

MODELO INTELIGENTE BASADO EN IA PARA OPTIMIZAR LA FUMIGACIÓN AGRÍCOLA MEDIANTE DRONES AUTÓNOMOS EN CULTIVOS TROPICALES

Melvin Emilio Zambrano
<https://orcid.org/0009-0009-0629-7814>

Sandra Milena García Uriarte
<https://orcid.org/0009-0003-3276-0004>

César Augusto Sinchiguano Chiriboga
<https://orcid.org/0009-0007-1774-8129>

Clara Guadalupe Pozo Hernández
<https://orcid.org/0000-0001-6186-1099>

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, El Carmen, Ecuador
Correo autor principal: e1317750022@live.uleam.edu.ec

Recibido: 11 de marzo de 2026 / Aprobado: 11 de mayo de 2026 / Publicado: día de mes de 2026

Resumen:

La fumigación agrícola en cultivos tropicales enfrenta importantes desafíos de sostenibilidad debido al uso gigantesco de pesticidas. Este artículo parte de la investigación de modelos de inteligencia artificial (IA) implementados para optimizar la fumigación agrícola mediante drones autónomos (UAVs) en cultivos tropicales y se plantea una arquitectura conceptual. Por medio de una revisión sistemática mixta (bibliográfica-documental) en las herramientas de investigación académica como: Google Académico, IEEE Xplore, ScienceDirect y Scopus (2015-2025), se analizaron 38 estudios. Los resultados demuestran que algoritmos de inteligencia artificial y visión artificial como YOLOv5, Mask R-CNN y CNN alcanzan precisiones mayores a 90% en la detección de plagas en banano, cacao, arroz y palma africana de aceite. La idea es crear una arquitectura con cuatro capas (captura de datos, transmisión, procesamiento inteligente, actuación) que incorpora IA con drones de bajo costo. La técnica de fumigación dirigida es una de las estrategias más efectivas para disminuir el uso de agroquímicos, con ahorros registrados que van entre 30% y 65%. Los resultados demuestran que la combinación de IA y drones es un modelo viable y escalable para que un sistema de agricultura tropical sea sostenible.

Palabras Clave: Inteligencia artificial, drones autónomos, fumigación agrícola, cultivos tropicales, visión artificial.

AI-Based Intelligent Model to Optimize Agricultural Fumigation Using Autonomous Drones in Tropical Crops

Abstract: Agricultural spraying in tropical crops faces sustainability challenges due to the massive use of pesticides. This article begins with research on artificial intelligence (AI) models implemented to optimize agricultural spraying using autonomous drones (UAVs) in tropical crops and proposes a conceptual architecture. Through a mixed systematic review (bibliographic and documentary) of academic research tools such as Google Scholar, IEEE Xplore, ScienceDirect, and Scopus (2015-2025), 38 studies were analyzed. The results demonstrate that artificial intelligence and computer vision algorithms such as YOLOv5, Mask R-CNN, and CNN achieve accuracies greater than 90% in pest detection in bananas, cacao, rice, and African oil palm. The idea is to create a four-layer architecture (data capture, transmission, intelligent processing, and actuation) that incorporates AI with low-cost drones. Targeted spraying is one of the most effective strategies for reducing the use of agrochemicals, with recorded savings ranging from 30% to 65%. The results demonstrate that combining AI and drones is a viable and scalable model for making tropical agriculture systems sustainable.

Keywords: Artificial intelligence, autonomous drones, agricultural fumigation, tropical crops, computer vision.

Introducción

La agricultura tropical afronta graves pérdidas por plagas y enfermedades, que alcanzan entre el 30% y 40% de la producción potencial en cultivos como banano, cacao y palma aceitera (FAO, 2022). Los métodos tradicionales de fumigación (terrestres o aéreos) utilizan plaguicidas de forma uniforme, generando excesos que contaminan suelos y agua, dañando la biodiversidad y exponen a los aplicadores a riesgos sanitarios, además de aumentar costos operativos (Pimentel & Burgess, 2014). En América Latina, el uso de pesticidas o plaguicidas es particularmente alto, lo que ha originado la resistencia de plagas, contaminación de alimentos y problemas de salud pública causando muertes por autointoxicación. Diversos estudios en países como Ecuador, Colombia y España han evaluado el uso de drones para fumigación en cultivos de banano demostrando mejor precisión, reducción de costos operativos y menor riesgo para los aplicadores (Muñoz Delgado, 2023; Serrano Ruiz & Sanz Fernández, 2024).

