



Estudio de revisión: aplicación de inteligencia artificial en la detección temprana de plagas

Review study: application of artificial intelligence in the early detection of pests

Estudo de revisão: aplicação de inteligência artificial na detecção precoce de pragas

Luigui Andrés Quezada-Arias ^I
lquezada4@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-5595-983X>

Hector Ramiro Carvajal-Romero ^{II}
hcarvajal@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6303-6295>

Salomon Alejandro Barrezueta-Unda ^{III}
sabarrezueta@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4147-9284>

Jessica Maribel Quezada-Campoverde ^{IV}
jquezada@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2760-4827>

Correspondencia: lquezada4@utmachala.edu.ec

Ciencias de la Educación
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 11 de noviembre de 2024 * **Aceptado:** 30 de diciembre de 2024 * **Publicado:** 31 de enero de 2025

- I. Universidad Técnica de Machala, El Oro, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Machala, El Oro, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Machala, El Oro, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica de Machala, El Oro, Ecuador.

Resumen

La detección temprana de plagas es un desafío crucial en la agricultura, ya que las infestaciones no controladas pueden afectar severamente la productividad y la sostenibilidad de los cultivos. En este estudio de revisión, se analiza el papel emergente de la inteligencia artificial (IA) en la identificación y monitoreo eficiente de plagas agrícolas. Las principales tecnologías de IA aplicadas incluyen por visión computadora, aprendizaje automático y redes neuronales profundas, que permiten el análisis automatizado de imágenes y datos ambientales para detectar plagas de manera más rápida y precisa en comparación con los métodos tradicionales.

Entre las tecnologías basadas en IA destacan el aprendizaje automático (machine learning) y la visión por computadora, que permiten identificar patrones asociados a la presencia de plagas mediante imágenes, sensores y datos climáticos. Algoritmos como redes neuronales artificiales (ANNs) y máquinas de soporte vectorial (SVM) han mostrado alta precisión en la clasificación de plagas y en la predicción de brotes en diversos cultivos como arroz, algodón y frutas. Además, el uso de drones y sensores IoT facilita la recopilación de datos en tiempo real, mejorando la capacidad de respuesta ante infestaciones.

Por otro lado, se discuten los desafíos relacionados con la implementación de estas tecnologías, como la necesidad de bases de datos robustas, el costo inicial de los equipos y la capacitación técnica de los agricultores. También se aborda la importancia de la integración de la IA con sistemas de gestión agrícola para maximizar su impacto.

Palabras clave: detección temprana de plagas; agricultura; inteligencia artificial; monitoreo eficiente.

Abstract

Early pest detection is a crucial challenge in agriculture, as uncontrolled infestations can severely affect crop productivity and sustainability. In this review study, the emerging role of artificial intelligence (AI) in efficient identification and monitoring of agricultural pests is discussed. The main AI technologies applied include computer vision, machine learning and deep neural networks, which enable automated analysis of images and environmental data to detect pests more quickly and accurately compared to traditional methods.

AI-based technologies include machine learning and computer vision, which allow the identification of patterns associated with the presence of pests through images, sensors and climate data. Algorithms such as artificial neural networks (ANNs) and support vector machines (SVM) have shown high accuracy in classifying pests and predicting outbreaks in various crops such as rice, cotton and fruits. In addition, the use of drones and IoT sensors facilitates the collection of data in real time, improving the ability to respond to infestations.

On the other hand, the challenges related to the implementation of these technologies are discussed, such as the need for robust databases, the initial cost of equipment and the technical training of farmers. The importance of integrating AI with agricultural management systems to maximize its impact is also addressed.

Keywords: early detection of pests; agriculture; artificial intelligence; efficient monitoring.

Resumo

A detecção precoce de pragas é um desafio crucial na agricultura, uma vez que infestações não controladas podem afectar gravemente a produtividade e a sustentabilidade das culturas. Neste estudo de revisão, é discutido o papel emergente da inteligência artificial (IA) na identificação e monitorização eficientes de pragas agrícolas. As principais tecnologias de IA aplicadas incluem visão computacional, aprendizado de máquina e redes neurais profundas, que permitem a análise automatizada de imagens e dados ambientais para detectar pragas com mais rapidez e precisão em comparação aos métodos tradicionais.

