

**Impacto de drones en la agricultura: aplicaciones y beneficios en la producción de cultivos.
Impact of Drones on Agriculture: Applications and Benefits in Crop production.***Eliana Vera Medranda, Tatiana Zambrano Solórzano***CIENCIA E INNOVACIÓN EN DIVERSAS
DISCIPLINAS
CIENTÍFICAS.****Enero - Junio, V°6-N°1; 2025****Recibido:** 20/03/2025**Aceptado:** 08/04/2025**Publicado:** 30/06/2025**PAIS**

- Ecuador, Portoviejo
- Ecuador, Portoviejo

INSTITUCION

- Universidad Técnica de Manabí
- Universidad Técnica de Manabí

CORREO: evera4172@utm.edu.ec tatiana.zambrano@utm.edu.ec**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-9472-2516> <https://orcid.org/0000-0002-3303-4392>**FORMATO DE CITA APA.**

Vera, E. Zambrano, T. (2025). Impacto de drones en la agricultura: aplicaciones y beneficios en la producción de cultivos. *Revista G-ner@ndo*, V°6 (N°1.). 3960 – 3983.

Resumen

Este estudio analiza el impacto del uso de drones en la agricultura de precisión, enfocándose en sus aplicaciones y beneficios en la productividad, reducción de costos y sostenibilidad. Utilizando el método PRISMA, se realizó una revisión sistemática de artículos publicados entre 2019 y 2024 en bases de datos como Scopus y Scielo. Se seleccionaron estudios que abordarán la implementación de drones en tareas como monitoreo de cultivos, detección de enfermedades, optimización de riego y aplicación de insumos. Los resultados destacan que los drones permiten un manejo eficiente de los recursos, mejorando el rendimiento agrícola y reduciendo el impacto ambiental. Sin embargo, su adopción enfrenta barreras como altos costos iniciales, falta de capacitación técnica y regulación limitada. A pesar de estos desafíos, los drones tienen un gran potencial para revolucionar la agricultura de precisión. Se sugiere investigar nuevas tecnologías accesibles, modelos educativos e integración con Inteligencia Artificial para maximizar su impacto en la seguridad alimentaria global.

Palabras clave: Vehículo aéreo no tripulado, drones, agricultura de precisión, sostenibilidad, innovación tecnológica.

Abstract

This study analyzes the impact of the use of drones in precision agriculture, focusing on their applications and benefits in productivity, cost reduction and sustainability. Using the PRISMA method, a systematic review of articles published between 2019 and 2024 was carried out in databases such as Scopus and Scielo. Studies were selected that will address the implementation of drones in tasks such as crop monitoring, disease detection, irrigation optimization and application of inputs. The results highlight that drones allow efficient management of resources, improving agricultural performance and reducing environmental impact. However, its adoption faces barriers such as high initial costs, lack of technical training and limited regulation. Despite these challenges, drones have great potential to revolutionize precision agriculture. It is suggested to investigate new accessible technologies, educational models and integration with Artificial Intelligence to maximize their impact on global food security.

Keywords: Unmanned aerial vehicles, drones, precision agriculture, sustainability, technological innovation.

Introducción

Los sistemas de alimentación robustos, sustentables e inclusivos resultan esenciales para lograr las metas de desarrollo a escala global. El progreso agrícola representa uno de los recursos más necesarios para combatir la pobreza extrema, promover la prosperidad comunitaria y nutrir a una población que se proyecta alcanzará los 10 000 millones de personas en 2050 (Grupo Banco Mundial, 2024b).

La agricultura desempeña un papel fundamental en la sociedad, ya que facilita la producción de los alimentos esenciales para la subsistencia humana. A través de la implementación de diversas técnicas y herramientas de gestión, se optimizan los cultivos, se eleva el nivel de producción y se minimizan los riesgos asociados con este proceso (Carpio, 2018). La versatilidad de la actividad agrícola comprende enfoques sistemáticas y complejos que incluyen funciones y ámbitos ecológicos, económicos, sociales y culturales interconectados con el medio ambiente (Aguirre et al., 2024).

El ámbito agrícola está en constante evolución: globalización, avanzadas cadenas de valor integradas y con posibilidades de intercambio, nuevas alternativas tecnológicas, servicios financieros atractivos y un entorno donde existe una mayor escasez y se encuentra más expuesto a las perturbaciones (De Janvry, 2012).

El Grupo Banco Mundial (2024a) sostiene que el reto se agudiza a causa de la enorme susceptibilidad de la agricultura al cambio climático. Los efectos adversos este cambio ya se evidencia en la reducción de las producciones agrícolas y fenómenos climáticos extremos más habituales, impactando tanto a los cultivos como al ganado. En ese marco de evolución, se presentan desafíos a los cuales este sector debe hacer frente para adaptarse a las nuevas demandas del mercado, mejorar la sostenibilidad en sus prácticas y aumentar la eficiencia en la producción.

La tecnología ha sido herramienta ha sido clave para transformar el sector. A esto, Caicedo et al. (2020) refieren que pese a la disparidad existente entre la vida rural y la urbana, las TIC se han integrado en el día a día del agricultor. En realidad, estas tecnologías se aplican en cada instante del día, ya sea en la agricultura de precisión, en el Internet, o en el monitoreo de los mercados en línea. Así como la exploración, almacenaje, representación e integración de datos de gran variedad (big data) vinculados a la actividad agrícola como a su accesibilidad (Arús, 2019).

La agricultura de precisión ofrece numerosos beneficios en comparación con las técnicas convencionales, en particular la capacidad de utilizar los productos de manera localizada, supervisar el funcionamiento de los equipos en tiempo real, realizar proyecciones de rendimientos y más (Ríos, 2021a). En este escenario de innovación, los drones se han consolidado como una de las tecnologías más prometedoras para la agricultura contemporánea. Según Ríos (2021b) un dron es un vehículo aéreo no tripulado (conocido en español como VANTs), que se controlan a distancia (como un joystick) o mediante aplicaciones para smartphones o tablets. En la actualidad, existen diversas aplicaciones creadas para iOS, Android e incluso Linux que permiten pilotar un dron, capturar imágenes y grabar.

