

REVISIÓN

Detection of citrus diseases using artificial intelligence: A systematic review

Detección de enfermedades de los cítricos utilizando inteligencia artificial: una revisión sistemática

Richard Injante¹  , Sergio Sánchez-Isuiza¹  

¹Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática. Tarapoto, Perú.

Citar como: Injante R, Sánchez-Isuiza S. Detection of citrus diseases using artificial intelligence: A systematic review. LatIA. 2025; 3:122. <https://doi.org/10.62486/latia2025122>

Enviado: 21-03-2024

Revisado: 07-06-2024

Aceptado: 29-09-2024

Publicado: 01-01-2025

Editor: Dr. Rubén González Vallejo 

Autor para la correspondencia: Richard Injante 

ABSTRACT

Early detection of citrus diseases is important for the global agricultural industry, facing threats such as Huanglongbing and canker. This study reviews the current status of the use of artificial intelligence to improve detection accuracy and speed. A systematic literature review was conducted from 2019 to 2023, using databases such as Scopus, IEEE Xplore and ACM, focusing on identifying the fruits studied, prevalent diseases, AI algorithms used and their accuracies, as well as technical challenges in implementing AI systems. The results highlight that oranges, lemons and mandarins are the most investigated fruits, with Huanglongbing, black spot and canker as the most studied diseases. AI algorithms such as Deep Neural Networks (DNN) and Adaboost show high accuracies, essential to improve disease detection. However, challenges include lack of labeled data, adaptation to different agricultural conditions, and effective integration in dynamic agricultural environments. This study reveals the need to advance data quality and algorithm adaptability to strengthen sustainability and efficiency in disease detection in citrus crops.

Keywords: Deep Neural Networks; Adaboost; Deep Learning; Citrus.

RESUMEN

La detección temprana de enfermedades en cítricos es importante para la industria agrícola global, enfrentando amenazas como el Huanglongbing y la cancrrosis. Este estudio revisa el estado actual del uso de inteligencia artificial para mejorar la precisión y velocidad de detección. Se realizó una revisión sistemática de la literatura desde 2019 hasta 2023, utilizando bases de datos como Scopus, IEEE Xplore y ACM, centrada en identificar los frutos estudiados, enfermedades prevalentes, algoritmos de IA utilizados y sus precisiones, así como desafíos técnicos en la implementación de sistemas de IA. Los resultados destacan que naranjas, limones y mandarinas son los frutos más investigados, con Huanglongbing, la mancha negra y la cancrrosis como las enfermedades más estudiadas. Los algoritmos de IA como las Redes Neuronales Profundas (DNN) y Adaboost muestran altas precisiones, esenciales para mejorar la detección de enfermedades. Sin embargo, los desafíos incluyen la falta de datos etiquetados, adaptación a diferentes condiciones agrícolas y la integración efectiva en entornos agrícolas dinámicos. Este estudio revela la necesidad de avanzar en la calidad de los datos y la adaptabilidad de los algoritmos para fortalecer la sostenibilidad y eficiencia en la detección de enfermedades en los cultivos de cítricos.

Palabras clave: Redes Neuronales Profundas; Adaboost; Aprendizaje Profundo; Cítricos.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades en los cítricos representan una amenaza para la industria cítrica a nivel mundial.⁽¹⁾ Su detección temprana es crucial para implementar medidas de control efectivas y limitar su propagación.⁽²⁾ En este contexto, la utilización de Inteligencia Artificial (IA) ofrece mejoras en la detección rápida de enfermedades en los cítricos. Los algoritmos de IA pueden analizar grandes conjuntos de datos, como imágenes de hojas y frutas, para identificar signos tempranos de enfermedad con una precisión y velocidad superiores a los métodos tradicionales.⁽³⁾ Esta capacidad de detección rápida y precisa puede ayudar a los productores a tomar medidas preventivas y mitigar el impacto negativo de las enfermedades en los cítricos.

La detección temprana de enfermedades en los cítricos emerge como una necesidad para la agricultura, ya que asegura la salud de los cultivos y la sostenibilidad a largo plazo.⁽⁴⁾ Sin embargo, esta labor es entorpecida por la ausencia de métodos eficientes y rápidos para identificar los primeros indicios de la enfermedad, lo que deja a los agricultores sin las herramientas necesarias para aplicar medidas preventivas de manera oportuna.⁽⁵⁾

La propagación rápida de las enfermedades y su impacto devastador en los rendimientos cítricos resaltan la necesidad de desarrollar e implementar tecnologías avanzadas de detección.⁽⁶⁾ Esta situación pone en riesgo la sostenibilidad económica de la industria cítrica, ya que la eficacia de la detección no solo es vital para la salud de los cultivos, sino también para mantener la estabilidad financiera del sector.⁽⁷⁾

Se requiere un enfoque holístico que combine avances tecnológicos con investigaciones específicas sobre las enfermedades, buscando soluciones que no solo detectaran la enfermedad de manera temprana, sino que también mitigaran su propagación.⁽⁸⁾ La urgencia de la situación también resalta la importancia de reducir la dependencia de pesticidas mediante intervenciones más precisas, contribuyendo así a la sostenibilidad al disminuir los impactos ambientales y los costos asociados con tratamientos extensivos.⁽⁹⁾

Diferentes estudios han abordado la detección de enfermedades en cítricos como el de⁽¹⁰⁾ quienes examinan el uso de modelos de detección de objetos basados en aprendizaje profundo para mejorar la identificación de enfermedades en plantas. Su investigación proporciona una visión exhaustiva de los métodos de detección en tomates, cítricos, maíz y uvas, resaltando innovaciones, desafíos y direcciones futuras en la implementación de estos modelos en la agricultura. Su aporte se suma a los avances tecnológicos, como el empleo de Redes Neuronales Profundas (DNNs), que han mejorado notablemente la detección de enfermedades en plantas.