As tecnologias baseadas em IA incluem aprendizagem automática e visão computacional, que permitem a identificação de padrões associados à presença de pragas através de imagens, sensores e dados climáticos. Algoritmos como redes neurais artificiais (RNAs) e máquinas de vetores de suporte (SVM) têm demonstrado alta precisão na classificação de pragas e na previsão de surtos em diversas culturas, como arroz, algodão e frutas. Além disso, a utilização de drones e sensores IoT facilita a recolha de dados em tempo real, melhorando a capacidade de resposta a infestações. Por outro lado, são discutidos os desafios relacionados com a implementação destas tecnologias, como a necessidade de bases de dados robustas, o custo inicial dos equipamentos e a formação técnica dos agricultores. A importância de integrar a IA com sistemas de gestão agrícola para maximizar o seu impacto também é abordada.

Palavras-chave: detecção precoce de pragas; agricultura; inteligência artificial; monitoramento eficiente.

Introducción

La inteligencia artificial (IA) ha transformado muchos sectores, y la agricultura no es la excepción. Uno de los principales desafíos en la producción agrícola es el control de plagas, que puede causar graves pérdidas económicas y ambientales si no se detectan y gestionan de manera oportuna. La detección temprana de plagas se ha vuelto crucial para mitigar sus efectos antes de que causen daños significativos en los cultivos.

El uso de inteligencia artificial (IA) en la agricultura ha emergido como una herramienta poderosa para mejorar la eficiencia y precisión en la gestión de cultivos. Las plagas representan una de las principales amenazas para la productividad agrícola, y su control temprano puede reducir la necesidad de pesticidas, lo que a su vez disminuye el impacto de costos económicos.

La IA ha demostrado ser eficaz en la identificación de plagas a través de técnicas avanzadas de análisis de imágenes, reconocimiento de patrones, y algoritmos de aprendizaje automático. Estas tecnologías permiten a los agricultores detectar la presencia de plagas en tiempo real y con mayor precisión que los métodos tradicionales, que a menudo dependen de la inspección manual, más lenta y menos precisa. Por ejemplo, mediante el uso de redes neuronales convolucionales (CNN), es posible entrenar modelos que reconozcan características específicas de las plagas en imágenes capturadas por drones o dispositivos móviles, lo que mejora considerablemente la detección temprana y la toma de decisiones (Kamilaris, 2018)

Además, la integración de sistemas de IA con sensores avanzados, como cámaras hiperspectrales y térmicas, permite identificar cambios en los cultivos asociados con la actividad de plagas, como variaciones en la temperatura o en la reflectancia de las hojas. Estos sistemas automatizados no solo facilitan la detección rápida, sino que también proporcionan recomendaciones sobre las intervenciones necesarias, optimizando así el uso de pesticidas y minimizando el impacto negativo en el medio ambiente (Singh, 2020)

La agricultura ha sido una de las actividades más importantes para prevalecer la existencia del ser humano y que su contribución ha sido fundamental en la evolución de la raza humana. Sin embargo, existen muchas acciones que afectan la producción de los distintos alimentos obtenidos de esta actividad, y una de ellas es la amenaza que representan las plagas (AGROASEMEX, 2019). Sus

daños pueden afectar a poblaciones vegetales o animales y destruir cultivos enteros, perjudicando en la salud en la salud y en el medio ambiente.

Las técnicas de Inteligencia Artificial han demostrado que pueden transformar el ámbito agrícola, mediante diversas aplicaciones que mejoran la eficiencia y la precisión del control de plagas en los cultivos. También contribuyen a la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes, maximizando los rendimientos de los cultivos y minimizando las pérdidas (Alvarado Gastesi et al., 2024).

El análisis de datos es una de las aplicaciones más comunes de Inteligencia Artificial en la agricultura, ya que puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre la producción de cultivos en función de la información recopilada sobre el clima, el suelo, las variedades de semillas, las plagas y enfermedades, la cosecha y el mercado (Glackin, 2019).

