

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Use of drones in precision agriculture

William David Otálora Moreno

Director: Diego Alejandro Vela Beltrán

RESUMEN

Este artículo representa un estudio exhaustivo y profundo sobre el creciente campo de la agricultura de precisión, con un enfoque específico en el uso de drones. La agricultura de precisión se ha convertido en un área de investigación cada vez más importante debido a la necesidad de optimizar la producción agrícola, enfrentar desafíos ambientales y garantizar la seguridad alimentaria global. En este contexto, los drones han emergido como una herramienta prometedora para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de las prácticas agrícolas.

La investigación se basa en una revisión exhaustiva de la literatura académica más reciente, que abarca una amplia gama de publicaciones científicas y técnicas relacionadas con el uso de drones en la agricultura. Esta revisión tiene como objetivo identificar y analizar los avances tecnológicos más significativos, las aplicaciones prácticas más innovadoras y los desafíos clave que enfrenta este campo en constante evolución. Se adopta una metodología rigurosa que incluye dos etapas fundamentales: la selección de los primeros 50 artículos relevantes mediante una búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas, seguida de una selección más específica de los 20 artículos más destacados, utilizando criterios adicionales como la originalidad,

relevancia y contribución a la investigación en el campo.

Además de la selección de artículos, el análisis abarca una discusión detallada sobre las conclusiones derivadas del estudio. Se identifican y examinan los principales hallazgos y tendencias emergentes en el uso de drones en la agricultura de precisión, destacando áreas de investigación prometedoras y desafíos futuros. Se exploran temas clave como la integración de sistemas de drones con sensores avanzados, el desarrollo de algoritmos de procesamiento de datos para la interpretación de imágenes aéreas, y la importancia de la colaboración multidisciplinaria entre expertos en agricultura, ingeniería y ciencias de la computación.

Dirigiéndose al lector interesado en el tema, este artículo proporciona una visión integral y actualizada sobre el estado actual y futuro de los drones en la agricultura de precisión. Desde agricultores y técnicos agrícolas hasta investigadores y profesionales del sector, este análisis ofrece una valiosa fuente de información para comprender el potencial transformador de los drones en la agricultura y las oportunidades para mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la rentabilidad de las prácticas agrícola.

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

ABSTRACT

This article represents a comprehensive and in-depth study of the burgeoning field of precision agriculture, with a specific focus on the use of drones. Precision agriculture has become an increasingly important area of research due to the need to optimize agricultural production, address environmental challenges, and ensure global food security. In this context, drones have emerged as a promising tool to enhance the efficiency and sustainability of agricultural practices.

The research is based on an exhaustive review of the latest academic literature, encompassing a wide range of scientific and technical publications related to the use of drones in agriculture. This review aims to identify and analyze the most significant technological advances, innovative practical applications, and key challenges facing this rapidly evolving field. A rigorous methodology is adopted, which includes two fundamental stages: the selection of the first 50 relevant articles through a comprehensive search in academic databases, followed by a more specific selection of the top 20 articles, using additional criteria such as originality, relevance, and contribution to research in the field.

In addition to the selection of articles, the analysis covers a detailed discussion of the conclusions derived from the study. The main findings and emerging trends in the use of drones in precision agriculture are identified and examined, highlighting promising research areas and future challenges. Key topics explored include

the integration of drone systems with advanced sensors, the development of data processing algorithms for aerial image interpretation, and the importance of multidisciplinary collaboration among experts in agriculture, engineering, and computer science.

Addressing the reader interested in the subject, this article provides a comprehensive and up-to-date overview of the current and future state of drones in precision agriculture. From farmers and agricultural technicians to researchers and industry professionals, this analysis offers a valuable source of information to understand the transformative potential of drones in agriculture and the opportunities to improve the efficiency, sustainability, and profitability of agricultural practices.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura, desde su surgimiento como actividad humana, ha sido un pilar esencial para garantizar la seguridad alimentaria y el desarrollo económico. Sin embargo, el crecimiento poblacional y los desafíos ambientales han impulsado la necesidad de optimizar los procesos agrícolas. En este contexto, la agricultura de precisión se presenta como una oportunidad para afrontar los retos en los que, actualmente, se ve inmerso el sector, como lo son el aumento de la productividad, la competitividad en costos, el control de calidad de la producción, entre otros [1]. La agricultura de precisión se centra en la aplicación de técnicas y tecnologías para monitorear, analizar y responder a las variabilidades intra e inter parcelarias, permitiendo una gestión más precisa y eficiente de los cultivos.

Los vehículos no tripulados o simplemente drones pueden ser aéreos, terrestres o acuáticos. En cualquiera de los casos, estos equipos se encuentran en constante evolución y su aplicación se ha extendido a los diferentes campos del conocimiento humano, en las ciencias e ingenierías, especialmente, el tema que se aborda en este caso [2]. En la agricultura, los drones ofrecen una perspectiva aérea única que permite la captura de datos detallados sobre los cultivos y el terreno de manera rápida y eficiente. Equipados con cámaras y sensores especializados, los drones pueden recopilar información crucial sobre la salud de las plantas, la humedad del suelo, la salud de los cultivos y otros parámetros agronómicos clave.

La combinación de drones y la agricultura de precisión ha abierto nuevas oportunidades para mejorar la gestión agrícola y aumentar la productividad de manera sostenible. Desde la detección temprana de enfermedades y plagas hasta la optimización de la aplicación de insumos agrícolas, los drones en la agricultura de precisión ofrecen una amplia gama de aplicaciones que pueden ayudar a los agricultores a tomar decisiones más informadas y basadas en datos.

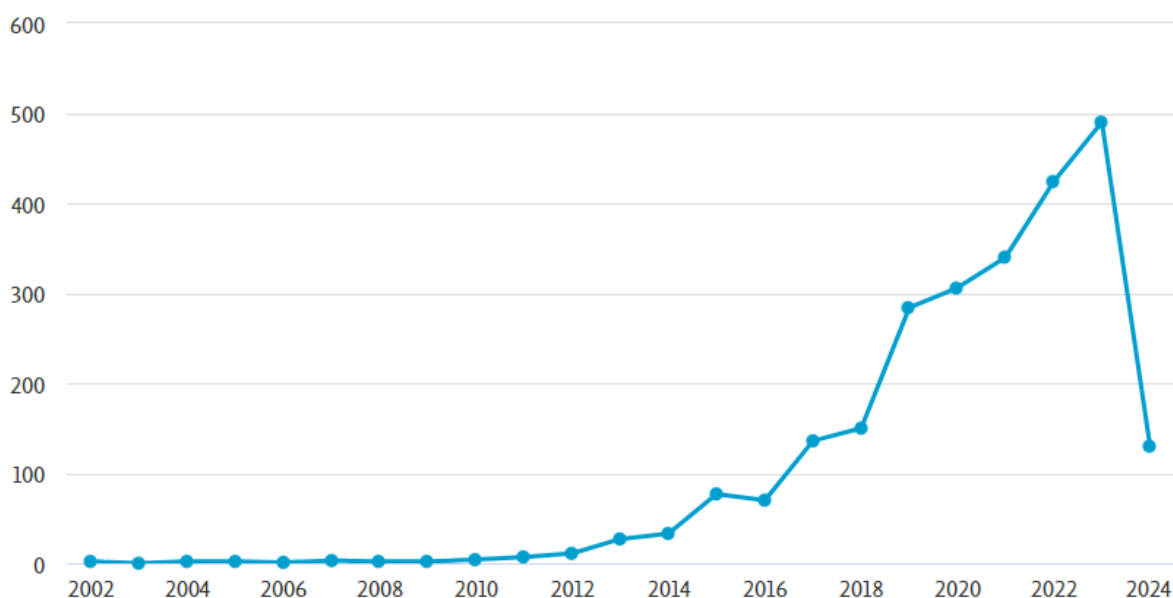
El objetivo de este artículo es explorar el papel cada vez más relevante de los drones en la agricultura de precisión. Se propone examinar los avances más recientes, las técnicas innovadoras y las aplicaciones emergentes de esta tecnología en constante evolución. Al hacerlo, se busca no solo proporcionar una visión integral de las capacidades, los desafíos y las oportunidades que ofrecen los drones para la agricultura moderna, sino también inspirar futuras investigaciones y colaboraciones en este campo.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva en la base de datos de Scopus utilizando la cadena de búsqueda "unmanned aerial vehicles" OR "drones" AND "precision" AND "agriculture", lo que arrojó un conjunto de 2,503 documentos. Este conjunto de datos proporciona una base sólida para explorar y analizar el uso de drones en el contexto de la agricultura de precisión.

En la Figura 1 se muestra un aumento notable en la publicación de documentos desde 2012, lo que sugiere un creciente interés y actividad en el campo del uso de drones en la agricultura de precisión. Este incremento podría reflejar tanto avances tecnológicos en la disponibilidad y capacidad de los drones, como un reconocimiento cada vez mayor de su potencial en la optimización de prácticas agrícolas.