Mediante la utilización de este objeto en la agricultura, se logran ventajas como proporcionar datos de calidad al agricultor para tomar decisiones acertadas, facilitar la identificación del tipo de riego, la aplicación de un fertilizante específico, la detección de plagas, el ahorro de agua, los nutrientes y energía, disminuye también los costos de producción y el agricultor tiene la posibilidad de supervisar el cultivo desde su hogar u oficina (Sánchez et al., 2024). Sin embargo, es imperante mantener un enfoque equilibrado que tenga en cuenta las posibilidades tecnológicas como socioeconómicas de las diversas comunidades agrícolas del mundo (Guebsi et al., 2024).

Reconociendo el papel fundamental que desempeñan los drones en la agricultura de precisión, el presente estudio tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura existente sobre las diversas aplicaciones y los beneficios que su uso aporte al sector. A medida que la agricultura se enfrenta a desafíos cada vez más complejos, como la gestión eficiente de recursos y la adaptación al cambio climático, los drones surgen como una herramienta innovadora para optimizar las prácticas agrícolas.

Este análisis busca consolidar el conocimiento actual sobre cómo los drones contribuyen a mejorar la productividad, sostenibilidad y toma de decisiones en la producción de cultivos, evaluando su impacto tanto en grandes exploraciones como en pequeños agricultores.

La agricultura de precisión (AP) emergió en Estados Unidos como un sistema cíclico de retroalimentación anual, diseñada para aplicar dosis variables de insumos agrícolas. Este enfoque incorpora la utilización de tecnologías de la información para adaptar el manejo de suelos y cultivos según la variabilidad natural o inducida en cada parcela (García & Flego, 2018).

Se comprende como un método agronómico fundamentado en la variabilidad del terreno, que conlleva diversas fases esenciales: recopilación de datos, tratamiento de información y toma de decisiones. Se enfatiza la relevancia fundamental de implementar un control de calidad riguroso de los datos en este contexto, subrayando su función indispensable como un proceso que debe ser cuidadosamente integrado durante la fase de recolección de datos (Sánchez et al., 2024). En el ámbito de esta agricultura, se emplean diversas herramientas tecnológicas que incluyen los sistemas de posicionamiento global (GPS), sensores remotos, monitores de rendimiento y maquinaria inteligente. Los agricultores tienen la opción de seleccionar las tecnologías que mejor se alineen con sus capacidades de inversión. Cabe destacar que la implementación de una única tecnología resulta óptima para pequeños huertos, mientras que el uso de dos o más tecnologías es recomendable para terrenos de mayor extensión (Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión, 2018).

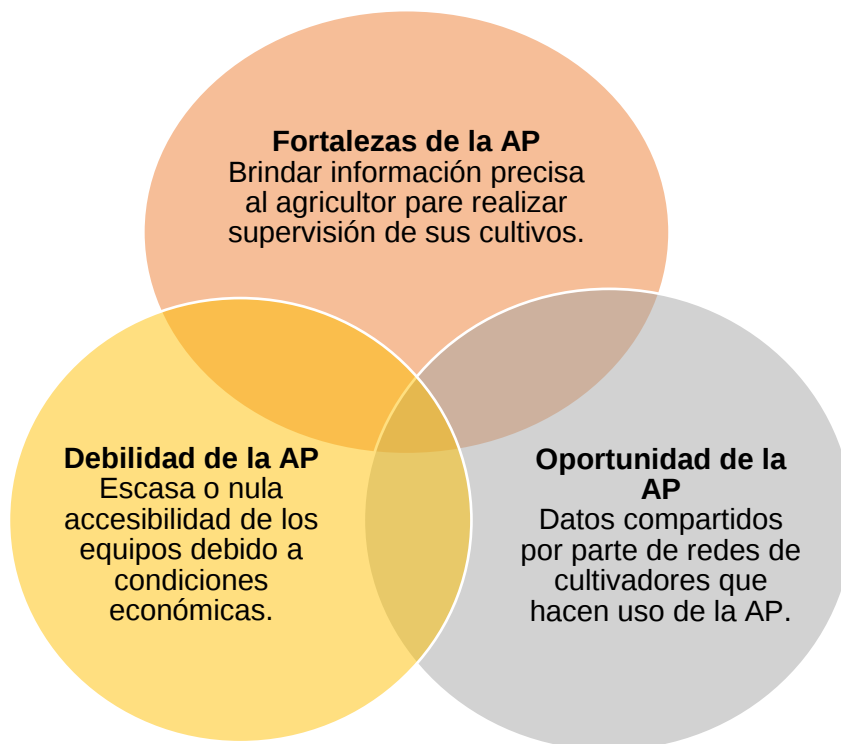
Ha sido un éxito en zonas de agricultura avanzada, donde predominan parcelas de gran tamaño destinadas al monocultivo de cereales, maíz, forrajes o plantas industriales. En estas circunstancias, gestionar la variabilidad del cultivo en la parcela resulta inviable, a menos que se utilicen las tecnologías contemporáneas de recolección y gestión en masa de la información (Planas de Martí, 2018).

Su implementación es crucial en las naciones en desarrollo para superar las condiciones de pobreza y potenciar su productividad agrícola, es un asunto de reciente relevancia en el ámbito de la investigación científica y tecnológica. Las primeras publicaciones se remontan a finales de la década de los 90, y solo tras superar el 2010 se observó un aumento significativo de trabajos de investigación vinculados a esta temática (Díaz, Salcedo, et al., 2024).

Las ventajas medioambientales de este enfoque contribuyen a la reducción y control de la utilización y dispersión de nitrógenos y otros componentes. Desde una perspectiva económica, maximiza el potencial de cada parcela de terreno e incrementa su rentabilidad con mayor resiliencia ante eventos extraordinarios y cambios climáticos abruptos cada vez más habituales. Por último, en el ámbito agronómico, se trata de un modelo que adapta las prácticas de cultivo a las especificidades de cada especie vegetal (Banco Santander, 2023).