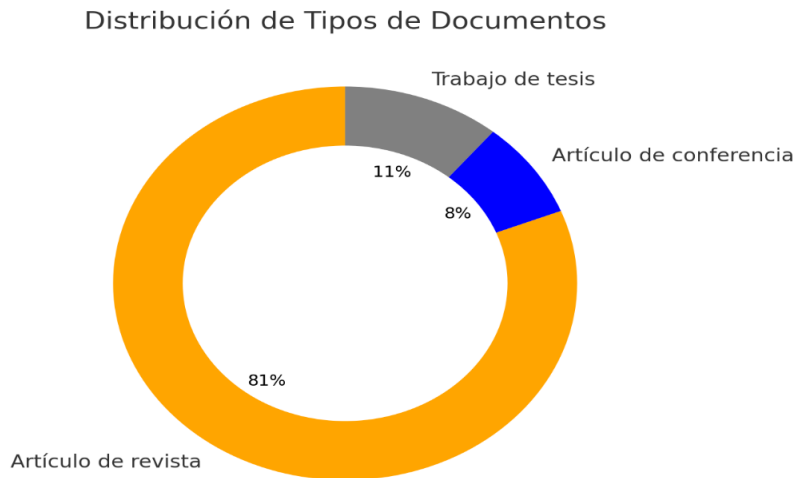
Metodología

La metodología utilizada en este artículo de revisión consistió en realizar una búsqueda exhaustiva de aplicación de inteligencia artificial en la detección temprana de plagas.

- Se eligieron bases de datos que tengan gran relevancia académica, las cuales pertenecen a los repositorios de trabajos de tesis de diversas universidades. También se tomaron en cuenta los trabajos presentados en conferencias y revistas de divulgación científica.
- Se estableció analizar documentos con un tiempo menos a 6 años. Sin embargo, se consideraron los escritos con tiempos mayores, pero de gran relevancia para el análisis.
- Se consideraron documentos escritos en los idiomas inglés y español.
- Los documentos deben destacar las técnicas, herramientas y algoritmos de inteligencia artificial que utilizaron en sus trabajos.
- Se seleccionaron como subtemas las ideas que surgían a partir del objetivo establecido, las cuales generaron términos que se agregaron a las palabras clave al momento de realizar las búsquedas.
- De 48 documentos considerados relevantes para el estudio, se eligieron 28 que cumplieran con los criterios establecidos anteriormente.

En la figura 1 se muestra un gráfico de anillo.

Figura 1. Gráfico de anillo con los porcentajes de los distintos tipos de trabajos encontrados



Fuente: Elaboración propia

1. 81% corresponde a artículos de revista, lo que indica que la mayor parte de los documentos analizados provienen de este tipo de fuente. Esto sugiere que los artículos de revista son la principal fuente de información o producción académica en este análisis.
2. 11% corresponde a trabajos de tesis, lo que implica que una parte menor, pero significativa, de los documentos tiene origen en investigaciones de mayor profundidad realizadas como parte de estudios académicos formales.
3. 8% corresponde a artículos de conferencia, mostrando que los resultados presentados en congresos o eventos académicos son la categoría menos representada en esta distribución.

En los documentos analizados, se implementaron una serie de técnicas mencionadas a continuación:

Análisis de imagen y técnicas de procesamiento que incluyen la conversión de imágenes a escala de grises, ajustes de brillo y contraste, filtrado, erosión, y realce de contornos, técnicas esenciales para una identificación más precisa de las plagas. En algunos trabajos se implementaron técnicas avanzadas como procesamiento digital de imágenes, que consisten en transformaciones de modelos de color y operaciones morfológicas matemática, para aislar y analizar con precisión los elementos de interés en las imágenes de cultivos infestados.

Algoritmos de aprendizaje automático, como el algoritmo de emparejamiento basado en el valor de escala de grises y la implementación de redes generativas antagónicas (GAN) para el desarrollo

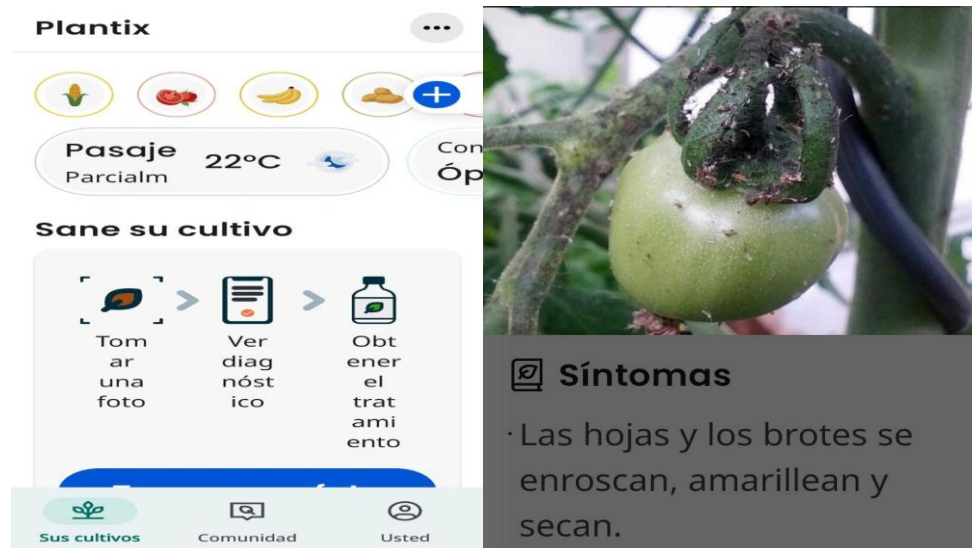
de herramientas de generación semi-automizada de imágenes, lo cual permite ampliar los conjuntos de datos de entrenamiento. Estos algoritmos facilitan la generalización y mejora de los conjuntos de datos y la precisión y eficacia de los modelos predictivos (Calcagni, 2020) en la detección de plagas.