Figura 1. Documentos por año



Fuente: Autores

En la Figura 2 muestra un aumento significativo en la cantidad de documentos en función del número de citas recibidas, especialmente desde 2017. Este aumento indica que la investigación sobre el uso de drones en la agricultura de precisión es cada vez más importante. La cantidad de documentos citados indica un mayor interés de la comunidad científica y una mayor aceptación y reconocimiento de este campo de estudio. Los avances significativos en la tecnología de drones, así como una mayor comprensión de su potencial para abordar desafíos importantes en la agricultura, como la optimización de recursos, el monitoreo de cultivos y la toma

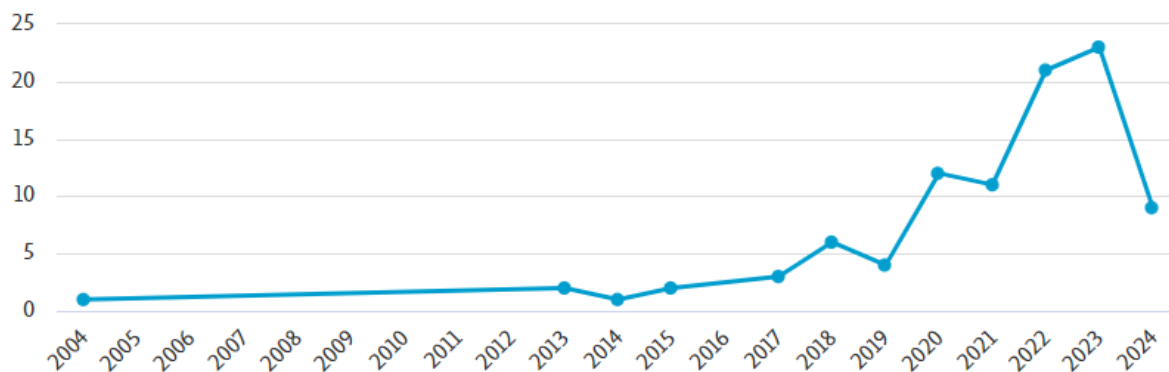
USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

de decisiones agronómicas, pueden impulsar este fenómeno. El aumento en la cantidad de citas refleja un mayor impacto y una mayor atención hacia la investigación en este campo, lo que probablemente continuará impulsando el progreso y la innovación en el futuro.

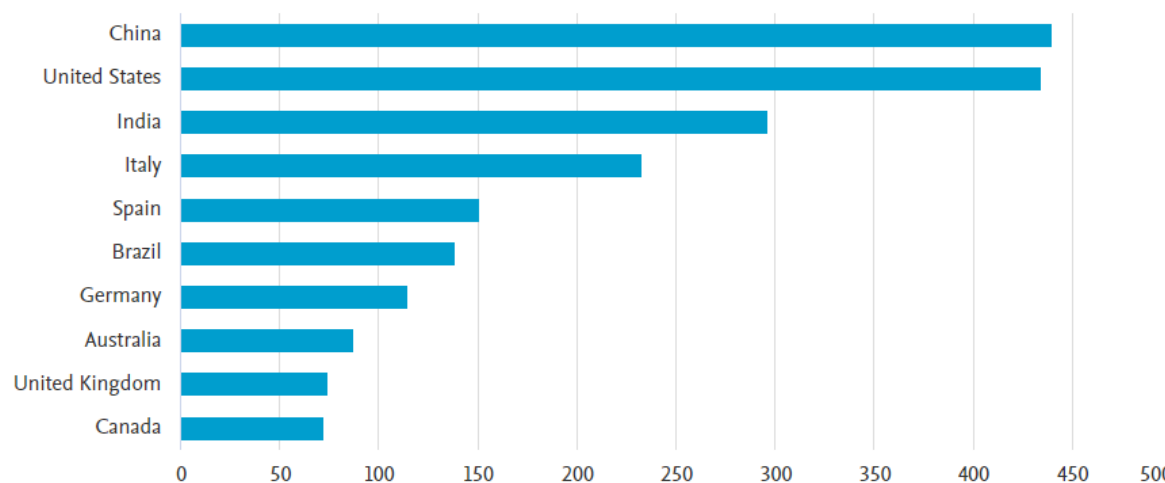
Figura 2. Cantidad de citas



Fuente: Autores

En la Figura 3 muestra los países con mayor número de documentos publicados sobre el tema, destacando a China y Estados Unidos como los principales impulsores de la investigación en el ámbito del uso de drones en la agricultura de precisión. Esta observación sugiere un fuerte compromiso por parte de ambos países en la exploración y aplicación de tecnologías innovadoras para mejorar la eficiencia y la productividad agrícola. Esta tendencia también resalta la naturaleza global de la investigación en agricultura de precisión, con diversos países contribuyendo al avance del conocimiento y la aplicación de tecnologías emergentes para abordar los desafíos del sector agrícola en todo el mundo.

Figura 3. Documentos por país



USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

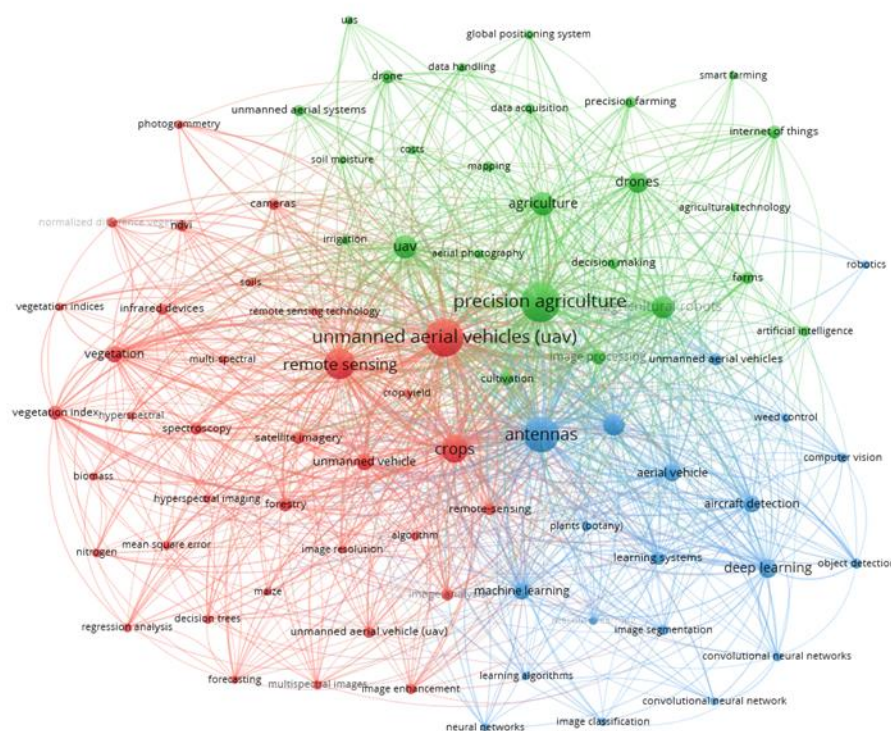
William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

Fuente: Autores

En la Figura 4 se muestra un mapa de palabra clave generado en el software VOSviewer donde se visualiza cómo se interrelacionan varios términos clave en la investigación sobre drones en la agricultura de precisión. Los diferentes colores muestran agrupaciones temáticas, lo que ayuda a identificar subáreas de investigación y cómo se conectan entre sí. Los términos más centrales y con más conexiones son los más relevantes y pueden indicar tecnologías o conceptos fundamentales en el campo.

Figura 4. Mapa basado en palabras claves



Fuente: Autores

3. ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS

En el análisis de los trabajos seleccionados para el estudio bibliográfico sobre el uso de drones en la agricultura de precisión, se emplea un enfoque cualitativo que permite una comprensión profunda y detallada del fenómeno investigado. A diferencia de los métodos cuantitativos que se centran en la medición y la objetividad numérica, el enfoque cualitativo se caracteriza por su énfasis en la exploración de significados, experiencias y perspectivas [3]. En este análisis,

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

también se adopta un enfoque hermenéutico como parte de la metodología. Este enfoque implica comprender a fondo el significado de los textos y fenómenos culturales. Ayuda a interpretar lo que los autores realmente intentan comunicar [4].

El proceso de búsqueda bibliográfica inicial se llevó a cabo utilizando una cadena de búsqueda específica en Scopus, diseñada para identificar investigaciones relevantes sobre el uso de drones en la agricultura de precisión. Esta cadena de búsqueda incluyó términos clave como "drones", "agricultura de precisión" y otras expresiones afines. A partir de esta búsqueda, se obtuvo un conjunto inicial de 2,503 documentos que abarcan una amplia gama de estudios y enfoques en el campo. Para la selección de los primeros 50 artículos, se emplearon tres criterios de búsqueda rigurosos. Se priorizaron documentos recientes publicados entre 2023 y 2024 para capturar avances recientes. Se filtraron exclusivamente artículos, asegurando así relevancia directa con el tema de estudio. Además, se consideraron aquellos con un mínimo de 5 citaciones, lo cual actuó como indicador de calidad y relevancia en la literatura académica. Este proceso permitió seleccionar los artículos más pertinentes y significativos para nuestro estudio bibliográfico.