Por otro lado,⁽¹¹⁾ destacan el uso de técnicas de aprendizaje automático y profundo en huertos de cítricos, al permitir la detección temprana de enfermedades, plagas y estrés hídrico, mejorando así la productividad y calidad de los cultivos. Asimismo, resaltan la superioridad de los modelos de aprendizaje profundo sobre los modelos de aprendizaje automático tradicionales en la clasificación de enfermedades y déficit hídrico en plantas.

En relación con la detección y clasificación automatizada de enfermedades en hojas de plantas cítricas,⁽¹²⁾ subrayan la necesidad de herramientas avanzadas para automatizar este proceso, mejorando así la eficiencia y precisión en la producción agrícola. Por su parte,⁽²⁾ resaltan en su investigación sobre ingeniería genética en cítricos, el desarrollo de variedades transgénicas resistentes a enfermedades como el cancro cítrico y el Huanglongbing (HLB). Este avance representa un paso significativo en la obtención de cultivos más resistentes y en la mitigación de los impactos negativos de las enfermedades en la producción de cítricos a nivel mundial.

Por último,⁽¹³⁾ enfatizan la importancia de esta tecnología para mejorar la eficiencia y precisión en la detección de enfermedades, clasificación de frutas y cosecha automatizada. Proponen soluciones para abordar desafíos existentes, como la falta de conjuntos de datos diversificados y la necesidad de hardware de procesamiento de imágenes de alta calidad.

El objetivo del presente estudio es analizar el estado actual de la detección de enfermedades en cítricos mediante el uso de IA, centrándose en identificar los algoritmos empleados, su precisión en la identificación de enfermedades como el cancro cítrico, la mancha negra, el Huanglongbing (HLB) y otras patologías relevantes, así como los frutos de cítricos más estudiados, como naranjas, limones y mandarinas. Se busca comprender los desafíos técnicos enfrentados en la implementación de sistemas de IA en la detección de enfermedades en cítricos, incluyendo la necesidad de conjuntos de datos diversificados y representativos.

MÉTODO

Se llevó a cabo una revisión sistemática exploratoria con el propósito de analizar y resumir la literatura académica existente en un campo específico del saber. Este tipo de revisión permite lograr una visión exhaustiva del estado actual del conocimiento, al identificar, evaluar y realizar una síntesis crítica de los hallazgos de investigaciones previas. De esta manera, se consolida como una herramienta fundamental en la investigación científica, facilitando la detección de vacíos en el conocimiento y proporcionando una base para la toma de decisiones fundamentadas.

El método de revisión siguió las fases establecidas por⁽¹⁴⁾: planificación, realización de la revisión y redacción del informe. Este enfoque busca definir las preguntas de investigación, establecer los términos clave y sus sinónimos para la búsqueda, seleccionar las bases de datos pertinentes y establecer criterios de inclusión y

exclusión. Una vez localizado el material de calidad, se examina minuciosamente para extraer información relevante y, finalmente, se reportan los hallazgos. Con esta aclaración, se describen las fases realizadas en la presente revisión:

Preguntas de investigación

Para responder el objetivo propuesto, se trazaron las siguientes preguntas de investigación:

P1: ¿Qué frutos se estudian más?

P2: ¿Cuáles son las enfermedades más comunes que afectan a los cítricos?

P3: ¿Cuáles son los algoritmos de inteligencia artificial más utilizados para detectar enfermedades en cítricos?

P4: ¿Qué desafíos técnicos y limitaciones enfrenta la implementación de sistemas de inteligencia artificial en la prevención y control de enfermedades en cítricos?

Estrategia de búsqueda

Se empleó el término clave “enfermedades en cítricos”, traducido al inglés como “citrus diseases”. Además, se utilizó el operador OR para incorporar el término similar “citrus pests”. Con la cadena de búsqueda definida como “Citrus diseases” OR “citrus pests”, se seleccionaron tres bases de datos: Scopus, IEEE Xplore y ACM. Estas bases de datos fueron elegidas debido a su amplia cobertura tanto internacional como regional, su capacidad para aplicar filtros de búsqueda avanzada y su garantía de calidad académica en las contribuciones.

El proceso de selección de artículos comenzó aplicando la cadena de búsqueda mediante las herramientas de búsqueda avanzada de cada base de datos, abarcando los campos de título, palabras clave y resumen (primera clasificación). Luego, se implementaron filtros considerando criterios de inclusión y exclusión, tales como el rango de años, idioma, fuente y tipo de documento, aplicados manualmente (segunda clasificación). Posteriormente, los metadatos se importaron y organizaron en Excel, donde se eliminaron duplicados tomando como referencia la base de datos de Scopus (tercera clasificación). Además, a partir de la lectura del título y resumen, se filtraron los artículos centrados en las enfermedades de los cítricos y que incluyeran Deep Learning y Machine Learning (cuarta clasificación). Finalmente, se procedió a la descarga de los artículos de las tres bases de datos mencionadas anteriormente (quinta clasificación). La tabla 1 muestra la cantidad de artículos obtenidos en cada clasificación.