Para la implementación de estos sistemas es fundamental poseer competencias informáticas específicas, lo que introduce un nivel adicional de complejidad, en el que se observa una escasa cultura de innovación en el sector, dado que una proporción limitada de agricultores dispone de acceso a ordenadores y existe una resistencia generalizada a invertir en capacitación (Fresneda et al., 2024). Por otro lado, así como la implementación de la AP presenta beneficios, también existen desafíos que deben ser abordados, como se ilustra en la Figura 1.

Figura 1. Fortaleza, debilidad y oportunidad de la AP



Fuente: Elaborado por el autor a partir de Rambauth (2022).

Las condiciones de implementación de la AP deben ser asequibles para los pequeños productores, con costes de inversión en tecnologías recuperados a mediano plazo (Rambauth, 2022). Esto debido a que la habilidad para recolectar, examinar y utilizar grandes cantidades de información en tiempo real está revolucionando las decisiones agrícolas, posibilitando que los agricultores se ajusten con rapidez a las condiciones variables y mejoren el desempeño de sus cultivos (Guzmán et al., 2024).

Internet de las cosas y los VANT son dos tecnologías de gran actualidad utilizadas en los campos de cultivo, que transforman las prácticas agrícolas tradicionales en una nueva era de agricultura de precisión (Boursianis et al., 2022).

En Latinoamérica, poco a poco, las autoridades inician la elaboración de leyes que controlan la utilización de agroquímicos a través de drones. Brasil, Colombia, México, Ecuador y

Costa Rica progresan en el asunto, lo crucial para regular es incentivar y promover la adopción de la tecnología y no limitarla (Pino, 2019).

La agroindustria brasileña viene utilizando cada vez más drones debido a las diversas posibilidades de uso dentro del sector y por las ventajas que se derivan de su uso, como reducción de costos o mejores prácticas de gestión (Mogili & Deepak, 2018). A medida que el uso de drones en la agricultura continúa avanzando, existen tanto oportunidades como desafíos que deben abordarse (Lawrance, 2024).

El dron se distingue por su sencillez al manejar suelos inclinados y su habilidad para ubicarse en la copa de los árboles. Además, tiene la capacidad de volar a una altura baja, aproximando la pulverización al blanco. Su capacidad para fusionar detección, georreferenciación, uso y autoguiado lo hace una herramienta valiosa para tratamientos a nivel zonal o localizado así como la formación de cordones de salud preventivos (Planas de Martí, 2018).

Tienen, además, la capacidad de recolectar datos de diferentes bandas del espectro energético, alcanzando una resolución espacial de hasta 5 centímetros en los instantes críticos para el crecimiento de las cosechas. Los sensores recolectan datos espectrales que se transforman en información valiosa como mapas y algoritmos matemáticos, vinculados a circunstancias de estrés hídrico o momentos ideales para la cosecha, entre otros (Pino, 2019).

Estas tecnologías son útiles cuando no es posible la intervención humana para rociar productos químicos en los cultivos y cuando hay escasez de mano de obra. También ayudan a que el trabajo de rociado sea más fácil y rápido (Mogili & Deepak, 2018). No obstante, esta posición estratégica presenta diversas dificultades que se deben enfrentar. En este sentido, los beneficios únicamente se concretarán si se gestionan adecuadamente los desafíos planteados como es la seguridad de los datos, la complejidad de la integración y los costos sustanciales de

implementación (Rejeb et al., 2022). Así también como la calidad de las imágenes espectrales obtenidas mediante drones, que pueden verse afectadas por factores ambientales o de sensores, por lo tanto requieren pasos de medición y procesamientos cuidadosos (Inoue, 2020).

Dicho uso intensivo de datos y procesamiento de imágenes, generalmente exige personal capacitado. Esto puede llevar a que los agricultores necesiten capacitación o contratar expertos, lo cual resulta costoso y podría impedir la adopción de drones por parte de agricultores con pequeños campos (Tsouros et al., 2019). En ese sentido, es vital que las políticas gubernamentales únicamente no busquen regular el uso de drones, sino también fomentar la investigación y la formación de agricultores y técnicos a fin de garantizar que estas tecnologías sean accesibles y efectivas en todos los niveles del sector agrícola.

Métodos y Materiales.

La metodología empleada en esta revisión sistemática se diseñó para proporcionar un análisis detallado sobre el impacto del uso de drones en la agricultura de precisión, con el objetivo de identificar las aplicaciones clave y los beneficios asociados a esta tecnología en la producción de cultivos, para lo cual se utilizó el método PRISMA, como se muestra en la figura 2. Si bien existe la Declaración de Método PRISMA 2020 (Page et al., 2021), se indica que ha sido diseñado principalmente para evaluar efectos de intervenciones sanitarias, aunque se aplican a otras revisiones no vinculadas a la salud, como intervenciones sociales o educativas mediante métodos combinados (estudios cuantitativos y cualitativos), teniendo en cuenta las directrices para la elaboración y exposición de datos cualitativos.

Las revisiones sistemáticas son una herramienta fundamental, en la cual dos pasos ayudarán la toma de decisiones respecto a la evidencia: búsqueda y lectura crítica de estudios (Villasís et al., 2020). Se refiere a un artículo de "síntesis de la evidencia disponible", donde se

lleva a cabo una revisión de elementos cuantitativos y cualitativos de investigaciones primarias, con la finalidad de sintetizar la información disponible acerca de un asunto específico.

La pregunta de investigación se definió en base a los elementos clave que deben ser evaluados en la revisión. De esta manera, la pregunta se estructura de forma que permita una evaluación detallada de las intervenciones y sus efectos en el contexto agrícola:

¿Cuáles son las aplicaciones y beneficios del uso de drones en la agricultura de precisión para mejorar la productividad, reducir costos y aumentar la sostenibilidad en la producción de cultivos durante los últimos cinco años?