Tabla 1. Análisis de cadena de búsqueda

Autor	Titulo	Año	Publicado en
Liu Y.; Feng H.; Yue J.; Fan Y.; Bian M.; Ma Y.; Jin X.; Song X.; Yang G.	Estimating potato above-ground biomass by using integrated unmanned aerial system-based optical, structural, and textural canopy measurements[5]	2023	Elsevier B.V.
Gurmani S.H.; Garg H.; Zulqarnain R.M.; Siddique I.	Selection of Unmanned Aerial Vehicles for Precision Agriculture Using Interval-Valued q-Rung Orthopair Fuzzy Information based TOPSIS Method[6]	2023	Springer Science and Business Media Deutschland GmbH
Zhang Y.; Fang X.; Guo J.; Wang L.; Tian H.; Yan K.; Lan Y.	CURI-YOLOv7: A Lightweight YOLOv7tiny Target Detector for Citrus Trees from UAV Remote Sensing Imagery Based on Embedded Device[7]	2023	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)
Kurunathan H.; Huang H.; Li K.; Ni W.; Hossain E.	Machine Learning-Aided Operations and Communications of Unmanned Aerial Vehicles: A Contemporary Survey[8]	2024	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
Marques P.; Pádua L.; Sousa J.J.; Fernandes-Silva A.	Assessing the Water Status and Leaf Pigment Content of Olive Trees: Evaluating the Potential and Feasibility of Unmanned Aerial Vehicle Multispectral and Thermal Data for Estimation Purposes[9]	2023	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno
william.otalora@usantoto.edu.co

Autor	Título	Año	Publicado en
Ecer F.; Ögel İ.Y.; Krishankumar R.; Tirkolaee E.B.	The q-rung fuzzy LOPCOW-VIKOR model to assess the role of unmanned aerial vehicles for precision agriculture realization in the Agri-Food 4.0 era[10]	2023	Springer Nature
Zhai W.; Li C.; Cheng Q.; Ding F.; Chen Z.	Exploring Multisource Feature Fusion and Stacking Ensemble Learning for Accurate Estimation of Maize Chlorophyll Content Using Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing[11]	2023	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)
Turukmane A.V.; Pradeepa M.; Reddy K.S.S.; Suganthi R.; Riyazuddin Y.M.; Tallapragada V.V.S.	Smart farming using cloud-based lot data analytics[12]	2023	Elsevier Ltd
Mahmud M.S.; He L.; Heinemann P.; Choi D.; Zhu H.	Unmanned aerial vehicle based tree canopy characteristics measurement for precision spray applications[13]	2023	Elsevier B.V.
Moriya É.A.S.; Imai N.N.; Tommaselli A.M.G.; Honkavaara E.; Rosalen D.L.	Design of Vegetation Index for Identifying the Mosaic Virus in Sugarcane Plantation: A Brazilian Case Study[14]	2023	MDPI
Xu B.; Fan J.; Chao J.; Arsenijevic N.; Werle R.; Zhang Z.	Instance segmentation method for weed detection using UAV imagery in soybean fields[15]	2023	Elsevier B.V.
Sánchez-Fernández L.; Barrera M.; Martínez-Guanter J.; Pérez-Ruiz M.	Drift reduction in orchards through the use of an autonomous UAV system[16]	2023	Elsevier B.V.
Wang Y.; Tan S.; Jia X.; Qi L.; Liu S.; Lu H.; Wang C.; Liu W.; Zhao X.; He L.; Chen J.; Yang C.; Wang X.; Chen J.; Qin Y.; Yu J.; Ma X.	Estimating Relative Chlorophyll Content in Rice Leaves Using Unmanned Aerial Vehicle Multi-Spectral Images and Spectral-Textural Analysis[17]	2023	MDPI
Lin C.; Hao S.; Yang W.; Wang P.; Wang L.; Wu G.; Zhang Q.	Maximizing Energy Efficiency of Period-Area Coverage With a UAV for Wireless Rechargeable Sensor Networks[18]	2023	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

Autor	Titulo	Año	Publicado en
Munghemezulu C.; Mashaba-Munghemezulu Z.; Ratshiedana P.E.; Economon E.; Chirima G.; Sibanda S.	Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Spectral Datasets in South Africa for Precision Agriculture[19]	2023	MDPI
Sapkota S.; Paudyal D.R.	Growth Monitoring and Yield Estimation of Maize Plant Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in a Hilly Region[20]	2023	MDPI
Pu H.; Chen X.; Yang Y.; Tang R.; Luo J.; Wang Y.; Mu J.	Tassel-YOLO: A New High-Precision and Real-Time Method for Maize Tassel Detection and Counting Based on UAV Aerial Images[21]	2023	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)
Zhai W.; Li C.; Cheng Q.; Mao B.; Li Z.; Li Y.; Ding F.; Qin S.; Fei S.; Chen Z.	Enhancing Wheat Above-Ground Biomass Estimation Using UAV RGB Images and Machine Learning: Multi-Feature Combinations, Flight Height, and Algorithm Implications[22]	2023	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)
Blekanov I.; Molin A.; Zhang D.; Mitrofanov E.; Mitrofanova O.; Li Y.	Monitoring of grain crops nitrogen status from uav multispectral images coupled with deep learning approaches[23]	2023	Elsevier B.V.
Macedo F.L.; Nóbrega H.; de Freitas J.G.R.; Ragonezi C.; Pinto L.; Rosa J.; Pinheiro de Carvalho M.A.A.	Estimation of Productivity and Above-Ground Biomass for Corn (Zea mays) via Vegetation Indices in Madeira Island[24]	2023	MDPI
Amputu V.; Knox N.; Braun A.; Heshmati S.; Retzlaff R.; Röder A.; Tielbörger K.	Unmanned aerial systems accurately map rangeland condition indicators in a dryland savannah[25]	2023	Elsevier B.V.
Yan C.; Li Z.; Zhang Z.; Sun	High-resolution mapping of paddy rice fields from unmanned airborne vehicle	2023	Elsevier B.V.

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

Autor	Título	Año	Publicado en
Y.; Wang Y.; Xin Q.	images using enhanced-TransUnet[26]		
Xu B.; Meng R.; Chen G.; Liang L.; Lv Z.; Zhou L.; Sun R.; Zhao F.; Yang W.	Improved weed mapping in corn fields by combining UAV-based spectral, textural, structural, and thermal measurements[27]	2023	John Wiley and Sons Ltd
LIAO Z.-Q.; DAI Y.-L.; WANG H.; KETTERINGS Q.M.; LU J.-S.; ZHANG F.-C.; LI Z.-J.; FAN J.-L.	A double-layer model for improving the estimation of wheat canopy nitrogen content from unmanned aerial vehicle multispectral imagery[28]	2023	Editorial Department of Scientia Agricultura Sinica
S P.K.; K N.K.	Drone-based apple detection: Finding the depth of apples using YOLOv7 architecture with multi-head attention mechanism[29]	2023	Elsevier B.V.
Sun W.; Fu B.; Zhang Z.	Maize Nitrogen Grading Estimation Method Based on UAV Images and an Improved Shufflenet Network[30]	2023	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)
Wang S.-M.; Ma J.-H.; Zhao Z.-M.; Yang H.-Z.-Y.; Xuan Y.-M.; Ouyang J.-X.; Fan D.-M.; Yu J.-F.; Wang X.-C.	Pixel-class prediction for nitrogen content of tea plants based on unmanned aerial vehicle images using machine learning and deep learning[31]	2023	Elsevier Ltd
Quan X.; Guo Q.; Ma J.; Doluschitz R.	The economic effects of unmanned aerial vehicles in pesticide application: evidence from Chinese grain farmers[32]	2023	Springer
Fan Y.; Feng H.; Yue J.; Jin X.; Liu Y.; Chen R.; Bian M.; Ma Y.; Song X.; Yang G.	Using an optimized texture index to monitor the nitrogen content of potato plants over multiple growth stages[33]	2023	Elsevier B.V.
Xiao S.; Ye Y.; Fei S.; Chen H.; zhang B.; li Q.; Cai Z.; Che	High-throughput calculation of organ-scale traits with reconstructed accurate 3D canopy structures using a	2023	Elsevier B.V.

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

Autor	Título	Año	Publicado en
Y.; Wang Q.; Ghafoor A.; Bi K.; Shao K.; Wang R.; Guo Y.; Li B.; Zhang R.; Chen Z.; Ma Y.	UAV RGB camera with an advanced cross-circling oblique route[34]		
Escolà A.; Peña J.M.; López-Granados F.; Rosell-Polo J.R.; de Castro A.I.; Gregorio E.; Jiménez-Brenes F.M.; Sanz R.; Sebé F.; Llorens J.; Torres-Sánchez J.	Mobile terrestrial laser scanner vs. UAV photogrammetry to estimate woody crop canopy parameters – Part 1: Methodology and comparison in vineyards[35]	2023	Elsevier B.V.
Guo A.; Ye H.; Huang W.; Qian B.; Wang J.; Lan Y.; Wang S.	Inversion of maize leaf area index from UAV hyperspectral and multispectral imagery[36]	2023	Elsevier B.V.
Puppala H.; Peddinti P.R.T.; Tamvada J.P.; Ahuja J.; Kim B.	Barriers to the adoption of new technologies in rural areas: The case of unmanned aerial vehicles for precision agriculture in India[37]	2023	Elsevier Ltd
Li Z.; Chen Z.; Cheng Q.; Fei S.; Zhou X.	Deep Learning Models Outperform Generalized Machine Learning Models in Predicting Winter Wheat Yield Based on Multispectral Data from Drones[38]	2023	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)
Xiao J.; Suab S.A.; Chen X.; Singh C.K.; Singh D.; Aggarwal A.K.; Korom A.; Widyatmanti W.; Mollah T.H.; Minh H.V.T.; Khedher K.M.; Avtar R.	Enhancing assessment of corn growth performance using unmanned aerial vehicles (UAVs) and deep learning[39]	2023	Elsevier B.V.