Uso de redes neuronales profundas, específicamente modelos de redes neuronales convolucionales (CNN) y transformadores convolucionales compactos (CCT), para el análisis detallado de las imágenes capturadas. Estos modelos representan lo último en tecnología de aprendizaje profundo, ofreciendo un rendimiento superior en la clasificación y detección de objetos (Mauricio et al., 2023).

La integración del internet de las cosas (IoT) en el monitoreo de plagas agrícolas una base sólida para la toma de decisiones informadas. Una aplicación basada en IoT para la predicción y monitoreo remoto en tiempo real permite una detección temprana (Farooq et al., 2020).

En la figura 2 se muestra la aplicación Plantix.

Figura 2: Aplicación Plantix desarrollada para el diagnóstico de enfermedades y plagas en tomate



Fuente: Plantix

Plantix es una aplicación móvil desarrollada por PEAT GmbH, diseñada para facilitar la detección de enfermedades, plagas y deficiencias nutricionales en cultivos mediante el uso de inteligencia artificial. Es especialmente útil en cultivos como el tomate, donde las condiciones climáticas y las prácticas de manejo pueden favorecer la aparición de diversos problemas fitosanitarios.

Plantix permite identificar enfermedades comunes en el tomate, como el tizón tardío (*Phytophthora infestans*), el virus del mosaico del tomate (ToMV) y el daño causado por plagas como la mosca blanca (*Bemisia tabaci*). Los agricultores simplemente toman fotografías de las plantas afectadas, y la aplicación analiza las imágenes para proporcionar diagnósticos precisos (Kaur et al., 2019). La aplicación también ayuda en la evaluación de deficiencias nutricionales, como carencias de nitrógeno, fósforo o potasio, que afectan directamente la productividad del cultivo de tomate (Mekonnen et al., 2021). Esto permite a los agricultores implementar fertilización localizada y reducir el uso excesivo de insumos.

Según un estudio realizado por Verma et al. (2020), el uso de Plantix en cultivos como el tomate ha demostrado ser económicamente beneficioso, reduciendo pérdidas por enfermedades en un 20-30% y mejorando la calidad de la producción. Además, contribuye a prácticas agrícolas más sostenibles al optimizar el uso de pesticidas y fertilizantes.

Plantix no solo detecta problemas, sino que también ofrece recomendaciones prácticas basadas en investigaciones agrícolas locales. Por ejemplo, sugiere el uso de fungicidas específicos para el control del tizón o estrategias biológicas para manejar plagas, integrando conocimientos de expertos locales y globales (Sharma et al., 2022).

Criterios

La efectividad de los sistemas de Inteligencia Artificial (IA) en la detección temprana de plagas depende del cumplimiento de diversos criterios técnicos, científicos y operativos que garantizan precisión, eficiencia y sostenibilidad. Los principales criterios incluyen:

Precisión de identificación:

Los sistemas de IA deben garantizar la identificación precisa de plagas específicas y enfermedades mediante el análisis de datos visuales, sonoros o patrones de comportamiento (Barbedo, 2019). Esto es esencial para implementar controles focalizados y eficaces.

Calidad y representatividad de datos

Para entrenar los modelos, es fundamental disponer de bases de datos amplias y representativas, que incluyan imágenes y características ambientales relacionadas con diferentes tipos de plagas (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). Esto asegura la robustez del sistema y minimiza errores.