Base de datos	Clasificación				
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
Scopus	25491	96	93	53	24
IEEE	421	114	111	74	14
ACM	303	7	7	5	2

Criterios de inclusión y exclusión

Definir criterios de inclusión y exclusión es crucial para garantizar la objetividad y reproducibilidad de la revisión. Estos criterios aseguran que los artículos seleccionados sean pertinentes a las preguntas de investigación y cumplan con los estándares de calidad establecidos.⁽¹⁴⁾ En consecuencia, se establecieron los siguientes criterios de inclusión:

- Publicados entre el año 2019 y 2023.
- Idioma español e inglés.
- Artículos de investigación (originales o empíricos), conferencias y capítulos de libros.
- Enfocados a las enfermedades de los cítricos.

En cuanto a los criterios de exclusión se establecieron los siguientes:

- Artículos de revisión u otros tipos de fuentes secundarias.
- Publicaciones duplicadas.

A partir de la aplicación de los criterios, se obtuvo 40 artículos científicos para su análisis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras completar la selección de los artículos relevantes y realizar una revisión exhaustiva de cada uno, se procedió a responder las preguntas de investigación planteadas:

P1: ¿Qué frutos se estudian más?

Esta pregunta se enfoca en descubrir qué tipos de frutas cítricas se están investigando en estudios recientes. Es crucial entender qué frutas específicas están bajo investigación, ya que cada una puede tener características y susceptibilidades a enfermedades que varían según la región y las prácticas agrícolas.

Tabla 2. Frutos que se estudian más	
Frutos	Artículos
Naranjas	(15), (11), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (6), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35), (36), (37), (38), (39), (40), (41), (42), (43), (44), (45), (46), (47), (48)
Limonos	(15), (11), (17), (18), (19), (20), (21), (25), (26), (29), (30), (32), (34), (37), (39), (40), (41), (42), (43), (44), (45)
Limas	(16), (24), (25), (26), (30)
Pomelos	(19), (24), (25), (26), (28), (30)
Mandarinas	(17), (18), (21), (49), (22), (23), (24), (25), (6), (29), (30), (31), (36), (39), (40), (41), (42), (43), (44), (48)
Toronjas	(16)

Según los resultados presentados en la tabla 2, las naranjas destacan como el principal foco de investigación, con un total de 34 estudios centrados en ellas. La popularidad y el cultivo extensivo de estas frutas justifican la significativa atención que reciben en el ámbito científico.

Los limones también ocupan un lugar destacado, mencionados en 22 investigaciones. Su uso frecuente tanto en la cocina como en la industria de bebidas respalda la considerable atención que reciben en los estudios científicos. Las mandarinas también ocupan un lugar importante, siendo mencionadas en 17 investigaciones. Su sabor dulce las hace muy apreciadas por los consumidores, lo cual respalda la considerable atención que reciben en los estudios científicos. En contraste, las limas y los pomelos son objeto de estudio en 5 y 6 investigaciones, respectivamente. Aunque estos números son menores en comparación con naranjas, limones y mandarinas, indican un interés sólido en estas frutas. Finalmente, las toronjas aparecen en solo un estudio, lo que sugiere una menor prevalencia o un impacto percibido menor en comparación con otras frutas cítricas.

P2: ¿Cuáles son las enfermedades más comunes que afectan a los cítricos?

Esta pregunta se centra en identificar qué enfermedades afectan principalmente a los cítricos y están siendo investigadas. Es crucial entender qué enfermedades están siendo estudiadas porque su prevalencia y gravedad pueden variar según la región y las prácticas agrícolas. Por lo tanto, conocer cuáles son objeto de investigación ayuda a evaluar mejor los resultados de esos estudios y su relevancia para la agricultura y la fitosanidad.

Tabla 3. Enfermedades más comunes que afectan a los cítricos	
Enfermedades	Artículos
Huanglongbing (HLB)	(15), (16), (18), (20), (21), (49), (23), (24), (25), (27), (28), (29), (32), (34), (50), (35), (36), (37), (38), (39), (42), (43), (45), (46), (47), (48)
Sarna	(11), (16), (19), (22), (23), (24), (25), (31), (35), (38)
Cancrosis	(15), (11), (17), (20), (21), (49), (22), (23), (24), (25), (6), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (50), (35), (36), (37), (38), (39)
Mancha negra	(15), (11), (16), (17), (19), (20), (49), (22), (23), (24), (25), (6), (15), (29), (30), (31), (33), (34), (35), (36), (37), (38), (39), (40), (41), (51), (43), (44), (52)
Escorbuto	(25)
Enverdecimiento de los cítricos	(11)
Clorosis férrica	(17), (18)
Melanosis	(17), (19), (22), (24), (28), (30), (31), (50), (36), (37)
Phytophthora	(25), (6), (27)
Gomosis	(49)
Antracnosis	(11), (16), (19), (28), (30)