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

Autor	Titulo	Año	Publicado en
Battistoni P.; Cantone A.A.; Martino G.; Passamano V.; Romano M.; Sebillo M.; Vitiello G.	A Cyber-Physical System for Wildfire Detection and Firefighting[40]	2023	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)
Mamalis M.; Kalampokis E.; Kalfas I.; Tarabanis K.	Deep Learning for Detecting Verticillium Fungus in Olive Trees: Using YOLO in UAV Imagery[41]	2023	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)
Bai X.; Gu S.; Liu P.; Yang A.; Cai Z.; Wang J.; Yao J.	RPNet: Rice plant counting after tillering stage based on plant attention and multiple supervision network[42]	2023	KeAi Communications Co.
Longfei Z.; Ran M.; Xing Y.; Yigui L.; Zehua H.; Zhengang L.; Binyuan X.; Guodong Y.; Shaobing P.; Le X.	Improved Yield Prediction of Ratoon Rice Using Unmanned Aerial Vehicle-Based Multi-Temporal Feature Method[43]	2023	Elsevier B.V.
Mia M.S.; Tanabe R.; Habibi L.N.; Hashimoto N.; Homma K.; Maki M.; Matsui T.; Tanaka T.S.T.	Multimodal Deep Learning for Rice Yield Prediction Using UAV-Based Multispectral Imagery and Weather Data[44]	2023	MDPI
Tschand A.	Semi-supervised machine learning analysis of crop color for autonomous irrigation[45]	2023	Elsevier B.V.
Raptis E.K.; Krestenitis M.; Egglezos K.; Kypris O.; Ioannidis K.; Doitsidis L.; Kapoutsis A.C.; Vrochidis S.; Kompatsiaris I.; Kosmatopoulos E.B.	End-to-end Precision Agriculture UAV-Based Functionalities Tailored to Field Characteristics[46]	2023	Institute for Ionics
Khanna A.; Kaur S.	An empirical analysis on adoption of precision agricultural techniques among	2023	Elsevier Ltd

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

Autor	Título	Año	Publicado en
	farmers of Punjab for efficient land administration[47]		
McCarthy C.; Nyoni Y.; Kachamba D.J.; Banda L.B.; Moyo B.; Chisambi C.; Banfill J.; Hoshino B.	Can Drones Help Smallholder Farmers Improve Agriculture Efficiencies and Reduce Food Insecurity in Sub-Saharan Africa? Local Perceptions from Malawi[48]	2023	MDPI
Maulit A.; Nugumanova A.; Apayev K.; Baiburin Y.; Sutula M.	A Multispectral UAV Imagery Dataset of Wheat, Soybean and Barley Crops in East Kazakhstan[49]	2023	MDPI
Gkillas A.; Kosmopoulos D.; Berberidis K.	Cost-efficient coupled learning methods for recovering near-infrared information from RGB signals: Application in precision agriculture[50]	2023	Elsevier B.V.
Nnadozie E.C.; Iloanusi O.N.; Ani O.A.; Yu K.	Detecting Cassava Plants under Different Field Conditions Using UAV-Based RGB Images and Deep Learning Models[51]	2023	MDPI
Jindo K.; Teklu M.G.; van Boheeman K.; Njehia N.S.; Narabu T.; Kempenaar C.; Molendijk L.P.G.; Schepel E.; Been T.H.	Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Detection and Prediction of Damage Caused by Potato Cyst Nematode <i>G. pallida</i> on Selected Potato Cultivars[52]	2023	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
Holtorf L.; Titov I.; Daschner F.; Gerken M.	UAV-Based Wireless Data Collection from Underground Sensor Nodes for Precision Agriculture[53]	2023	MDPI
Li Z.; Zhou X.; Cheng Q.; Fei S.; Chen Z.	A Machine-Learning Model Based on the Fusion of Spectral and Textural Features from UAV Multi-Sensors to Analyse the Total Nitrogen Content in Winter Wheat[54]	2023	MDPI

Fuente: Elaboración propia

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

4. RESULTADOS

Luego de un proceso de preselección se han elegido los veinte artículos más relevantes e interesantes relacionados con el uso de drones en la agricultura de precisión. Para llevar a cabo esta selección, se ha seguido un riguroso proceso de evaluación y análisis de la literatura disponible.

A partir de esta búsqueda inicial, se obtuvo un conjunto amplio de artículos que abordaban diversas temáticas dentro del campo de la agricultura de precisión y el uso de drones en la misma. Posteriormente, se realizó una revisión minuciosa de cada artículo para evaluar su relevancia y calidad en relación con los objetivos del estudio.

Criterios de Selección:

- **Originalidad del Enfoque:** Considera la originalidad del enfoque utilizado en cada artículo, valorando la innovación y la creatividad en la aplicación de tecnologías de drones en la agricultura de precisión.
- **Relevancia del Tema:** Evalúa la relevancia del tema tratado en cada artículo, priorizando aquellos que abordaban problemáticas actuales y de interés en el campo de la agricultura de precisión.
- **Calidad de la Investigación:** Analiza la calidad metodológica y científica de cada estudio, considerando la solidez de la metodología utilizada, la rigurosidad del análisis de datos y la validez de las conclusiones obtenidas.
- **Contribución al Campo:** Valora la contribución de cada artículo al avance del conocimiento en el campo de la agricultura de precisión, prestando especial atención a los hallazgos innovadores y las implicaciones prácticas para la industria agrícola.
- **Aplicabilidad Práctica:** Evalúa la aplicabilidad práctica de los resultados obtenidos en cada artículo, considerando su relevancia para la mejora de las prácticas agrícolas y la toma de decisiones en el campo.
- **Escala de Implementación:** Considera la capacidad de escalabilidad e implementación de las soluciones propuestas en cada artículo, priorizando aquellos que presentaban enfoques que podrían ser fácilmente adoptados a diferentes escalas y contextos agrícolas.
- **Innovación Tecnológica:** Valora la innovación tecnológica presente en cada artículo, destacando aquellos que introducían nuevas tecnologías, metodologías o herramientas para el monitoreo y gestión de cultivos utilizando drones.

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

- **Impacto Ambiental:** Evalúa el impacto ambiental de las prácticas propuestas en cada artículo, priorizando aquellos que promovían prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en el contexto de la agricultura de precisión.

Preguntas de Investigación:

- ¿Qué desafíos técnicos y operativos deben superarse para maximizar el potencial de los drones en la agricultura de precisión?
- ¿Cómo pueden las innovaciones en algoritmos de procesamiento de imágenes y la interoperabilidad de plataformas de software mejorar la eficacia de los drones en la agricultura?

A continuación, se presenta la Tabla 2 donde se encontrará un resumen por cada artículo destacando su relevancia e interés en el contexto de la agricultura de precisión y el uso de drones.

Tabla 2. Descripción de Estudios

Título del Artículo	Descripción
Estimating potato above-ground biomass by using integrated unmanned aerial system-based optical, structural, and textural canopy measurements[5]	Este estudio propone un enfoque innovador para estimar la biomasa aérea de la papa utilizando mediciones integradas de un sistema aéreo no tripulado (UAS, por sus siglas en inglés). La metodología combina datos ópticos, estructurales y texturales del dosel de las plantas obtenidos mediante sensores a bordo del UAS. Los resultados muestran una correlación significativa entre las mediciones del UAS y las mediciones de biomasa tradicionales, lo que sugiere que esta técnica podría ser una herramienta eficaz para monitorear el crecimiento de la papa de manera no invasiva y precisa.
Assessing the Water Status and Leaf Pigment Content of Olive Trees: Evaluating the Potential and Feasibility of Unmanned Aerial Vehicle Multispectral and	Este artículo evalúa el potencial y la viabilidad de utilizar datos multiespectrales y térmicos de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para estimar el estado hídrico y el contenido de pigmentos foliares en árboles de olivo. Se llevaron a cabo mediciones utilizando un UAV equipado con sensores multiespectrales y térmicos para evaluar la salud de los árboles de olivo. Los resultados sugieren que la combinación de datos multiespectrales y térmicos de UAV puede proporcionar una evaluación precisa y no invasiva del estado hídrico y el contenido de pigmentos foliares en los árboles de olivo, lo que