La búsqueda de información para esta revisión sistemática se realizó utilizando diversas bases de datos científicas, entre estas: Scopus, IEEE Xplore, Dialnet y Scielo. Se diseñó una estrategia de búsqueda utilizando términos clave (tabla 1) relacionados con drones y agricultura de precisión, combinados mediante operadores booleanos para asegurar que la búsqueda fuera lo más específica y amplia posible.

Tabla 1. Operados booleanos utilizados en el proceso de búsqueda

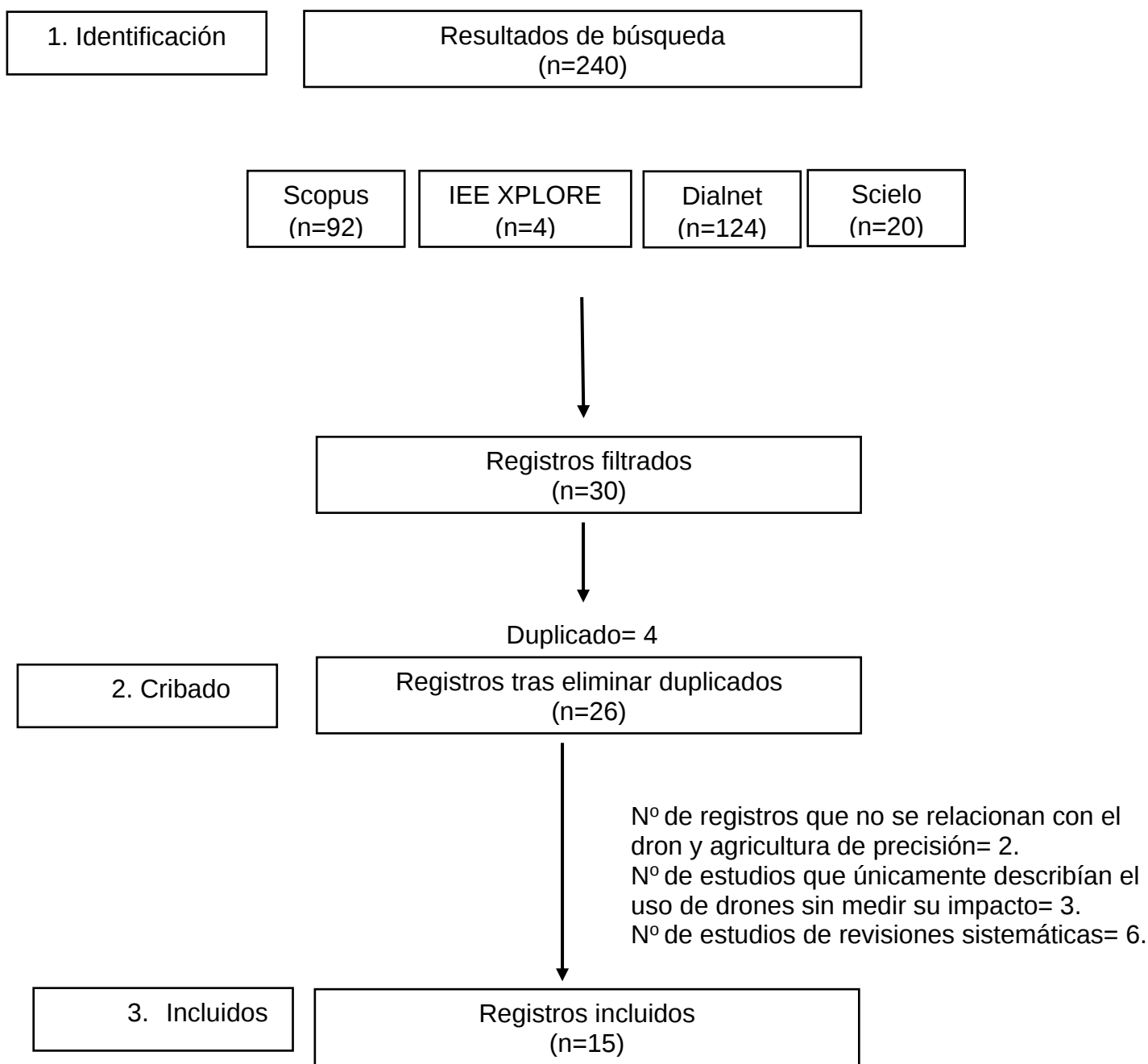
"Agricultura" AND "drones"
"Agricultura de precisión" AND ("vehículos aéreos no tripulados" OR "drones")
"Tecnologías agrícolas" AND ("IoT" OR "Internet de las Cosas") AND ("drones")
"Agricultura sostenible" AND "tecnología de drones"
"Monitoreo de cultivos" AND "drones" AND ("agricultura" OR "producción agrícola")
("Impacto ambiental" OR "eficiencia de recursos") AND "drones" AND "agricultura de precisión"
"Innovaciones tecnológicas" AND "drones" AND "agricultura" OR "agricultura de precisión"
("Optimización de cultivos" OR "mejora de rendimientos") AND "drones" AND "agricultura"

Entre los criterios de inclusión, se consideraron estudios que aborden el uso de drones en la AP, que hayan sido publicados entre 2019 y 2024, para garantizar información actualizada y que estuviesen disponibles en formato completo. Además, que estén redactados en inglés, español o portugués y se enfoquen en resultados medibles sobre la eficiencia e impacto de los

drones. Por otra parte, se excluyeron revisiones sistemáticas o estudios que no incluyeran un análisis de resultados significativo.

En la siguiente figura se muestra el procedimiento de selección de estudios basado en el método PRISMA.