Según los resultados de la tabla 3, la enfermedad más investigada en los cítricos es la mancha negra, con un total de 30 estudios dedicados a entenderla mejor. Esta enfermedad es notoria por causar manchas en los frutos, lo que reduce su valor comercial y afecta la producción de manera considerable. La cancrrosis es otra enfermedad que recibe mucha atención, con 26 estudios centrados en ella. Esta enfermedad causa lesiones en frutos y hojas, teniendo un impacto negativo en la producción y calidad de los cítricos. El Huanglongbing (HLB), mencionado en 25 estudios, es una de las enfermedades más críticas para los cítricos. La alta frecuencia de estudios sobre HLB refleja su importancia y la urgencia por encontrar soluciones efectivas para combatirla. Otros problemas estudiados incluyen la Melanosis, con 10 estudios, y la sarna, con 7 estudios. La Melanosis causa manchas en la cáscara de los frutos, mientras que la sarna afecta principalmente hojas y frutos.

P3: ¿Cuáles son los algoritmos de inteligencia artificial más utilizados para detectar enfermedades en cítricos y precisión de los algoritmos de inteligencia artificial?

Entender qué algoritmos están siendo empleados nos permite evaluar de manera más precisa los resultados de la investigación y su viabilidad práctica en la mejora de la salud de los cítricos. Este enfoque no solo busca optimizar la detección temprana de enfermedades, sino también fortalecer las estrategias de manejo y cuidado de los cultivos, promoviendo así avances significativos en la agricultura y la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola.

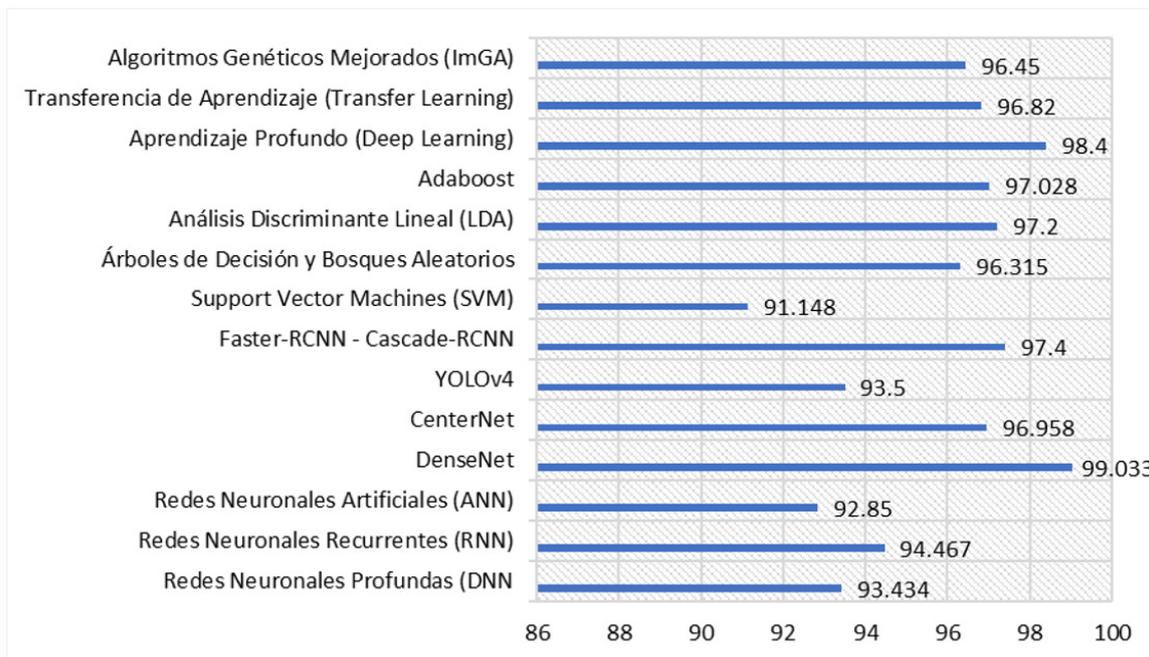


Figura 1. Algoritmos de inteligencia artificial más utilizados para detectar enfermedades en cítricos y precisión de los algoritmos

En la figura 1 se muestra la precisión (%) de varios algoritmos utilizados en estudios de investigación. Destacan las Redes Neuronales Profundas (DNN), con una variabilidad en la precisión desde 89,1 % hasta 99,7 %, como se observa en múltiples estudios.^(10,11,27,24) Las Redes Neuronales Artificiales (ANN) también son notables, alcanzando hasta 94,8 % en estudios específicos.^(6,22,25) Entre los algoritmos clásicos, Adaboost muestra una precisión que varía entre 87,65 % y 94,4 %, con menciones frecuentes en los estudios revisados^(12, 16, 23, 26). El Análisis Discriminante Lineal (LDA) destaca con una precisión máxima de 97,98 %, ^(3,25) mientras que las Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) alcanzan hasta 97,0 % en ciertos estudios.^(18,29)

Los algoritmos de aprendizaje profundo como las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) muestran precisiones notables, como 92,0 % y 93,7 % en estudios específicos,^(14,40) mientras que modelos como VGG19 y ResNet50 alcanzan hasta 94,0 % y 99,7 % respectivamente, según los artículos analizados.^(17, 4, 20, 30) Además, los Algoritmos Genéticos Mejorados (ImGA) presentan precisiones consistentes de 96,5 %, 97,7 %, y 97,5 % en los estudios revisados,^(2,12,21,28,33) destacándose por su eficacia en aplicaciones específicas.