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

Título del Artículo	Descripción
Thermal Data for Estimation Purposes[9]	podría ser útil para la gestión agrícola y la detección temprana de estrés en los cultivos.
Exploring Multisource Feature Fusion and Stacking Ensemble Learning for Accurate Estimation of Maize Chlorophyll Content Using Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing[11]	Este estudio explora el uso de la fusión de características de múltiples fuentes y el aprendizaje de conjunto apilado para mejorar la precisión en la estimación del contenido de clorofila en maíz utilizando sensores remotos aéreos de vehículos no tripulados (UAV). Se emplearon datos de UAV para capturar múltiples características relacionadas con la salud de las plantas y se utilizaron técnicas de fusión de características y aprendizaje de conjunto para integrar y optimizar la información de diferentes fuentes. Los resultados indican que esta metodología mejorada puede proporcionar estimaciones más precisas del contenido de clorofila en el maíz, lo que tiene importantes implicaciones para el monitoreo y la gestión de los cultivos de maíz.
Unmanned aerial vehicle based tree canopy characteristics measurement for precision spray applications[13]	Este artículo presenta un método para medir las características del dosel de los árboles utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV) con el propósito de aplicaciones de pulverización precisa. La investigación se centra en la medición de la altura del dosel, la densidad del dosel y la distribución espacial de los árboles en los huertos agrícolas. Al utilizar UAV equipados con sensores adecuados, se puede obtener información detallada sobre la estructura del dosel, lo que puede ser fundamental para optimizar la aplicación de productos fitosanitarios y mejorar la eficiencia en la protección de los cultivos.
Design of Vegetation Index for Identifying the Mosaic Virus in Sugarcane Plantation: A Brazilian Case Study[14]	Este estudio se centra en el diseño de un índice de vegetación específico para identificar el virus del mosaico en plantaciones de caña de azúcar, utilizando un caso de estudio en Brasil. La investigación se basa en la recolección de datos de sensores remotos aéreos, posiblemente a través de vehículos aéreos no tripulados (UAV), para analizar las características espectrales de las plantas afectadas por el virus. El desarrollo de un índice de vegetación adaptado específicamente para la detección del virus del

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

Título del Artículo	Descripción
	mosaico en la caña de azúcar podría tener importantes aplicaciones en la gestión de enfermedades de los cultivos y la prevención de pérdidas económicas en la industria azucarera.
Instance segmentation method for weed detection using UAV imagery in soybean fields[15]	Este artículo presenta un método de segmentación de instancias para la detección de malezas utilizando imágenes de vehículos aéreos no tripulados (UAV) en campos de soja. La segmentación de instancias permite identificar y delinear individualmente cada maleza en las imágenes, lo que proporciona una detección precisa y detallada. Al utilizar imágenes de UAV, se puede obtener una vista aérea de los campos de soja, lo que facilita la detección de malezas de manera eficiente y sin la necesidad de inspecciones terrestres. Este método tiene el potencial de mejorar la gestión de malezas y aumentar la eficiencia en la producción de soja.
Drift reduction in orchards through the use of an autonomous UAV system[16]	Este artículo aborda el problema de la reducción de la deriva de plaguicidas en huertos mediante el uso de un sistema autónomo de vehículos aéreos no tripulados (UAV). La deriva de plaguicidas es un problema importante en la agricultura, ya que puede causar daños a los cultivos vecinos y al medio ambiente. El estudio propone el uso de UAV equipados con sistemas de pulverización precisos y controlados por GPS para aplicar plaguicidas de manera más precisa y dirigida. Al reducir la deriva de los plaguicidas, este enfoque puede ayudar a minimizar los impactos negativos en los cultivos y el medio ambiente, al tiempo que mejora la eficiencia de la aplicación de plaguicidas en los huertos.
Estimating Relative Chlorophyll Content in Rice Leaves Using Unmanned Aerial Vehicle Multi-Spectral Images and Spectral-Textural Analysis[17]	Este estudio se enfoca en estimar el contenido relativo de clorofila en las hojas de arroz utilizando imágenes multiespectrales de vehículos aéreos no tripulados (UAV) y análisis espectral-textural. La investigación combina datos multiespectrales con análisis texturales para obtener una evaluación más precisa de la salud de las plantas y el contenido de clorofila en las hojas de arroz. Al utilizar UAV equipados con sensores multiespectrales, se puede recopilar información detallada sobre la reflectancia espectral de las hojas de

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

Título del Artículo	Descripción
	arroz, lo que permite estimar su contenido de clorofila de manera no invasiva y eficiente. Este enfoque tiene el potencial de mejorar el monitoreo del estado de los cultivos de arroz y optimizar las prácticas de gestión agrícola.
Maximizing Energy Efficiency of Period-Area Coverage With a UAV for Wireless Rechargeable Sensor Networks[18]	Este artículo se centra en maximizar la eficiencia energética de la cobertura de área por períodos de tiempo utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV) para redes de sensores recargables inalámbricas. La investigación se enfoca en optimizar el patrón de vuelo de los UAV para maximizar la cobertura del área objetivo mientras se minimiza el consumo de energía. Al utilizar UAV para desplegar y mantener redes de sensores inalámbricos, se puede mejorar la eficiencia energética del sistema, lo que resulta en una mayor vida útil de la batería y una operación más sostenible a largo plazo. Este enfoque tiene el potencial de ser aplicado en una amplia gama de aplicaciones, como la monitorización ambiental y la gestión agrícola.
Tassel-YOLO: A New High-Precision and Real-Time Method for Maize Tassel Detection and Counting Based on UAV Aerial Images[21]	Este artículo introduce un nuevo método llamado "Tassel-YOLO" para la detección y conteo de las borlas de maíz, utilizando imágenes aéreas de vehículos aéreos no tripulados (UAV). El método se basa en el algoritmo YOLO (You Only Look Once) para lograr una detección de alta precisión en tiempo real de las borlas de maíz. Al aprovechar las capacidades de los UAV para obtener imágenes aéreas de los campos de maíz, este enfoque permite un monitoreo eficiente y preciso del desarrollo de los cultivos de maíz, lo que puede ser crucial para la gestión agrícola y la planificación de la cosecha.
Unmanned aerial systems accurately map rangeland condition indicators in a dryland savannah[25]	Este estudio demuestra la precisión de los sistemas aéreos no tripulados (UAS) en la cartografía de indicadores de condición del pastizal en una sabana de tierras secas. Utilizando tecnología de sensor remoto a bordo de UAV, se logra una detección precisa y detallada de los indicadores de salud del pastizal, como la cobertura vegetal, la estructura del dosel y la distribución de la vegetación.

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

Título del Artículo	Descripción
	Este enfoque ofrece una herramienta efectiva para monitorear y gestionar el pastizal en entornos de sabana, lo que puede ser crucial para la conservación de la biodiversidad y el manejo sostenible de los recursos naturales en estas áreas.
Improved weed mapping in corn fields by combining UAV-based spectral, textural, structural, and thermal measurements[27]	Este estudio presenta una mejora en la cartografía de malezas en campos de maíz mediante la combinación de mediciones espectrales, texturales, estructurales y térmicas obtenidas mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV). Al integrar múltiples fuentes de datos, como imágenes multiespectrales, datos texturales y estructurales, así como mediciones térmicas, se logra una detección más precisa y completa de las malezas en los campos de maíz. Este enfoque ofrece una herramienta efectiva para los agricultores y los gestores agrícolas para monitorear y gestionar las infestaciones de malezas de manera más eficiente, lo que puede contribuir a aumentar la productividad y la rentabilidad de los cultivos de maíz.
A double-layer model for improving the estimation of wheat canopy nitrogen content from unmanned aerial vehicle multispectral imagery[28]	Este artículo propone un modelo de doble capa para mejorar la estimación del contenido de nitrógeno en el dosel del trigo a partir de imágenes multiespectrales obtenidas por vehículos aéreos no tripulados (UAV). El modelo combina datos de diferentes bandas espectrales para capturar de manera más precisa la variabilidad del contenido de nitrógeno en el dosel del trigo. Al integrar información de múltiples fuentes y utilizar un enfoque de doble capa, se logra una estimación más precisa y confiable del contenido de nitrógeno en el dosel del trigo, lo que puede ser fundamental para optimizar las prácticas de fertilización y mejorar el rendimiento de los cultivos de trigo.
Drone-based apple detection: Finding the depth of apples using YOLOv7 architecture with multi-head	Este estudio presenta un método para la detección de manzanas utilizando drones, específicamente utilizando la arquitectura YOLOv7 con un mecanismo de atención de múltiples cabezas. La investigación se centra en la detección precisa de las manzanas y la estimación de su profundidad en los árboles mediante el uso de imágenes aéreas capturadas por drones. Al aprovechar las