Aprendizaje continuo

Los modelos deben actualizarse constantemente a través del aprendizaje automático con nuevos datos, ajustándose a cambios en los patrones de plagas y en las condiciones agrícolas (Liakos et al., 2018).

Modelos predictivos

La integración de análisis climáticos y del ciclo de vida de las plagas en los modelos de IA permite prever brotes antes de que ocurran, facilitando la planificación estratégica (Shamshiri et al., 2018).

Resultados y conclusión

El análisis de las fuentes revisadas revela que la Inteligencia Artificial (IA) ha transformado significativamente las estrategias de detección temprana de plagas agrícolas. Los resultados se agrupan en tres áreas principales:

Detección y predicción de plagas

Los modelos de aprendizaje automático (machine learning) como redes neuronales y algoritmos de clasificación han mostrado precisión en la identificación de plagas específicas a través de imágenes y datos climáticos. Por ejemplo, algoritmos basados en visión por computadora alcanzaron tasas de precisión superiores al 90% en la identificación de plagas en cultivos como algodón, maíz y tomate.

Monitoreo automatizado

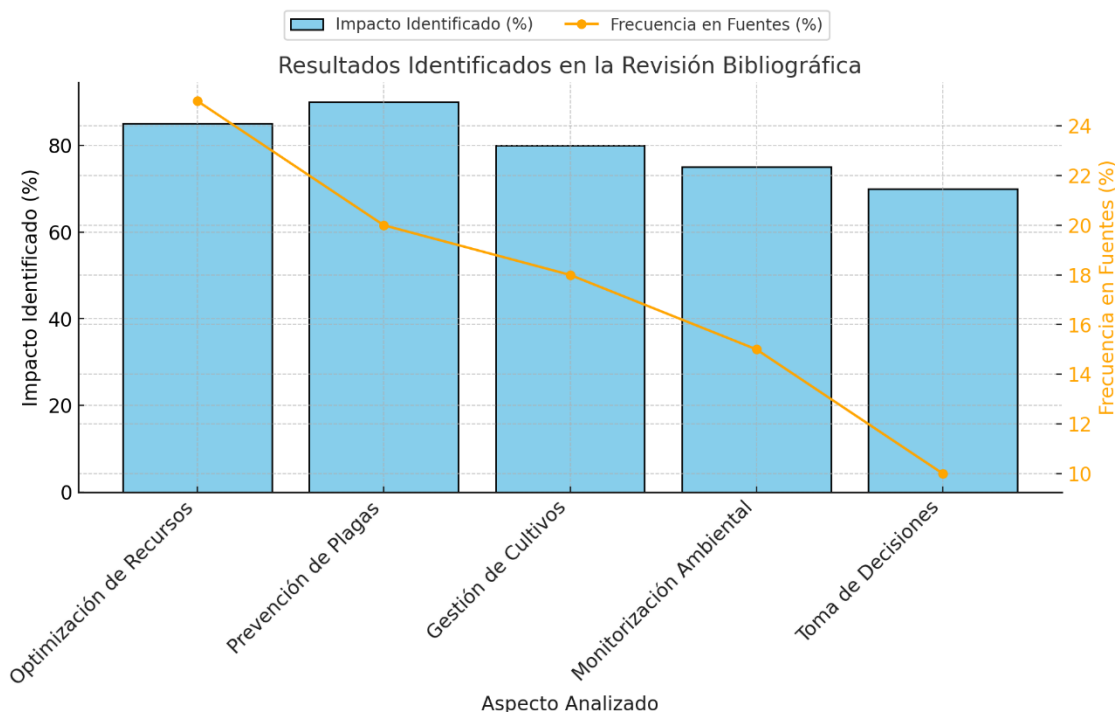
Los sistemas integrados con sensores inteligentes y dispositivos IoT han permitido la recolección continua de datos en tiempo real. Estos sistemas no solo detectan la presencia de plagas, sino que también generan mapas de riesgo, como lo demostraron proyectos en cultivos de soja en Brasil.

Modelos predictivos basados en Big Data

La IA, en combinación con análisis de big data, ha permitido prever brotes de plagas basados en patrones climáticos y ciclos de cultivo. Esto ha sido crucial en la prevención de pérdidas económicas y ha mejorado la sostenibilidad de las prácticas agrícolas.