P4: ¿Qué desafíos técnicos y limitaciones enfrenta la implementación de sistemas de inteligencia artificial en la prevención y control de enfermedades en cítricos?

Esta pregunta se centra en calificar la implementación de sistemas de IA para la prevención y control de enfermedades en cítricos. Superar estos desafíos fortalecerá la capacidad de la IA en la protección de cultivos, mejorando así la seguridad alimentaria y sostenibilidad agrícola global.

Tabla 4. Desafíos técnicos y limitaciones en implementación de IA para enfermedades en cítricos	
Desafíos y limitaciones	Artículos
Selección de características redundantes y limitación en la extracción de características	(17), (21), (22), (25), (6), (26), (30), (40), (41)
Disponibilidad limitada y escasez de grandes conjuntos de datos anotados	(19), (49), (22), (24), (25), (6), (27), (28), (30), (32), (33), (37), (38), (42), (52), (48)
Necesidad de datos de alta calidad y falta de calidad en los datos para el entrenamiento	(11), (16), (17), (18), (20), (49), (6), (27), (29), (37), (38), (39), (40), (41)

Mejorar precisión y velocidad de detección, y problemas de rendimiento con las imágenes	(15), (19), (21), (49), (22), (23), (24), (25), (6), (26), (28), (29), (31), (34), (50), (35), (36), (51), (43), (44), (46), (48)
Integrar sistemas de visión artificial en entornos agrícolas dinámicos y falta de interoperabilidad	(15), (17), (18), (20), (49), (23), (26), (28), (29), (45)
Variaciones en las características de la fruta y limitación en la identificación de tipos de plagas	(21), (24), (27), (30), (46)
Escalabilidad, alto tiempo computacional, costos y recursos	(25), (28), (29), (30), (52), (47)
Iluminación y presencia de ruido en imágenes de hojas de cítricos	(11), (16), (18)

De acuerdo a la tabla 4, los estudios identifican varios desafíos técnicos y limitaciones en la implementación de IA para la detección y control de enfermedades en cultivos de cítricos. Entre ellos se encuentra la necesidad de mejorar la selección y extracción de características, evitando redundancias y asegurando la relevancia de las características utilizadas. Esta tarea es crucial para optimizar la precisión de los modelos de IA. La escasez de grandes conjuntos de datos anotados representa otro desafío significativo. La falta de datos adecuadamente etiquetados limita el entrenamiento efectivo de los modelos de IA, lo cual es esencial para lograr resultados precisos y generalizables. Además, la calidad de los datos utilizados para el entrenamiento de los algoritmos es crucial. La falta de datos de alta calidad puede afectar negativamente la efectividad y precisión de los modelos de IA en la detección de enfermedades en cítricos.

La mejora de la precisión y velocidad de detección, así como la gestión de problemas de rendimiento con las imágenes de hojas de cítricos, también son desafíos críticos. Estos aspectos son fundamentales para permitir una detección temprana y precisa de enfermedades, mejorando así la capacidad de respuesta en la agricultura. Integrar sistemas de visión artificial en entornos agrícolas dinámicos plantea desafíos adicionales debido a la falta de interoperabilidad entre diferentes sistemas y dispositivos, lo cual es crucial para la implementación efectiva de soluciones de IA en la agricultura. La variabilidad natural en las características de la fruta y la identificación precisa de diferentes tipos de plagas son también desafíos críticos que deben abordarse para mejorar la efectividad de los sistemas de IA en la detección de enfermedades en cítricos.

Finalmente, los desafíos relacionados con la escalabilidad, el alto tiempo computacional, los costos y recursos necesarios para implementar y mantener sistemas de IA en entornos agrícolas son puntos cruciales que requieren atención para garantizar la viabilidad y sostenibilidad de estas tecnologías. Estos desafíos resaltan la complejidad y la variedad de obstáculos que deben superarse para lograr la implementación efectiva de la IA en la prevención y control de enfermedades en los cultivos de cítricos, destacando la importancia de soluciones innovadoras y adaptativas en este campo.

CONCLUSIONES

La detección anticipada de enfermedades como el Huanglongbing (HLB) y la cancrrosis en cítricos es crucial en la contención de su propagación y en la protección de la industria citrícola a nivel global. La aplicación de IA, especialmente algoritmos como DNN y SVM, ha demostrado ser altamente efectiva en la identificación precisa y rápida de estas enfermedades en frutas como naranjas, limones y mandarinas.

Las investigaciones destacan que las enfermedades más estudiadas incluyen la mancha negra, la cancrrosis y el HLB, reflejando su impacto significativo en la producción y comercialización de cítricos a nivel mundial. Estas enfermedades son objeto de numerosos estudios debido a su capacidad para afectar negativamente los rendimientos y la calidad de los cultivos.

Los algoritmos de IA, como DNN y SVM, han logrado niveles de precisión superiores al 90 % en muchos casos, subrayando su potencial para mejorar las prácticas de manejo fitosanitario y optimizar la producción agrícola. La variabilidad en la precisión de estos algoritmos resalta la importancia de seleccionar el método adecuado según las condiciones específicas de cultivo y las características de las enfermedades.