Figura 2. Diagrama de flujo del procedimiento de selección de estudios basada en el método PRISMA



Análisis de Resultados

Tabla 2. Estudios seleccionados

Autor(es)	Región	Aplicación	Principales resultados
Marcial et al. (2019)	México	Monitoreo de extensión de cultivo de maíz.	Se estimó la cobertura vegetal del cultivo de maíz mediante algoritmos de segmentación de imágenes e índices de color, como el índice exceso de verde, y el de extracción de la vegetación a través de imágenes adquiridas desde un dron en la etapa intermedia de crecimiento del cultivo.
Barraza et al. (2019)	Panamá	Control de enfermedades en plantas de arroz.	La tecnología de sensor de color integrada en la cámara del dron facilita la identificación precisa del espectro cromático presente en el cultivo, lo cual permite determinar de manera específica las áreas que están siendo afectadas.
Kalischuk et al. (2019)	E.E.U.U	Exploración de cultivos de sandía.	La utilización de imágenes multiespectrales a través de tecnología de drones optimizó significativamente la exploración de cultivos de sandía debido a su capacidad para detectar focos de enfermedades.
Guan et al. (2019)	Japón	Rendimiento de cultivos de arroz y trigo.	Los valores del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) obtenidos por medio del dron son efectivos para predecir el rendimiento y detectar los niveles de aplicación de fertilizantes de arroz y trigo.
Zhang et al. (2019)	China	Estrés hídrico del maíz.	Nueve índices de vegetación (IV) relacionados con el estrés hídrico del cultivo se derivaron de las imágenes multiespectrales obtenidas del dron y se utilizaron para establecer modelos de inversión del índice de estrés hídrico del cultivo de maíz.
Khaliq et al. (2019)	Italia	Evaluación de variabilidad de viñedos.	Los mapas calculados a partir de imágenes de drones, considerando solo los píxeles que representan las copas de los cultivos, resultaron describir de forma fiable la variabilidad del viñedo en comparación con las imágenes satelitales.
Herrera & Hernández (2020)	Colombia	Monitoreo de sanidad vegetal.	La obtención de imágenes áreas a través del vuelo de drones permite diagnosticar la sanidad vegetal del cultivo a partir del NDVI.
Srivastava et al. (2020)	India	Optimización de aplicaciones agrícolas.	Se identifican las regiones estresadas utilizando el software Vegetative Network. Luego, se aplican métodos para obtener rutas y puntos óptimos para la pulverización de insumos por medio del dron.
Lan et al. (2020)	China	Detección de enverdecimiento de cítricos.	Se investigó un método de detección en tiempo real para detectar Huanglongbing de los cítricos, para lo que se utilizó una cámara multiespectral comercial montada en un dron que recopiló imágenes multiespectrales verdes, rojas e infrarrojas cercanas de un huerto de cítricos de gran área.

Bonnaire et al (2021)	Colombia	Estado nutricional de las plantas.	En el cultivo de café variedad Castillo, el uso de imágenes multiespectrales obtenidas mediante vuelo de drones determinó el estado nutricional de las plantas, lo que consolidó un algoritmo para calcular el NDVI.
Alarcão & Nuñez (2023)	Brasil	Monitoreo de cultivos y pulverización de pesticidas.	Los drones permitieron un uso eficiente de insumos, reducción de costos y aumento de productividad mediante monitoreo en tiempo real de la salud de los cultivos y la aplicación de pesticidas.
Reyes (2023)	Colombia	Monitoreo del cultivo.	Se destaca el uso de drones específicos para la fotogrametría, riego y fumigación de cultivos; además de que permiten reducir el uso de drones para aplicar fertilizantes y pesticidas lo que mejora la eficiencia de la agricultura.
Mesías et al. (2024)	España	Detección y clasificación de malas hierbas.	Las imágenes captadas por drones brindaron una solución efectiva en la gestión eficiente de malas hierbas, lo que reduce el uso de herbicida y contribuye a la sostenibilidad de la agricultura.
Peláez et al. (2024)	Colombia	Evaluación de pasto.	La adquisición de imágenes multiespectral obtenidas mediante el vuelo de VANTs proporciona una visión detallada de las condiciones agrícolas al relevar correlaciones entre el NDVI y varios parámetros del suelo.
Díaz et al. (2024)	México	Identificar los niveles de sanidad de árboles críticos.	Los datos de alta resolución espacial recogidos mediante vuelos de dron y los algoritmos de aprendizaje automático permitieron clasificar e identificar árboles de naranjas enfermos.

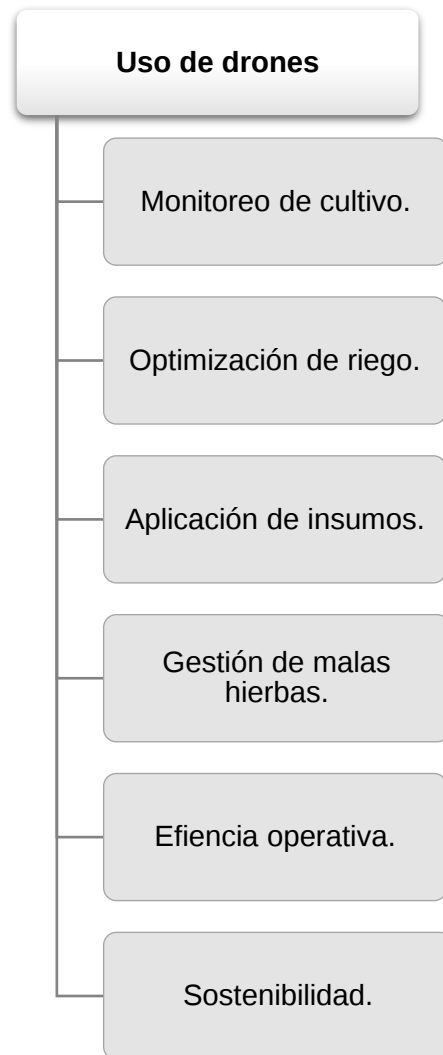
Cabe destacar que hay estudios que, aunque utilicen la misma aplicación, tienen enfoques muy distintos en cuanto a objetivos y metodologías, como sucede con Reyes (2023) y Marcial et al. (2019), quienes realizan el monitoreo de cultivos a través de drones. El estudio de Reyes (2023) se centra en evaluar cómo los drones, específicamente los modelos DJI Mini 2 y DJI P4 Multispectral, pueden mejorar la gestión agrícola mediante el uso eficiente de recursos como pesticidas y fertilizantes.