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

Título del Artículo	Descripción
attention mechanism[29]	capacidades de detección de la arquitectura YOLOv7 y el mecanismo de atención de múltiples cabezas, se logra una detección más precisa y detallada de las manzanas en los árboles, lo que puede ser útil para la gestión agrícola y la planificación de la cosecha en los huertos de manzanos.
Monitoring of grain crops nitrogen status from uav multispectral images coupled with deep learning approaches[23]	Este estudio se centra en el monitoreo del estado de nitrógeno en los cultivos de granos a partir de imágenes multiespectrales obtenidas por vehículos aéreos no tripulados (UAV), combinadas con enfoques de aprendizaje profundo. La investigación utiliza datos de UAV para capturar información sobre la reflectancia espectral de los cultivos de granos y luego aplica técnicas de aprendizaje profundo para analizar y estimar el estado de nitrógeno en los cultivos. Al integrar datos de UAV y técnicas de aprendizaje profundo, se logra un monitoreo preciso y no invasivo del estado de nitrógeno en los cultivos de granos, lo que puede ser fundamental para optimizar las prácticas de fertilización y mejorar el rendimiento de los cultivos.
Estimation of Productivity and Above-Ground Biomass for Corn (Zea mays) via Vegetation Indices in Madeira Island[24]	Este estudio se enfoca en la estimación de la productividad y la biomasa sobre el suelo para el maíz (Zea mays) utilizando índices de vegetación en la isla de Madeira. Se emplean datos de índices de vegetación derivados de imágenes de sensores remotos para estimar la productividad y la biomasa sobre el suelo de los cultivos de maíz en la isla. Al utilizar índices de vegetación como indicadores de la salud de los cultivos, se puede obtener una estimación no invasiva y precisa de la productividad y la biomasa del maíz, lo que puede ser crucial para la gestión agrícola y la planificación de la cosecha en la isla de Madeira.
High-resolution mapping of paddy rice fields from unmanned airborne vehicle images	Este estudio se centra en la creación de mapas de alta resolución de campos de arroz inundados utilizando imágenes de vehículos aéreos no tripulados (UAV) mediante una técnica mejorada llamada Enhanced-TransUnet. La investigación se basa en la utilización de datos de UAV para capturar imágenes detalladas de los campos de

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

Título del Artículo	Descripción
using enhanced-TransUnet[26]	arroz inundados y luego aplica la técnica Enhanced-TransUnet para generar mapas de alta resolución de estos campos. Al mejorar la resolución y la precisión de los mapas de los campos de arroz, este enfoque puede ser fundamental para la gestión agrícola y la monitorización de los cultivos de arroz, especialmente en regiones donde estos cultivos son de gran importancia económica y alimentaria.
A Multispectral UAV Imagery Dataset of Wheat, Soybean and Barley Crops in East Kazakhstan[49]	Este estudio presenta un conjunto de datos de imágenes multiespectrales obtenidas por vehículos aéreos no tripulados (UAV) de cultivos de trigo, soja y cebada en el este de Kazajstán. El conjunto de datos incluye imágenes de alta resolución que capturan la reflectancia espectral de los cultivos en diferentes etapas de crecimiento y bajo diversas condiciones ambientales. Este conjunto de datos es invaluable para la investigación agrícola y la gestión de cultivos en la región, ya que proporciona una base sólida para el análisis de la salud de los cultivos, la productividad y otros parámetros agronómicos clave. Además, puede facilitar el desarrollo y la validación de algoritmos de teledetección y técnicas de análisis de datos para la agricultura de precisión en la región de Kazajstán.
Detecting Cassava Plants under Different Field Conditions Using UAV-Based RGB Images and Deep Learning Models[51]	Este estudio se enfoca en la detección de plantas de yuca en diferentes condiciones de campo utilizando imágenes RGB obtenidas por vehículos aéreos no tripulados (UAV) y modelos de aprendizaje profundo. La investigación utiliza datos de UAV para capturar imágenes de alta resolución de campos de yuca en diversas condiciones ambientales y luego aplica modelos de aprendizaje profundo para identificar y segmentar las plantas de yuca en las imágenes. Al aprovechar la capacidad de los modelos de aprendizaje profundo para reconocer patrones complejos en los datos visuales, se logra una detección precisa y eficiente de las plantas de yuca, lo que puede ser crucial para la gestión agrícola y la planificación de la cosecha en los campos de yuca.

Título del Artículo	Descripción
Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Detection and Prediction of Damage Caused by Potato Cyst Nematode G. pallida on Selected Potato Cultivars[52]	Este estudio se centra en el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para detectar y predecir el daño causado por el nematodo de la quiste de la papa, Globodera pallida, en cultivares seleccionados de papa. La investigación utiliza datos obtenidos por UAV para analizar la salud y el crecimiento de los cultivos de papa, identificando posibles signos de daño causado por el nematodo. Además, se desarrollan modelos predictivos basados en los datos recopilados para prever la propagación y el impacto futuro del nematodo en los cultivos de papa. Este enfoque permite una detección temprana y una gestión más eficiente de la enfermedad, lo que puede ayudar a mitigar los efectos negativos en la producción de papa y mejorar la seguridad alimentaria.

Fuente: Elaboración propia

Se destaca la selección de los 20 artículos, que abarcan una amplia gama de temas relacionados con la aplicación de drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV) en la agricultura de precisión. La elección de estos estudios se basó en criterios rigurosos, incluida la relevancia de la investigación para la agricultura moderna, la innovación en las técnicas y metodologías utilizadas, así como la calidad y la profundidad de los resultados presentados. La diversidad de enfoques y aplicaciones presentadas en estos artículos refleja la amplitud y la riqueza del creciente campo del uso de drones en la agricultura de precisión. Por último, este análisis cuidadoso construye las bases para una comprensión más profunda y una exploración más efectiva de las capacidades y el potencial de los drones en la transformación y mejora de los sistemas agrícolas.

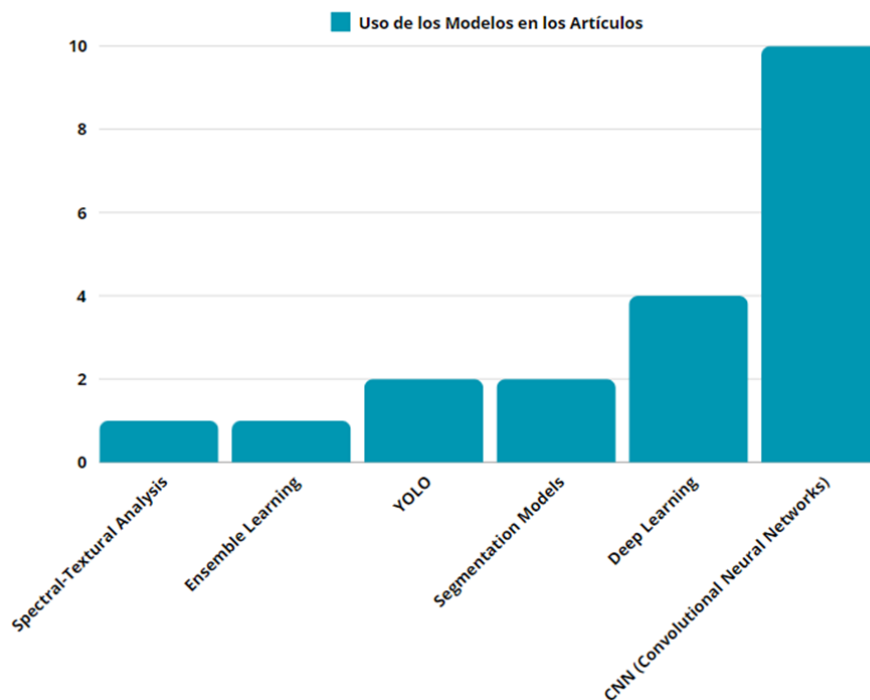
En la Figura 5 se destacan los modelos más utilizados en los artículos finales seleccionados: Spectral-Textural Analysis, Ensemble Learning, YOLO, Segmentation Models, Deep Learning y CNN (Convolutional Neural Networks). Estas tecnologías representan herramientas avanzadas para el procesamiento y análisis de datos agrícolas, permitiendo una interpretación detallada y precisa de la información capturada por los drones. Su integración en la agricultura de precisión subraya el papel crucial de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en la optimización de prácticas agrícolas modernas.

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

Figura 5. Modelos usados en los artículos.



Fuente: Autores

5. CONCLUSIONES

A lo largo de este artículo, se ha explorado el papel cada vez más significativo de los drones en la agricultura de precisión, examinando sus aplicaciones, avances y desafíos. Ahora, con una visión más clara de este campo en evolución, se pueden derivar algunas conclusiones importantes:

- Los drones han emergido como una herramienta revolucionaria en la agricultura de precisión, permitiendo la captura de datos detallados sobre los cultivos y el terreno de manera rápida y eficiente. Su capacidad para ofrecer una perspectiva aérea única ha

USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

William David Otálora Moreno

william.otalora@usantoto.edu.co

transformado radicalmente la forma en que los agricultores monitorean y gestionan sus campos, facilitando una gestión más precisa y eficiente de los cultivos.

