdisciplinary approach to artificial intelligence in agriculture. *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*, 95(1), 2168568. <https://doi.org/10.1080/27685241.2023.2168568>
- Sood, A., Sharma, R. K., & Bhardwaj, A. K. (2022). Artificial intelligence research in agriculture: A review. *Online Information Review*, 46(6), 1054–1075. <https://doi.org/10.1108/OIR-10-2020-0448>
- Subeesh, A., & Mehta, C. R. (2021). *Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things*. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5, 278–291. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2021.11.004>
- Unal, Z. (2020). Smart Farming Becomes Even Smarter With Deep Learning—*A Bibliographical Analysis*. *IEEE Access*, 8, 105587–105609. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000175>
- Van Der Merwe, D., Burchfield, D. R., Witt, T. D., Price, K. P., & Sharda, A. (2020). Drones in agriculture. En *Advances in Agronomy* (Vol. 162, pp. 1–30). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.03.001>
- Vite Cevallos, H., Townsend Valencia, J., Carvajal Romero, H., Vite Cevallos, H., Townsend Valencia, J., & Carvajal Romero, H. (2020). Big Data e internet de las cosas en la producción de banano orgánico. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(4), 192–200.
- Wang, J., Peng, J., Li, H., Yin, C., Liu, W., Wang, T., & Zhang, H. (2021). Soil Salinity Mapping Using Machine Learning Algorithms with the Sentinel-2 MSI in Arid Areas, China. *Remote Sensing*, 13(2), 305. <https://doi.org/10.3390/rs13020305>
- Yang, L. B. (2020). *Application of Artificial Intelligence in Electrical Automation Control*. *Procedia Computer Science*, 166, 292–295. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.097>
- Zhu, Zhou, Gao, Bao, He, & Feng. (2019). *Near-Infrared Hyperspectral Imaging Combined with Deep Learning to Identify Cotton Seed Varieties*. *Molecules*, 24(18), 3268. <https://doi.org/10.3390/molecules24183268>