Este trabajo resalta la importancia de reducir el impacto ambiental, para lo cual combina imágenes multiespectrales y mapeo 3D para optimizar el manejo de los cultivos. Sus resultados destacan cómo el uso de estas tecnologías permite disminuir la contaminación y mejorar la productividad agrícola.

Por otro lado, el estudio Marcial et al. (2019) se enfoca en el análisis de la cobertura vegetal del cultivo de maíz, utilizando imágenes RGB obtenidas con un dron DJI A2. Este estudio aplica algoritmos de segmentación, así como cálculos de índice de vegetación y clasificación de la cobertura vegetal con alta precisión. Aunque ambos trabajos destacan la utilidad de los drones en la agricultura, Reyes (2023) prioriza la sostenibilidad y la gestión de insumos químicos, mientras que Marcial et al. (2019) se enfoca en el desarrollo y validación de técnicas de segmentación para monitorear el estado de cultivos.

El trabajo de Alarcão & Nuñez (2023) explora la detección y análisis de estrés hídrico en cultivos agrícolas a través de imágenes multiespectrales obtenidas mediante drones, resaltando la eficacia del NDVI y otros índices de vegetación que monitorean el estado de los cultivos así como la optimización del agua. De forma similar, Barraza et al. (2019) analizan el impacto de los VANTs en la vigilancia agrícola, destacando su precisión en el monitoreo de variables con la calidad del suelo y salud vegetal. Bonnaire et al. (2021) investiga el uso de cámaras multiespectrales para identificar plagas en cultivos específicos, haciendo uso de algoritmos de análisis de datos avanzados. En ese sentido, Díaz et al. (2024) propone complementar este enfoque aplicando modelos de aprendizaje automático para clasificar enfermedades en cultivos de alto valor económico.

Conjuntamente, los estudios seleccionados evidencian la diversidad y el significativo potencial de las tecnologías fundamentadas en VANTs y sensores remotos para enfrentar los desafíos contemporáneos en el ámbito de la agricultura. Este estudio, por su parte, subraya la importancia de los drones como una herramienta esencial en la agricultura moderna. Para sintetizar las principales aplicaciones y beneficios identificados en la revisión sistemática, se presenta a continuación un esquema visual que ilustra de manera clara el impacto de estas tecnologías en diversas áreas del sector agrícola.

Figura 3. Aplicaciones del uso de drones en el sector agrícola según la literatura revisada

En la siguiente sección, se abordará de manera detallada la pregunta de investigación planteada, así como también se examinarán las aplicaciones más relevantes y los beneficios del uso de drones en el sector agrícola, tal como se documenta en la literatura académica de los últimos cinco años.

PI: ¿Cuáles son las aplicaciones y beneficios del uso de drones en la agricultura de precisión para mejorar la productividad, reducir costos y aumentar la sostenibilidad en la producción de cultivos durante los últimos cinco años?

La agricultura de precisión, que integra tecnologías avanzadas como los drones, ha transformado significativamente la forma en la que los productores gestionan sus cultivos. El uso de VANTs ha demostrado tener aplicaciones y beneficios destacados en la mejora de la productividad, la reducción de costos y el aumento de la sostenibilidad en diferentes contextos agrícolas.

El uso de drones para monitorear la salud de los cultivos es un tema recurrente en la literatura revisada. Varios estudios (Bonnaire et al., 2021; Díaz, Aguirre, et al., 2024; Zhang et al., 2019) han confirmado que los drones proporcionan una capacidad superior para detectar problemas fisiosanitarios y de estrés en los cultivos de manera más temprana y precisa que los métodos tradicionales. Alarcão & Nuñez (2023) y Barraza et al. (2019) destacan cómo los drones, al permitir el monitoreo multiespectral, facilitan la identificación de nutrientes, plagas y enfermedades, lo que permite una intervención más temprana y dirigida.

En este contexto, los hallazgos refuerzan la idea de que la agricultura de precisión mediante drones, además de mejorar la calidad de los cultivos beneficia la sostenibilidad ambiental. La reducción del uso de insumos como fertilizantes y pesticidas es un elemento crucial para ello. Como se ha indicado en estudios previos (Guan et al., 2019; Kalischuk et al., 2019) el uso de drones permite realizar aplicaciones más precisas, evitando la sobreaplicación y, por lo tanto, minimizando el impacto ambiental. Este enfoque se complementa con la optimización del riego y mejora en el control de plagas, lo cual también ha sido confirmado por Reyes (2023) y Zhang et al. (2019), quienes destacan cómo los drones contribuyen a una gestión eficiente del agua y de otros insumos agrícolas.

Así mismo, los estudios revisados presentan una visión clara de cómo los drones están mejorando la eficiencia operativa en la agricultura. A través de la optimización de rutas y la precisión en la aplicación de insumos, los drones permiten reducir significativamente los costes operativos. La capacidad de los drones para grandes áreas de cultivo de manera eficiente, y de

aplicar insumos donde se necesita, es un factor clave para reducir los costos relacionados con la mano de obra e insumos (Kalischuk et al., 2019; Reyes, 2023; Srivastava et al., 2020).

Este enfoque de precisión también mejora la productividad al garantizar que los cultivos reciben el tratamiento adecuado en el momento adecuado. Además, la gestión sostenible de recursos, como el agua y los fertilizantes se ha destacado como beneficio clave (Peláez et al., 2024; Zhang et al., 2019), permitiendo un mejor riego de cultivos que se traduce en una reducción significativa del consumo del agua reduciendo así la huella ambiental de las actividades agrícolas.