No obstante, la implementación de sistemas de IA enfrenta desafíos, como la disponibilidad limitada de datos etiquetados de alta calidad y la adaptación de algoritmos a variaciones climáticas y geográficas. Estos obstáculos deben superarse en futuros estudios para maximizar el potencial de la IA en la protección de cultivos y asegurar su aplicabilidad práctica en entornos agrícolas dinámicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zhou Z, Zhang Y, Gu Z, Yang SX. Deep learning approaches for object recognition in plant diseases: a review. *Intell Robot* [Internet]. 2023 Oct 28;3(4):514-37. Available from: <https://www.oaepublish.com/articles/ir.2023.29>

2. Dinesh P, Lakshmanan R. Symptoms Based Image Predictive Analysis for Citrus Orchards Using Machine Learning Techniques: A Review. *Int J Recent Innov Trends Comput Commun* [Internet]. 2023 Sep 20;11(8):53-71. Available from: <https://ijritcc.org/index.php/ijritcc/article/view/7924>

3. Sun L, Nasrullah, Ke F, Nie Z, Wang P, Xu J. Citrus Genetic Engineering for Disease Resistance: Past, Present and Future. *Int J Mol Sci* [Internet]. 2019 Oct 23;20(21):5256. Available from: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/21/5256>
4. Peng K, Ma W, Lu J, Tian Z, Yang Z. Application of Machine Vision Technology in Citrus Production. *Appl Sci* [Internet]. 2023 Aug 17;13(16):9334. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/16/9334>
5. Terentev A, Dolzhenko V, Fedotov A, Eremenko D. Current State of Hyperspectral Remote Sensing for Early Plant Disease Detection: A Review. *Sensors* [Internet]. 2022 Jan 19;22(3):757. Available from: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/757>
6. Mohammed EA, Mohammed GH. Citrus leaves disease diagnosis. *Indones J Electr Eng Comput Sci* [Internet]. 2023 Aug 1;31(2):925. Available from: <https://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJEECS/article/view/30613>
7. Ghanei Ghooshkhaneh N, Mollazade K. Optical Techniques for Fungal Disease Detection in Citrus Fruit: A Review. *Food Bioprocess Technol* [Internet]. 2023 Aug 18;16(8):1668-89. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s11947-023-03005-4>
8. Luaibi AR, Salman TM, Miry AH. Detection of citrus leaf diseases using a deep learning technique. *Int J Electr Comput Eng* [Internet]. 2021 Apr 1;11(2):1719. Available from: <http://ijece.iaescore.com/index.php/IJECE/article/view/23056>
9. Adhiwibawa MAS, Nugroho WH, Solimun. Detection of Anomalies in Citrus Leaves Using Digital Image Processing and T 2 Hotelling Multivariate Control Chart. In: 2019 International Conference of Artificial Intelligence and Information Technology (ICAIT) [Internet]. IEEE; 2019. p. 310-4. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8834453/>
10. Dhiman P, Kaur A, Hamid Y, Alabdulkreem E, Elmannai H, Ababneh N. Smart Disease Detection System for Citrus Fruits Using Deep Learning with Edge Computing. *Sustainability* [Internet]. 2023 Mar 3;15(5):4576. Available from: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/5/4576>
11. Karthik R, Hussain S, George TT, Mishra R. A dual track deep fusion network for citrus disease classification using group shuffle depthwise feature pyramid and Swin transformer. *Ecol Inform* [Internet]. 2023 Dec;78:102302. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S157495412300331X>
12. Tang Y, Yang J, Zhuang J, Hou C, Miao A, Ren J, et al. Early detection of citrus anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides* using hyperspectral imaging. *Comput Electron Agric* [Internet]. 2023 Nov;214:108348. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169923007366>
13. M.R. Tamjis SA. Leaf Disease Detection by Using Convolutional Pretrained Model. *Int J Commun Networks Inf Secur* [Internet]. 2022 Dec 31;14(1s):114-20. Available from: <https://www.ijcnis.org/index.php/ijcnis/article/view/5619>
14. Kitchenham B, Charters S. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. *Keele Univ y Univ Durham* [Internet]. 2007; Available from: https://legacyfileshare.elsevier.com/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf
15. Osco LP, Arruda M dos S de, Marcato Junior J, da Silva NB, Ramos APM, Moryia ÉAS, et al. A convolutional neural network approach for counting and geolocating citrus-trees in UAV multispectral imagery. *ISPRS J Photogramm Remote Sens* [Internet]. 2020 Feb;160:97-106. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271619302989>
16. Dhiman P, Kukreja V, Manoharan P, Kaur A, Kamruzzaman MM, Dhaou I Ben, et al. A Novel Deep Learning Model for Detection of Severity Level of the Disease in Citrus Fruits. *Electronics* [Internet]. 2022 Feb 8;11(3):495. Available from: <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/3/495>
17. Hassam M, Khan MA, Armghan A, Althubiti SA, Alhaisoni M, Alqahtani A, et al. A Single Stream Modified MobileNet V2 and Whale Controlled Entropy Based Optimization Framework for Citrus Fruit Diseases Recognition. *IEEE Access* [Internet]. 2022;10:91828-39. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9866065/>
18. Barbedo JGA, Castro GB. A Study on CNN-Based Detection of Psyllids in Sticky Traps Using Multiple Image Data Sources. *AI* [Internet]. 2020 May 18;1(2):198-208. Available from: <https://www.mdpi.com/2673-2688/1/2/13>
19. Dananjayan S, Tang Y, Zhuang J, Hou C, Luo S. Assessment of state-of-the-art deep learning based citrus disease

detection techniques using annotated optical leaf images. *Comput Electron Agric* [Internet]. 2022 Feb;193:106658. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016816992100675X>