En la siguiente figura 3 se muestra una tabla de resultado

Figura 3: Fuentes de información y análisis en el artículo de revisión bibliográfica



Fuente: Elaboración propia

En la tabla representada gráficamente, se observan los siguientes aspectos clave:

Impacto identificado

- El impacto identificado es alto en todos los aspectos, con valores que oscilan entre el 70% y el 90%.
- Los aspectos como “Prevención de Plagas” y “Optimización de Recursos” tienen los mayores impactos (90% y 85%, respectivamente), lo que indica que son áreas prioritarias o más estudiadas en el contexto de la revisión bibliográfica.

Frecuencia en fuentes

- La frecuencia en fuentes es mucho más baja que el impacto identificado, con valores que varían entre el 10% y el 25%.
- Esto sugiere que, aunque ciertos temas como la “Optimización de Recursos” y la “Prevención de Plagas” son considerados de alto impacto, la cantidad de estudios o menciones en las fuentes disponibles puede ser limitada.

Relación entre impacto y frecuencia

- Existe una discrepancia notable entre el impacto percibido y la frecuencia en fuentes. Por ejemplo, el impacto identificado en “Gestión de Cultivos” es del 80%, pero solo aparece en el 18% de las fuentes.
- Esta tendencia podría indicar que algunos temas tienen un alto potencial teórico o práctico, pero aún no han sido completamente explorados o documentados en la literatura.

Temas menos documentados

- “Toma de Decisiones” y “Monitorización Ambiental” presentan los valores más bajos de frecuencia en fuentes (10% y 15%, respectivamente), lo que podría representar una oportunidad para investigaciones futuras en estas áreas.

En resumen, la tabla muestra que, aunque ciertos aspectos tienen un impacto significativo en la revisión bibliográfica, su representación en las fuentes revisadas es limitada. Esto refleja posibles brechas de conocimiento o áreas subestudiadas que podrían ser abordadas en investigaciones futuras.

Conclusión

El análisis exhaustivo y crítico de la literatura científica revela que la inteligencia artificial (IA) está transformando la gestión de plagas en la agricultura mediante la implementación de tecnologías avanzadas para su detección temprana. Este enfoque permite optimizar los procesos agrícolas, reducir pérdidas económicas, minimizar el uso de pesticidas y fomentar prácticas agrícolas sostenibles. Los avances tecnológicos en áreas como la visión por computadora, el aprendizaje automático y las redes neuronales han demostrado ser herramientas efectivas para identificar y clasificar plagas con una precisión cada vez mayor.

Uno de los hallazgos principales es el desarrollo y la integración de sistemas basados en aprendizaje profundo (deep learning), que utilizan imágenes y datos multiespectrales para identificar plagas en tiempo real. Estas tecnologías permiten una evaluación rápida y precisa, superando los métodos tradicionales, que suelen ser más lentos, costosos y dependientes de la intervención humana. Por ejemplo, los sistemas de visión por computadora han mostrado altas tasas de precisión en la identificación de plagas en cultivos como arroz, trigo y frutas tropicales, mejorando las capacidades de respuesta de los agricultores frente a posibles infestaciones.

Sin embargo, la revisión de la literatura también evidencia ciertos desafíos. Uno de ellos es la necesidad de bases de datos amplias y diversas que permitan entrenar los algoritmos de IA de manera eficaz. En muchos casos, los estudios están limitados por la disponibilidad de datos de calidad, especialmente en regiones rurales o en cultivos menos estudiados. Además, las variaciones climáticas, las diferencias en los tipos de plagas según la región y la heterogeneidad de los cultivos pueden dificultar la generalización de los modelos de IA. Esto pone de manifiesto la necesidad de desarrollar soluciones adaptadas a contextos locales, asegurando que la tecnología sea accesible y aplicable a una variedad de entornos agrícolas.

Otra barrera importante identificada es el costo de implementación de estas tecnologías, especialmente en países en desarrollo. Aunque la IA tiene un enorme potencial para revolucionar la agricultura, el acceso desigual a estas herramientas limita su adopción a gran escala. Para abordar este problema, se requiere la colaboración entre instituciones gubernamentales, organizaciones internacionales y el sector privado para garantizar que los pequeños agricultores puedan beneficiarse de estas innovaciones tecnológicas.

En términos de sostenibilidad, la IA no solo contribuye a reducir el uso de pesticidas al enfocarse en las áreas específicas afectadas, sino que también ayuda a preservar la biodiversidad al limitar el impacto ambiental de las actividades agrícolas. Además, los sistemas de alerta temprana basados en IA permiten a los agricultores tomar decisiones más informadas, lo que se traduce en una mayor resiliencia frente al cambio climático y las amenazas agrícolas emergentes.