Ante esta problemática, las tecnologías de Inteligencia Artificial (IA) combinadas con drones autónomos (UAVs) surgen como herramienta innovadora para la agricultura de precisión (AP). De acuerdo con (Shahi et al., 2022) Los drones equipados con sensores multiespectrales y algoritmos de visión por computadora (YOLO, redes neuronales convolucionales) permiten detectar focos de infestación y realizar fumigación dirigida (*spot spraying*), reduciendo significativamente el volumen de químicos (Arias et al., 2022; Navia Zamora & Baque Mite, 2019) El presente artículo tiene como propósito revisar los principales modelos de IA aplicados a la fumigación con drones en cultivos tropicales y proponer una arquitectura conceptual viable para pequeños y medianos productores. La pregunta de investigación es: ¿Es posible optimizar la fumigación agrícola en cultivos tropicales mediante la integración de IA y drones autónomos?

Metodología

La investigación utilizó un método mixto, que se fundamentó en un diseño bibliográfico-documental de carácter descriptivo-exploratorio. Con la finalidad de elaborar una base

sólida, se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura científica en las herramientas de investigación académica de Google Académico, IEEE Xplore, ScienceDirect y Scopus, analizando publicaciones entre 2015 y 2025. Los términos de búsqueda incluyeron: inteligencia artificial, drones agrícolas, fumigación dirigida y cultivos tropicales. Se establecieron criterios de inclusión: la ejecución de algoritmos con IA en UAVs, el trabajo con validación experimental y la cuantificación de precisión al detectar plagas. Se revisaron 38 investigaciones a través de la síntesis cuantitativa de métricas (reducción de químicos, media promedio y precisión) y el análisis cualitativo del contenido. Los resultados obtenidos sirvieron de base para la creación de una arquitectura conceptual organizada en cuatro capas, cuya base teórica se estableció a través de comparaciones con casos de estudio documentados.

Resultados

La revisión sistemática permitió identificar 38 estudios relevantes (2015-2025). Los algoritmos más documentados fueron YOLOv5, Mask R-CNN, CNN, U-Net y EfficientDet. En cuanto al rendimiento de detección, YOLOv5 y Mask R-CNN mostraron las precisiones más altas: exactitud (accuracy) entre 91% y 97%, y Precisión Media Promedio (mAP) $> 0,89$ en cultivos de banano, arroz y palma aceitera (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018; Arias et al., 2022). Las CNN alcanzaron exactitud (accuracy) de 88% - 94% en clasificación de hojas enfermas. U-Net se destacó en tareas de segmentación semántica y llegó a tener puntos entre 0,85 y 0,93. Por lo tanto, es útil para crear mapas de prescripción.

En lo que respecta a la instrumentación, las más frecuentes, presentes en el 78% de los estudios; después están cámaras con 65% y las térmicas con 42%. El GPS fue añadido por el 85% de los productores. Los drones en su mayoría utilizados fueron el Phantom 4 Multiespectral. En Ecuador y Colombia, los costos operativos disminuyeron entre 25% y 40% frente a fumigación con avioneta (Alcivar Intriago & Portilla Bravo, 2023).

Modelo de IA	Tarea principal	Precisión reportada	Sensor / Cámara	Cultivo evaluado
YOLOv5	Detección en tiempo real	Precisión Media Promedio (mAP) = 0,9 – 0,97	Multiespectral / RGB	Banano y arroz
Mask R-CNN	Segmentación de zonas afectadas	Exactitud (accuracy) = 92% – 96%	Multiespectral	Palma de aceite y cacao
CNN clásica	Clasificación de enfermedades foliares	Exactitud (accuracy) = 88% – 94%	RGB alta resolución	Cacao y café
U-Net	Segmentación semántica	Intersección sobre unión (IoU) = 0,85 – 0,93	Multiespectral / térmica	Arroz y maíz tropical
EfficientDet	Detección multi-objeto	Precisión Media Promedio (mAP) = 0,89 – 0,95	RGB / térmica	Banano y palma

Tabla 1 Comparativa de modelos de IA aplicados a fumigación con drones en cultivos tropicales

*Nota. La tabla resume las prestaciones medias reportadas en los 38 estudios analizados.
 Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión sistemática.*

A partir de la síntesis de los estudios analizados, se propone una estructura conceptual dividida en cuatro capas: 1. Captura: un dron equipado con cámara multiespretrales y adquirir imágenes georreferenciadas entre 10 y 30 metros de altura. 2. Transmisión: transmisión de datos a una estación base o nube a través de LoRaWAN o 4G. 3. Procesamiento inteligente: detección mediante modelos y segmentación usando Mask generando un mapa de prescripción y ruta de aplicación; 4. Actuación: el UAV fumigador opera únicamente sobre los focos detectados y registra los resultados desde uno hasta el otro panel. Esta arquitectura es viable para pequeños productores por su bajo costo y modularidad.