20. Partel V, Nunes L, Stansly P, Ampatzidis Y. Automated vision-based system for monitoring Asian citrus psyllid in orchards utilizing artificial intelligence. *Comput Electron Agric* [Internet]. 2019 Jul;162:328-36. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016816991930554X>

21. Lee S, Choi G, Park HC, Choi C. Automatic Classification Service System for Citrus Pest Recognition Based on Deep Learning. *Sensors* [Internet]. 2022 Nov 18;22(22):8911. Available from: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/22/8911>

22. Khattak A, Asghar MU, Batool U, Asghar MZ, Ullah H, Al-Rakhami M, et al. Automatic Detection of Citrus Fruit and Leaves Diseases Using Deep Neural Network Model. *IEEE Access* [Internet]. 2021;9:112942-54. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9481921/>

23. Syed-Ab-Rahman SF, Hesamian MH, Prasad M. Citrus disease detection and classification using end-to-end anchor-based deep learning model. *Appl Intell* [Internet]. 2022 Jan 13;52(1):927-38. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s10489-021-02452-w>

24. Yasmeen U, Attique Khan M, Tariq U, Ali Khan J, Asfand E. Yar M, Avais Hanif C, et al. Citrus Diseases Recognition Using Deep Improved Genetic Algorithm. *Comput Mater Contin* [Internet]. 2022;71(2):3667-84. Available from: <https://www.techscience.com/cmc/v71n2/45812>

25. Dhiman P, Kaur A, Kukreja V. Citrus Fruit Disease Detection Techniques: A Survey and Comparative Analysis of Relevant Approaches. *Int J Comput Digit Syst* [Internet]. 2023 Oct 1;14(1):10127-48. Available from: <https://journal.uob.edu.bh/handle/123456789/5167>

26. Khanramaki M, Askari Asli-Ardeh E, Kozegar E. Citrus pests classification using an ensemble of deep learning models. *Comput Electron Agric* [Internet]. 2021 Jul;186:106192. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016816992100209X>

27. Zhang M, Liu S, Yang F, Liu J. Classification of Canker on Small Datasets Using Improved Deep Convolutional Generative Adversarial Networks. *IEEE Access* [Internet]. 2019;7:49680-90. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8648422/>

28. Elaraby A, Hamdy W, Alanazi S. Classification of Citrus Diseases Using Optimization Deep Learning Approach. Koundal D, editor. *Comput Intell Neurosci* [Internet]. 2022 Feb 10;2022:1-10. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/cin/2022/9153207/>

29. Dou S, Wang L, Fan D, Miao L, Yan J, He H. Classification of Citrus Huanglongbing Degree Based on CBAM-MobileNetV2 and Transfer Learning. *Sensors* [Internet]. 2023 Jun 14;23(12):5587. Available from: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/12/5587>

30. Zia Ur Rehman M, Ahmed F, Attique Khan M, Tariq U, Shaukat Jamal S, Ahmad J, et al. Classification of Citrus Plant Diseases Using Deep Transfer Learning. *Comput Mater Contin* [Internet]. 2022;70(1):1401-17. Available from: <https://www.techscience.com/cmc/v70n1/44377>

31. He C, Li X, Liu Y, Yang B, Wu Z, Tan S, et al. Combining multicolor fluorescence imaging with multispectral reflectance imaging for rapid citrus Huanglongbing detection based on lightweight convolutional neural network using a handheld device. *Comput Electron Agric* [Internet]. 2022 Mar;194:106808. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169922001259>

32. Barman U, Choudhury RD, Sahu D, Barman GG. Comparison of convolution neural networks for smartphone image based real time classification of citrus leaf disease. *Comput Electron Agric* [Internet]. 2020 Oct;177:105661. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169920302258>

33. Sánchez-DelaCruz E, Salazar López JP, Lara Alabazares D, Tello Leal E, Fuentes-Ramos M. Deep learning framework for leaf damage identification. *Concurr Eng* [Internet]. 2021 Mar 23;29(1):25-34. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1063293X21994953>