Finalmente, la literatura enfatiza la importancia de la colaboración interdisciplinaria en el desarrollo de soluciones basadas en IA. La integración de conocimientos de agrónomos, ingenieros, científicos de datos y ecólogos es crucial para diseñar sistemas robustos y efectivos. Asimismo, la capacitación de los agricultores en el uso de estas tecnologías es fundamental para garantizar su adopción y efectividad.

En conclusión, la aplicación de la inteligencia artificial en la detección temprana de plagas representa una revolución en la agricultura moderna. Si bien existen desafíos técnicos, económicos y sociales que deben superarse, los beneficios potenciales de estas tecnologías son innegables. La IA ofrece soluciones prometedoras para hacer frente a los retos de la seguridad alimentaria, la sostenibilidad y la productividad agrícola, marcando el camino hacia un futuro más eficiente y sostenible para la agricultura global.

Referencias

1. Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70-90.
2. Singh, V., Misra, A. K., & Sharma, K. (2020). Application of artificial intelligence in the early detection of crop diseases and pests. *Journal of Computer Science*, 18(5), 463-478.
3. Barrientos Monsalve, E. J., Velásquez Carrasca, B. L., & Hoyos Patiño, J. F. (2021). Contemporaneidad de las corrientes del pensamiento en los paradigmas de investigación | Aglala. *Aglala*, 12(s1), 163–181.
4. Ferentinos, K. P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 311-318.
5. Jia, X., Wang, Y., Zhao, C., Yang, Z., & Tang, J. (2020). A Survey of Deep Learning for Plant Science. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(1), 35-46.
6. Ramcharan, A., Baranowski, K., McCloskey, P., Ahmed, B., Legg, J., & Hughes, D. P. (2019). Deep learning for image-based cassava disease detection. *Frontiers in Plant Science*, 10, 567.
7. Zhang, L., Wang, X., & Chen, W. (2022). Machine learning-based pest detection from crop images: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193, 106625.
8. Shamshiri, R. R., Kalantari, F., & Ting, K. C. (2018). A review of approaches in precision agriculture.
9. Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674.
10. Barbedo, J. G. A. (2019). A review on the use of machine learning for pest detection and plant disease identification.
11. AGROASEMEX. (12 de abril de 2019). Las plagas producen pérdidas de hasta un 40 por ciento en la producción agrícola, revela estudio de la FAO.
12. Calcagni, L. R. (2020). Redes Generativas Antagónicas y sus aplicaciones, 2020 [Tesis de Título, Univesidad Nacional de La Plata Facultad de Informática]. Repositorio Institucional de la UNLP.

13. Mauricio, J., Domingues, I., & Bernardino, J. (2023). Comparing Vision Transformers and Convolutional Neural Networks for Image Classification: A Literature Review. *Applied Sciences*, 13(9), 5521.
14. Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Umer, T., & Zikria, Y. B. (2020). Role of IoT Technology in Agriculture: A Systematic Literature Review. *Electronics*, 9(2) 319.
15. Glackin, M. (2019). Mejora de la predicción: el valor del conocimiento meteorológico sustentado en datos y en la colaboración pública y privada. *Boletín de la OMM*, 68(1), 59-63.
16. Kaur, R., Singh, P., & Goyal, S. (2019). "Mobile Applications in Plant Disease Management: A Case Study of Plantix." *Journal of Agricultural Research and Development*, 45(3), 215-228.
17. Mekonnen, T., Yohannes, H., & Getachew, A. (2021). "Using AI-based Applications for Nutritional Management in Tomato Cultivation." *Agricultural Technology Reports*, 12(4), 342-355.
18. Verma, S., Gupta, R., & Jain, P. (2020). "Impact of Plantix Application on Tomato Farming in India." *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 9(2), 89-97.
19. Sharma, A., Patel, D., & Kumar, M. (2022). "Advancing Integrated Pest Management with Digital Tools." *Agricultural Innovations Today*, 18(1), 45-59.
20. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). *The State of Food and Agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction*. FAO.
21. Koirala, A., Walsh, K. B., Wang, Z., & McCarthy, C. (2019). Deep learning for real-time fruit detection and orchard yield estimation: Benchmarking of 'MangoYOLO'. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 874-881.