La brecha de investigación de los estudios radica en que a pesar de los múltiples beneficios que los drones ofrecen a la agricultura, persisten varios desafíos que deben abordarse para su adopción a gran escala. El costo inicial de adquisición de drones, el mantenimiento y capacitación técnica continúan siendo barreras significativas para los pequeños y medianos agricultores. Aunque el uso de drones reduzca los costes operativos a largo plazo, la inversión inicial sigue siendo un obstáculo importante. Sin embargo, este desafío se ve atenuado por la reducción de costes operativos a medida que los agricultores comienzan a aprovechar las ventajas de precisión en las aplicaciones de insumo y el monitoreo de cultivo (Alarcão & Nuñez, 2023; Marcial et al., 2019). La implementación de tecnología de drones en el ámbito agrícola exige una formación técnica especializada para los profesionales del sector. La incorporación de estas innovaciones puede representar un reto para aquellos que carecen de experiencia previa en la operación de VANTs o en el análisis de datos geoespaciales. Según los estudios de Herrera & Hernández (2020) y Peláez et al. (2024), es fundamental desarrollar iniciativas educativas y programas de capacitación que apoyen la adopción efectiva de drones en la agricultura.

Además, las barreras regulatorias también representan un desafío significativo. Los marcos regulatorios para el uso de drones varían según la región, y las políticas gubernamentales deben adaptarse para facilitar su integración (Alarcão & Nuñez, 2023; Díaz, Aguirre, et al., 2024).

Sin embargo, los avances en regulación y la tecnología autónoma de los drones ofrecen nuevas oportunidades para superar estas limitaciones (Srivastava et al., 2020).

Los estudios revisados abren nuevas rutas para investigaciones futuras en el campo de la agricultura de precisión con drones. En particular, estos estudios (Lan et al., 2020; Mesías et al., 2024) señalan el potencial del uso de la Inteligencia Artificial y aprendizaje automático para mejorar la capacidad de los drones para detectar y clasificar plagas y malas hierbas. La integración de sensores avanzados podría ampliar aún más las aplicaciones, mejorando la precisión de los índices de vegetación y monitoreo de salud de los cultivos. La pulverización y optimización de algoritmos de riego mediante big data y modelos predictivos podrían proporcionar herramientas aún más poderosas para que los agricultores gestionen sus parcelas con un mínimo de recursos (Srivastava et al., 2020; Zhang et al., 2019).

Conclusiones

El uso de drones en la agricultura ha demostrado ser una herramienta prometedora para optimizar la producción, reducir costos y mejorar la sostenibilidad. Su capacidad para producir datos precisos y en tiempo real permite tomar decisiones más informadas, lo que a su vez, mejora la gestión de recursos como agua, fertilizantes y pesticidas. No obstante, aún existen desafíos significativos que limitan su adopción a gran escala, especialmente en regiones con recursos económicos limitados. Entre estos desafíos se encuentran los costos iniciales de inversión, la falta de capacitación técnica y las barreras regulatorias.

Es innegable el potencial de los drones para revolucionar la agricultura, pese a los obstáculos previamente detallados. Las futuras investigaciones podrían centrarse en desarrollar tecnologías más accesibles y económicas, así como la integración de Inteligencia Artificial y big data para maximizar el rendimiento de los drones. También es esencial explorar modelos de capacitación que permitan a pequeños y medianos agricultores acceder a estas tecnologías.

Finalmente, se sugiere estudiar más a fondo el impacto ambiental a largo plazo del uso de drones y su contribución a la sostenibilidad agrícola global. Con estos avances, es posible que los drones además de transformar la agricultura de precisión, desempeñen así mismo, un papel crucial para la seguridad alimentaria mundial, contribuyendo a enfrentar los desafíos que plantea el cambio climático y el crecimiento demográfico

Referencias bibliográficas

- Aguirre, S., Piraneque, N., & Morón, J. (2024). Desafíos del sector agrícola ante cambio climático en el Caribe seco colombiano. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 19(1), 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9706260>
- Alarcão, J., & Nuñez, D. (2023). O uso de drones na agricultura 4.0. *Brazilian Journal of Science*, 3(1), 1–13. <https://doi.org/10.14295/bjs.v3i1.438>
- Arús, P. (2019). La agricultura del futuro: Ciencia y tecnología para el desarrollo agrícola sostenible. *Mètode: Revista de difusió de la Investigació*, 1(100), 64–71. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6841349>
- Banco Santander. (2023). *Qué es la agricultura de precisión*. Banco Santander. <https://www.bancosantander.es/blog/pymes-negocios/agricultura-precision-que-es>
- Barraza, J., Espinoza, E., Espinos, A., & Serracin, J. (2019). Agricultura de precisión con drones para control de enfermedades en la planta de arroz. *Revista de Iniciación Científica*, 5, 41–47. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v5.0.2368>
- Bonnaire, L., Montoya, B., & Obando, F. (2021). Procesamiento de imágenes multiespectrales captadas con drones para evaluar el índice de vegetación de diferencia normalizada en plantaciones de café variedad Castillo. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), 1–16. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7942575>
- Boursianis, A. D., Papadopoulou, M. S., Diamantoulakis, P., Liopa, A., Barouchas, P., Salahas, G., Karagiannidis, G., Wan, S., & Goudos, S. (2022). Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. *Internet of Things*, 18, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100187>
- Caicedo, O., Ruíz, I., Montecé, F., Cadena, D., & Alcívar, L. (2020). Actualidad de las tecnologías de la información y comunicación tic's en la producción agropecuaria. *Journal of Science*
-

- and Research: *Revista Ciencia e Investigación*, 5(3), 134–144.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7527956>
- Carpio, L. (2018). El uso de la tecnología en la agricultura. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2(14), 25–32. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol2iss14.2018pp25-32>
- De Janvry. (2012). Prefacio. En S. Auguste & O. Manzano (Eds.), *Tiempo de cosecha: Desafíos y oportunidades del sector agrícola en Centroamérica y la República Dominicana*. Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0012494>
- Díaz, J., Aguirre, C., Loredó, C., & Escoto, M. (2024). Identificación del estado fitosanitario de árboles mediante aprendizaje automático e imágenes de muy alta resolución espacial. *Scientia Agropecuaria*, 15(2), 177–189. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.013>
- Díaz, J., Salcedo, D., Mercado, T., & Quiñonez, Y. (2024). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: Estado actual y su aplicación mediante un prototipo. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 53, 106–121. <https://doi.org/10.17013/risti.53.106-121>
- Fresneda, C., Martínez, A., Laffita, A., Zamora, O., & Fresneda, O. (2024). Métodos y conocimientos de Agricultura de Precisión como estrategia administrativa Agropecuaria. *Ingeniería Agrícola*, 14(3). <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/download/1899/4059?inline=1>
- García, E., & Flego, F. (2018). *Agricultura de Precisión*. Universidad de Palermo. <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>
- Grupo Banco Mundial. (2024a). *Agricultura inteligente con respecto al clima*. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/topic/climate-smart-agriculture>
- Grupo Banco Mundial. (2024b). *Agricultura y alimentos*. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview>
-