34. Janarthan S, Thuseethan S, Rajasegarar S, Lyu Q, Zheng Y, Yearwood J. Deep Metric Learning Based Citrus Disease Classification With Sparse Data. *IEEE Access* [Internet]. 2020;8:162588-600. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9186111/>
35. Sujatha R, Chatterjee JM, Jhanjhi N, Brohi SN. Performance of deep learning vs machine learning in plant leaf disease detection. *Microprocess Microsyst* [Internet]. 2021 Feb;80:103615. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141933120307626>
36. Firdaus MH, Utami E, Ariatmanto D. Detection And Classification of Citrus Diseases Based on A Combination of Features Using the Densenet-169 Model. *sinkron* [Internet]. 2023 Oct 1;8(4):2592-601. Available from: <https://jurnal.polgan.ac.id/index.php/sinkron/article/view/12974>
37. Chavarro-Mesa E, Delahoz-Dominguez E, Fennix-Agudelo M, Miranda-Castro W, Angel-Diaz JE. Preliminary machine learning model for citrus greening disease (Huanglongbing-HLB) prediction in Colombia. In: 2020 IEEE Colombian Conference on Applications of Computational Intelligence (IEEE ColCACI 2020) [Internet]. IEEE; 2020. p. 1-4. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9247900/>
38. Chen Q, Liu X, Dong C, Tong T, Yang C, Chen R, et al. Deep Convolutional Network for Citrus Leaf Diseases Recognition. In: 2019 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking (ISPA/BDCloud/SocialCom/SustainCom) [Internet]. IEEE; 2019. p. 1490-4. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9047360/>
39. Dang-Ngoc H, Cao TNM, Dang-Nguyen C. Citrus Leaf Disease Detection and Classification Using Hierarchical Support Vector Machine. In: 2021 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEE) [Internet]. IEEE; 2021. p. 69-74. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9418680/>
40. Doh B, Zhang D, Shen Y, Hussain F, Doh RF, Ayepah K. Automatic Citrus Fruit Disease Detection by Phenotyping Using Machine Learning. In: 2019 25th International Conference on Automation and Computing (ICAC) [Internet]. IEEE; 2019. p. 1-5. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8895102/>
41. Dongmei Z, Ke W, Hongbo G, Peng W, Chao W, Shaofeng P. Classification and identification of citrus pests based on InceptionV3 convolutional neural network and migration learning. In: 2020 International Conference on Internet of Things and Intelligent Applications (ITIA) [Internet]. IEEE; 2020. p. 1-7. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9312359/>
42. Kaur B, Sharma T, Goyal B, Dogra A. A Genetic Algorithm based Feature Optimization method for Citrus HLB Disease Detection using Machine Learning. In: 2020 Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT) [Internet]. IEEE; 2020. p. 1052-7. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9214107/>
43. Senthilkumar C, Kamarasan M. Optimal Segmentation with Back-Propagation Neural Network (BPNN) Based Citrus Leaf Disease Diagnosis. In: 2019 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT) [Internet]. IEEE; 2019. p. 78-82. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8987749/>
44. Senthilkumar C, Kamarasan M. An Optimal Weighted Segmentation with Hough Transform based Feature Extraction and Classification Model for Citrus Disease. In: 2020 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT) [Internet]. IEEE; 2020. p. 215-20. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9112530/>
45. Song C, Wang C, Yang Y. Automatic Detection and Image Recognition of Precision Agriculture for Citrus Diseases. In: 2020 IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE) [Internet]. IEEE; 2020. p. 187-90. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9301932/>
46. Wen C, Zhang H, Li H, Li H, Chen J, Guo H, et al. Multi-scene citrus detection based on multi-task deep learning network. In: 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) [Internet]. IEEE; 2020. p. 912-9. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9282909/>
47. Yi B, Kong B, Xu C. Multi-stage Citrus Detection based on Improved Yolov4. In: 2022 The 5th International Conference on Control and Computer Vision [Internet]. New York, NY, USA: ACM; 2022. p. 56-62. Available from: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3561613.3561623>

48. Bu Y, Gan H, Gan Y. Current Status and Perspectives of the Artificial Intelligence-Based Identification of Citrus Huanglongbing. In: Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Robotics, Intelligent Control and Artificial Intelligence [Internet]. New York, NY, USA: ACM; 2020. p. 175-80. Available from: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3438872.3439077>

49. Saini AK, Bhatnagar R, Srivastava DK. Automatic Detection and Recognition of Citrus Fruit & Leaves Diseases for Precision Agriculture. JUCS - J Univers Comput Sci [Internet]. 2022 Sep 28;28(9):930-48. Available from: <https://lib.jucs.org/article/94133/>

50. Faisal S, Javed K, Ali S, Alasiry A, Marzougui M, Attique Khan M, et al. Deep Transfer Learning Based Detection and Classification of Citrus Plant Diseases. Comput Mater Contin [Internet]. 2023;76(1):895-914. Available from: <https://www.techscience.com/cmcc/v76n1/53107>

51. Kukreja V, Dhiman P. A Deep Neural Network based disease detection scheme for Citrus fruits. In: 2020 International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC) [Internet]. IEEE; 2020. p. 97-101. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9215359/>

52. Sharma R, Kaur S. Convolution Neural Network based Several Orange Leave Disease Detection and Identification Methods: A Review. In: 2019 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT) [Internet]. IEEE; 2019. p. 196-201. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8987744/>

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Sergio Sánchez-Isuiza y Richard Injante.

Análisis formal: Richard Injante.

Investigación: Sergio Sánchez-Isuiza y Richard Injante.

Metodología: Sergio Sánchez-Isuiza y Richard Injante.

Supervisión: Richard Injante.

Validación: Richard Injante.

Visualización: Sergio Sánchez-Isuiza.

Redacción - borrador original: Sergio Sánchez-Isuiza y Richard Injante.

Redacción - revisión y edición: Sergio Sánchez-Isuiza y Richard Injante.