- Impulsada por la tecnología de los drones, la agricultura de precisión está abriendo nuevas fronteras en la optimización y la sostenibilidad agrícola. Desde la detección temprana de enfermedades y plagas hasta la optimización de la aplicación de insumos agrícolas, esta disciplina está transformando la forma en que se gestionan los cultivos, maximizando los rendimientos y minimizando los impactos ambientales.
- A pesar de los avances significativos, todavía existen desafíos técnicos y operativos que deben abordarse para maximizar el potencial de los drones en la agricultura. La integración de datos de múltiples fuentes, la precisión de los algoritmos de procesamiento de imágenes y la interoperabilidad de las plataformas de software son solo algunos de los desafíos que enfrenta esta tecnología en evolución.
- La colaboración entre investigadores, empresas, agricultores y formuladores de políticas es fundamental para impulsar la adopción y el desarrollo continuo de los drones en la agricultura. Al combinar conocimientos técnicos, experiencia agrícola y apoyo institucional, se puede acelerar la implementación efectiva de estas tecnologías en el campo, maximizando su impacto y beneficios.
- Es crucial abordar las preocupaciones éticas, legales y de privacidad asociadas con el uso de drones en la agricultura. Esto incluye el cumplimiento de regulaciones y normativas, así como la protección de datos sensibles de los agricultores y el respeto por el medio ambiente. Garantizar prácticas éticas y responsables es fundamental para una implementación exitosa y sostenible de los UAV en la agricultura.
- Con un enfoque continuo en la investigación, la innovación y la cooperación, podemos aprovechar todo el potencial de los UAV en la agricultura de precisión. Al mejorar la seguridad alimentaria, promover la sostenibilidad agrícola y mejorar el bienestar humano en todo el mundo, los UAV están allanando el camino hacia un futuro agrícola más eficiente, sostenible y equitativo.
- Los drones en la agricultura están generando un impacto positivo y cuantificable en un número creciente de personas a nivel global. Se estima que la industria alcanzará un valor de \$4.1 mil millones para el 2025, con millones de agricultores adoptando esta tecnología para mejorar sus prácticas. Los estudios muestran un aumento del 10-20% en el rendimiento de los cultivos y una reducción del 25-30% en el uso de pesticidas. Esto se traduce en alimentos más asequibles y de mayor calidad para los consumidores,

además de la creación de miles de nuevos empleos en la industria de servicios agrícolas relacionados con drones. A medida que la tecnología avanza y los costos disminuyen, se espera que este impacto siga creciendo en los próximos años.

6. APOORTE A LA INVESTIGACIÓN

Uno de los aspectos más intrigantes y prometedores de la investigación en agricultura de precisión con drones es la posibilidad de integrar tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el análisis de big data, para mejorar aún más la eficiencia y la precisión de las operaciones agrícolas. Se ve un gran potencial en la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático avanzados para analizar grandes volúmenes de datos recopilados por los drones y generar conocimientos útiles para los agricultores. Al desarrollar modelos predictivos y sistemas de apoyo a la toma de decisiones basados en datos, se puede ayudar a los agricultores a anticipar y responder de manera proactiva a los desafíos agrícolas, como las enfermedades de las plantas, las fluctuaciones climáticas y las variaciones en la calidad del suelo. Este enfoque centrado en los datos tiene el potencial de optimizar el rendimiento de los cultivos, reducir los costos operativos y mejorar la sostenibilidad de la agricultura a largo plazo.

También se reconoce la importancia de motivar a las nuevas generaciones a especializarse en temas de Big Data e Inteligencia Artificial. Con el rápido avance de la tecnología y su aplicación en diversos campos, la demanda de profesionales capacitados en estos ámbitos está en constante crecimiento. Al fomentar el interés y la formación en estas áreas, se puede asegurar el desarrollo continuo de soluciones innovadoras para los desafíos agrícolas y promover la seguridad alimentaria global. Es de gran importancia contribuir a este campo en evolución y de explorar nuevas formas de aprovechar el poder de los drones y la inteligencia artificial para mejorar la producción agrícola.

REFERENCIAS

- [1] “Boletín+Introducción+a+la+agricultura+de+precisión+ganadería+de+leche+enero”.
 - [2] E. Pino V., “Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología,” *Idesia (Arica)*, no. ahead, pp. 0–0, 2019, doi: 10.4067/s0718-34292019005000402.
 - [3] P. Fernández and P. Díaz, “Investigación: Investigación cuantitativa y cualitativa” [Online]. Available: www.fisterra.com
- USO DE DRONES EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN
William David Otálora Moreno
william.otalora@usantoto.edu.co

- [4] H. Análisis Cualitativo Héctor Cárcamo Vásquez, “CINTA DE MOEBIO.”
- [5] Y. Liu *et al.*, “Estimating potato above-ground biomass by using integrated unmanned aerial system-based optical, structural, and textural canopy measurements,” *Comput Electron Agric*, vol. 213, p. 108229, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.COMPAG.2023.108229.
- [6] S. H. Gurmani, H. Garg, R. M. Zulqarnain, and I. Siddique, “Selection of Unmanned Aerial Vehicles for Precision Agriculture Using Interval-Valued q-Rung Orthopair Fuzzy Information based TOPSIS Method,” *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. 25, no. 8, pp. 2939–2953, Nov. 2023, doi: 10.1007/s40815-023-01568-0.
- [7] Y. Zhang *et al.*, “CURI-YOLOv7: A Lightweight YOLOv7tiny Target Detector for Citrus Trees from UAV Remote Sensing Imagery Based on Embedded Device,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 19, Oct. 2023, doi: 10.3390/rs15194647.
- [8] H. Huang, K. Li, W. Ni, H. Kurunathan, and E. Hossain, “Machine Learning-Aided Operations and Communications of Unmanned Aerial Vehicles: A Contemporary Survey”, doi: 10.13140/RG.2.2.10212.65928.
- [9] P. Marques, L. Pádua, J. J. Sousa, and A. Fernandes-Silva, “Assessing the Water Status and Leaf Pigment Content of Olive Trees: Evaluating the Potential and Feasibility of Unmanned Aerial Vehicle Multispectral and Thermal Data for Estimation Purposes,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 19, Oct. 2023, doi: 10.3390/rs15194777.
- [10] F. Ecer, İ. Y. Ögel, R. Krishankumar, and E. B. Tirkolaee, “The q-rung fuzzy LOPCOW-VIKOR model to assess the role of unmanned aerial vehicles for precision agriculture realization in the Agri-Food 4.0 era,” *Artif Intell Rev*, vol. 56, no. 11, pp. 13373–13406, Nov. 2023, doi: 10.1007/s10462-023-10476-6.
- [11] W. Zhai, C. Li, Q. Cheng, F. Ding, and Z. Chen, “Exploring Multisource Feature Fusion and Stacking Ensemble Learning for Accurate Estimation of Maize Chlorophyll Content Using Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 13, Jul. 2023, doi: 10.3390/rs15133454.
- [12] A. V. Turukmane, M. Pradeepa, K. S. S. Reddy, R. Suganthi, Y. M. Riyazuddin, and V. V. S. Tallapragada, “Smart farming using cloud-based lot data analytics,” *Measurement: Sensors*, vol. 27, p. 100806, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.MEASEN.2023.100806.
- [13] M. S. Mahmud, L. He, P. Heinemann, D. Choi, and H. Zhu, “Unmanned aerial vehicle based tree canopy characteristics measurement for precision spray applications,” *Smart Agricultural Technology*, vol. 4, p. 100153, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.ATECH.2022.100153.

- [14] É. A. S. Moriya, N. N. Imai, A. M. G. Tommaselli, E. Honkavaara, and D. L. Rosalen, "Design of Vegetation Index for Identifying the Mosaic Virus in Sugarcane Plantation: A Brazilian Case Study," *Agronomy*, vol. 13, no. 6, Jun. 2023, doi: 10.3390/agronomy13061542.
- [15] B. Xu, J. Fan, J. Chao, N. Arsenijevic, R. Werle, and Z. Zhang, "Instance segmentation method for weed detection using UAV imagery in soybean fields," *Comput Electron Agric*, vol. 211, p. 107994, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.COMPAG.2023.107994.
- [16] L. Sánchez-Fernández, M. Barrera, J. Martínez-Guanter, and M. Pérez-Ruiz, "Drift reduction in orchards through the use of an autonomous UAV system," *Comput Electron Agric*, vol. 211, p. 107981, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.COMPAG.2023.107981.
- [17] Y. Wang *et al.*, "Estimating Relative Chlorophyll Content in Rice Leaves Using Unmanned Aerial Vehicle Multi-Spectral Images and Spectral–Textural Analysis," *Agronomy*, vol. 13, no. 6, Jun. 2023, doi: 10.3390/agronomy13061541.
- [18] C. Lin, C. Guo, W. Du, J. Deng, L. Wang, and G. Wu, "Maximizing Energy Efficiency of Period-Area Coverage with UAVs for Wireless Rechargeable Sensor Networks."
- [19] C. Munghemezulu, Z. Mashaba-Munghemezulu, P. E. Ratshiedana, E. Economon, G. Chirima, and S. Sibanda, "Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Spectral Datasets in South Africa for Precision Agriculture," *Data (Basel)*, vol. 8, no. 6, Jun. 2023, doi: 10.3390/data8060098.
- [20] S. Sapkota and D. R. Paudyal, "Growth Monitoring and Yield Estimation of Maize Plant Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in a Hilly Region," *Sensors*, vol. 23, no. 12, Jun. 2023, doi: 10.3390/s23125432.
- [21] H. Pu *et al.*, "Tassel-YOLO: A New High-Precision and Real-Time Method for Maize Tassel Detection and Counting Based on UAV Aerial Images," *Drones*, vol. 7, no. 8, Aug. 2023, doi: 10.3390/drones7080492.
- [22] W. Zhai *et al.*, "Enhancing Wheat Above-Ground Biomass Estimation Using UAV RGB Images and Machine Learning: Multi-Feature Combinations, Flight Height, and Algorithm Implications," *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 14, Jul. 2023, doi: 10.3390/rs15143653.
- [23] I. Blekanov, A. Molin, D. Zhang, E. Mitrofanov, O. Mitrofanova, and Y. Li, "Monitoring of grain crops nitrogen status from uav multispectral images coupled with deep learning approaches," *Comput Electron Agric*, vol. 212, p. 108047, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.COMPAG.2023.108047.