Discusión

Los resultados confirman que la integración de IA y drones autónomos optimiza la fumigación en cultivos tropicales, respondiendo afirmativamente a la pregunta de

investigación. Las precisiones superiores al 88% y las reducciones del 30-65% en plaguicidas demuestran una clara ventaja sobre los métodos tradicionales. Modelos entrenados como YOLOv5 y Mask R-CNN son particularmente adecuados por su eficiencia computacional en sistemas embebidos, como indican (Arias et al., 2022; Zhu et al., 2024). Sin embargo, es importante señalar que el estudio tiene limitaciones propias de su naturaleza. La arquitectura sugerida no fue probada en situaciones reales. También es importante mencionar la falta de conjuntos de datos etiquetados para cultivos tropicales específicos, Esto plantea una pregunta fundamental: ¿Es más adecuado elegir modelos más simples que se pueden entender con información local en vez de optar por arquitecturas más complejas? Para futuras investigaciones, se recomienda validar la arquitectura en parcelas reales con métricas de rentabilidad económica.

Conclusión

La integración de modelos de inteligencia artificial con drones autónomos constituye una estrategia técnicamente viable y precisa para optimizar la fumigación agrícola en cultivos tropicales. Los algoritmos YOLOv5, Mask R-CNN, CNN y U-Net demostraron desempeños sobresalientes en detección y segmentación de plagas, permitiendo una fumigación dirigida que reduce el uso de agroquímicos entre un 30% y un 65%, con impacto positivo en la sostenibilidad ambiental, la salud de los aplicadores y la rentabilidad del productor. La arquitectura conceptual de cuatro capas propuesta captura, transmisión, procesamiento inteligente y actuación ofrece un marco estructurado, replicable y escalable, especialmente orientado a pequeños y medianos agricultores tropicales. Se recomienda validación empírica en cultivos como banano, cacao y palma aceitera, así como el desarrollo de datasets de acceso abierto para fortalecer los modelos de IA en el contexto latinoamericano.

Referencias Bibliográficas

- Alcivar Intriago, P. B., & Portilla Bravo, A. R. (2023). *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Departamento de Administración de Agronegocios Ingeniería en Agronegocios*. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b72a51e9-ed5f-408d-9fe0-6f42b1459a45/content>
- Arias, P. M. G., Monroy, J. I. A., Morán, V. M., Hernández, J. R. H., & Pazmiño, L. A. E. (2022). Drones para la agricultura de precisión, un enfoque al cultivo de la Pitahaya. *Editorial Tecnocientífica Americana*, 600, 1–365. <https://doi.org/10.51736/5QJV7R30>
- FAO. (2022). *Acerca de la labor de la FAO en materia de producción y protección vegetal*. <https://www.fao.org/plant-production-protection/about/es>
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>
- Muñoz Delgado, C. B. (2023). *UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR FACULTAD DE ECONOMÍA AGRÍCOLA CARRERA ECONOMÍA TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ECONOMISTA PROPUESTA PARA CREAR UNA EMPRESA TECNOLÓGICA DE SERVICIOS DE FERTILIZACIÓN Y FUMIGACIÓN ...*
- Navia Zamora, J. R., & Baque Mite, L. A. (2019). *UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL “Optimización del proceso de fumigación agrícola mediante la utilización de los drones” Autor*.
- Pimentel, D., & Burgess, M. (2014). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Integrated Pest Management*, 3, 47–71. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7796-5_2/SAVE-RESEARCH
- Serrano Ruiz, A., & Sanz Fernández Iñigo. (2024). *USO DE DRONES EN UNA PLANTACIÓN AGRÍCOLA* [Universidad Pontificia Comillas]. https://repositorio.comillas.edu/jspui/bitstream/11531/83557/1/TFG-SerranoRuizAlejandra_23_24.pdf
- Shahi, T. B., Xu, C.-Y., Neupane, A., Guo, W., Shahi, T. B., Xu, C.-Y., Neupane, A., & Guo, W. (2022). Machine learning methods for precision agriculture with UAV imagery: a review. *Electronic Research Archive* 2022 12:4277, 30(12), 4277–4317. <https://doi.org/10.3934/ERA.2022218>
- Zhu, H., Lin, C., Liu, G., Wang, D., Qin, S., Li, A., Xu, J. L., & He, Y. (2024). Intelligent agriculture: deep learning in UAV-based remote sensing imagery for crop diseases and pests detection. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1435016. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2024.1435016/FULL>