- [24] F. L. Macedo *et al.*, “Estimation of Productivity and Above-Ground Biomass for Corn (*Zea mays*) via Vegetation Indices in Madeira Island,” *Agriculture (Switzerland)*, vol. 13, no. 6, Jun. 2023, doi: 10.3390/agriculture13061115.
- [25] V. Amputu *et al.*, “Unmanned aerial systems accurately map rangeland condition indicators in a dryland savannah,” *Ecol Inform*, vol. 75, p. 102007, Jul. 2023, doi: 10.1016/J.ECOINF.2023.102007.
- [26] C. Yan, Z. Li, Z. Zhang, Y. Sun, Y. Wang, and Q. Xin, “High-resolution mapping of paddy rice fields from unmanned airborne vehicle images using enhanced-TransUnet,” *Comput Electron Agric*, vol. 210, p. 107867, Jul. 2023, doi: 10.1016/J.COMPAG.2023.107867.
- [27] B. Xu *et al.*, “Improved weed mapping in corn fields by combining UAV-based spectral, textural, structural, and thermal measurements,” *Pest Manag Sci*, vol. 79, no. 7, pp. 2591–2602, Jul. 2023, doi: 10.1002/ps.7443.
- [28] Z. qi LIAO *et al.*, “A double-layer model for improving the estimation of wheat canopy nitrogen content from unmanned aerial vehicle multispectral imagery,” *J Integr Agric*, vol. 22, no. 7, pp. 2248–2270, Jul. 2023, doi: 10.1016/J.JIA.2023.02.022.
- [29] P. K. S and N. K. K, “Drone-based apple detection: Finding the depth of apples using YOLOv7 architecture with multi-head attention mechanism,” *Smart Agricultural Technology*, vol. 5, p. 100311, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.ATECH.2023.100311.
- [30] W. Sun, B. Fu, and Z. Zhang, “Maize Nitrogen Grading Estimation Method Based on UAV Images and an Improved Shufflenet Network,” *Agronomy*, vol. 13, no. 8, Aug. 2023, doi: 10.3390/agronomy13081974.
- [31] S. M. Wang *et al.*, “Pixel-class prediction for nitrogen content of tea plants based on unmanned aerial vehicle images using machine learning and deep learning,” *Expert Syst Appl*, vol. 227, p. 120351, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.ESWA.2023.120351.
- [32] X. Quan, Q. Guo, J. Ma, and R. Doluschitz, “The economic effects of unmanned aerial vehicles in pesticide application: evidence from Chinese grain farmers,” *Precis Agric*, vol. 24, no. 5, pp. 1965–1981, Oct. 2023, doi: 10.1007/s11119-023-10025-9.
- [33] Y. Fan *et al.*, “Using an optimized texture index to monitor the nitrogen content of potato plants over multiple growth stages,” *Comput Electron Agric*, vol. 212, p. 108147, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.COMPAG.2023.108147.
- [34] S. Xiao *et al.*, “High-throughput calculation of organ-scale traits with reconstructed accurate 3D canopy structures using a UAV RGB camera with an advanced cross-

- circling oblique route,” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 201, pp. 104–122, Jul. 2023, doi: 10.1016/J.ISPRSJPRS.2023.05.016.
- [35] A. Escolà *et al.*, “Mobile terrestrial laser scanner vs. UAV photogrammetry to estimate woody crop canopy parameters – Part 1: Methodology and comparison in vineyards,” *Comput Electron Agric*, vol. 212, p. 108109, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.COMPAG.2023.108109.
 - [36] A. Guo *et al.*, “Inversion of maize leaf area index from UAV hyperspectral and multispectral imagery,” *Comput Electron Agric*, vol. 212, p. 108020, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.COMPAG.2023.108020.
 - [37] H. Puppala, P. R. T. Peddinti, J. P. Tamvada, J. Ahuja, and B. Kim, “Barriers to the adoption of new technologies in rural areas: The case of unmanned aerial vehicles for precision agriculture in India,” *Technol Soc*, vol. 74, p. 102335, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.TECHSOC.2023.102335.
 - [38] Z. Li, Z. Chen, Q. Cheng, S. Fei, and X. Zhou, “Deep Learning Models Outperform Generalized Machine Learning Models in Predicting Winter Wheat Yield Based on Multispectral Data from Drones,” *Drones*, vol. 7, no. 8, Aug. 2023, doi: 10.3390/drones7080505.
 - [39] J. Xiao *et al.*, “Enhancing assessment of corn growth performance using unmanned aerial vehicles (UAVs) and deep learning,” *Measurement*, vol. 214, p. 112764, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.MEASUREMENT.2023.112764.
 - [40] P. Battistoni *et al.*, “A Cyber-Physical System for Wildfire Detection and Firefighting,” *Future Internet*, vol. 15, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.3390/fi15070237.
 - [41] M. Mamalis, E. Kalampokis, I. Kalfas, and K. Tarabanis, “Deep Learning for Detecting Verticillium Fungus in Olive Trees: Using YOLO in UAV Imagery,” *Algorithms*, vol. 16, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.3390/a16070343.
 - [42] X. Bai *et al.*, “RPNet: Rice plant counting after tillering stage based on plant attention and multiple supervision network,” *Crop J*, vol. 11, no. 5, pp. 1586–1594, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.CJ.2023.04.005.
 - [43] Z. Longfei *et al.*, “Improved Yield Prediction of Ratoon Rice Using Unmanned Aerial Vehicle-Based Multi-Temporal Feature Method,” *Rice Sci*, vol. 30, no. 3, pp. 247–256, May 2023, doi: 10.1016/J.RSCI.2023.03.008.
 - [44] M. S. Mia *et al.*, “Multimodal Deep Learning for Rice Yield Prediction Using UAV-Based Multispectral Imagery and Weather Data,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 10, May 2023, doi: 10.3390/rs15102511.

- [45] A. Tschand, "Semi-supervised machine learning analysis of crop color for autonomous irrigation," *Smart Agricultural Technology*, vol. 3, p. 100116, Feb. 2023, doi: 10.1016/J.ATECH.2022.100116.
- [46] E. K. Raptis *et al.*, "End-to-end Precision Agriculture UAV-Based Functionalities Tailored to Field Characteristics," *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, vol. 107, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.1007/s10846-022-01761-7.
- [47] A. Khanna and S. Kaur, "An empirical analysis on adoption of precision agricultural techniques among farmers of Punjab for efficient land administration," *Land use policy*, vol. 126, p. 106533, Mar. 2023, doi: 10.1016/J.LANDUSEPOL.2022.106533.
- [48] C. McCarthy *et al.*, "Can Drones Help Smallholder Farmers Improve Agriculture Efficiencies and Reduce Food Insecurity in Sub-Saharan Africa? Local Perceptions from Malawi," *Agriculture (Switzerland)*, vol. 13, no. 5, May 2023, doi: 10.3390/agriculture13051075.
- [49] A. Maulit, A. Nugumanova, K. Apayev, Y. Baiburin, and M. Sutula, "A Multispectral UAV Imagery Dataset of Wheat, Soybean and Barley Crops in East Kazakhstan," *Data (Basel)*, vol. 8, no. 5, May 2023, doi: 10.3390/data8050088.
- [50] A. Gkillas, D. Kosmopoulos, and K. Berberidis, "Cost-efficient coupled learning methods for recovering near-infrared information from RGB signals: Application in precision agriculture," *Comput Electron Agric*, vol. 209, p. 107833, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.COMPAG.2023.107833.
- [51] E. C. Nhadozie, O. N. Iloanusi, O. A. Ani, and K. Yu, "Detecting Cassava Plants under Different Field Conditions Using UAV-Based RGB Images and Deep Learning Models," *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 9, May 2023, doi: 10.3390/rs15092322.
- [52] K. Jindo *et al.*, "Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Detection and Prediction of Damage Caused by Potato Cyst Nematode *G. pallida* on Selected Potato Cultivars," *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 5, Mar. 2023, doi: 10.3390/rs15051429.
- [53] L. Holtorf, I. Titov, F. Daschner, and M. Gerken, "UAV-Based Wireless Data Collection from Underground Sensor Nodes for Precision Agriculture," *AgriEngineering*, vol. 5, no. 1, pp. 338–354, Mar. 2023, doi: 10.3390/agriengineering5010022.
- [54] Z. Li, X. Zhou, Q. Cheng, S. Fei, and Z. Chen, "A Machine-Learning Model Based on the Fusion of Spectral and Textural Features from UAV Multi-Sensors to

Analyse the Total Nitrogen Content in Winter Wheat," *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 8, Apr. 2023, doi: 10.3390/rs15082152.