- Guan, S., Fukami, K., Matsunaka, H., Okami, M., Tanaka, R., Nakano, H., Sakai, T., Nakano, K., Ohdan, H., & Takahashi, K. (2019). Assessing Correlation of High-Resolution NDVI with Fertilizer Application Level and Yield of Rice and Wheat Crops Using Small UAVs. *Remote Sensing*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/rs11020112>
- Guebsi, R., Mami, S., & Chokmani, K. (2024). Drones in Precision Agriculture: A Comprehensive Review of Applications, Technologies, and Challenges. *Drones*, 8(11), 686. <https://doi.org/10.3390/drones8110686>
- Guzmán, J., Matuz, M., Arana, J., López, E., Gómez, V., & González, N. (2024). Avances y perspectivas de la agricultura de precisión para la sostenibilidad agrícola. *XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan*, 12(24), 1–6. <https://doi.org/10.29057/xikua.v12i24.12790>
- Herrera, J., & Hernández, J. (2020). Análisis de sanidad vegetal de cultivos próximos al distrito de riego Asudra del municipio de Ábrego – Norte de Santander, a partir de imágenes de drone. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(35), 16–25.
- Inoue, Y. (2020). Satellite- and drone-based remote sensing of crops and soils for smart farming – a review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(6), 798–810. <https://doi.org/10.1080/00380768.2020.1738899>
- Kalischuk, M., Paret, M., Freeman, J., Raj, D., Da Silva, S., Eubanks, S., Wiggins, D., Lollar, M., Marois, J. J., Mellinger, C., & Das, J. (2019). An Improved Crop Scouting Technique Incorporating Unmanned Aerial Vehicle–Assisted Multispectral Crop Imaging into Conventional Scouting Practice for Gummy Stem Blight in Watermelon. *Plant Disease*, 103(7), 1642–1650. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-18-1373-RE>
- Khaliq, A., Comba, L., Biglia, A., Ricauda Aimonino, D., Chiaberge, M., & Gay, P. (2019). Comparison of Satellite and UAV-Based Multispectral Imagery for Vineyard Variability Assessment. *Remote Sensing*, 11(4), 436. <https://doi.org/10.3390/rs11040436>
-

- Lan, Y., Huang, Z., Deng, X., Zhu, Z., Huang, H., Zheng, Z., Lian, B., Zeng, G., & Tong, Z. (2020). Comparison of machine learning methods for citrus greening detection on UAV multispectral images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171, 105234. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105234>
- Lawrance, D. (2024). Drone technology in agriculture for surveillance and inspection. *European Chemical Bulletin*, 12(12), 1253–1263. <https://doi.org/10.48047/ecb/2023.12.si12.113>
- Marcial, M., Puente, C., Sánchez, I., Rivera, M., & Jimenez, S. (2019). Estimación de la cobertura vegetal a partir de imágenes rgb obtenidas desde un dron. *Agrofaz: publicación semestral de investigación científica*, 1(Extra 1 (Nº Especial)), 102–108. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7366963>
- Mesías, G., Peña, J., Castro, A. de, Borra, I., & Dorado, J. (2024). Detección y clasificación de malas hierbas mediante drones y redes neuronales profundas: Creación de mapas para tratamiento localizado. *Revista de Ciências Agrárias*, 47(1), 331–340. <https://doi.org/10.19084/rca.34973>
- Mogili, U., & Deepak, B. (2018). Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science*, 133, 502–509. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.063>
- Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión. (2018). *Agricultura de Precisión*. INCyTU. https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-015.pdf
- Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M., Li, T., Loder, E., Mayo, E., McDonald, S., ... Alonso, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
-

- Peláez, D., Gualdrón, Ó., & Torres, I. (2024). Optimización de la evaluación de pastos mediante la implementación de imágenes multiespectrales y vehículo aéreo no tripulado. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(43), 155–162.
- Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: Un futuro de alta tecnología. *Idesia (Arica)*, 37(1), 75–84. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000402>
- Planas de Martí, S. (2018). Agricultura de precisión y protección de cultivos. *Revista de Ingeniería*, 47, Article 47. <https://doi.org/10.16924/revinge.47.3>
- Rambauth, G. (2022). Agricultura de Precisión: La integración de las TIC en la producción Agrícola. *CESTA*, 3(1), 34–38. <https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.04>
- Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017>
- Reyes, M. (2023). *Proyecto de investigación en el entorno educativo, del uso de drones para agricultura de precisión, en fotogrametría, riego y fumigación en Colombia*. 1–13. <https://doi.org/10.26507/paper.3411>
- Ríos, R. (2021a). La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1). <https://www.redalyc.org/journal/5862/586269368010/html/>
- Ríos, R. (2021b). Uso de los Drones o Vehículos Aéreos no Tripulados en la Agricultura de Precisión. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(4). <https://www.redalyc.org/journal/5862/586268743010/html/>
- Sánchez, L., Martínez, F., Torres, S., Lascano, A., & Terán, G. (2024). Agricultura de Precisión en El Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 1532–1542. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9547
-

- Srivastava, K., Pandey, P. C., & Sharma, J. K. (2020). An Approach for Route Optimization in Applications of Precision Agriculture Using UAVs. *Drones*, 4(3), 58. <https://doi.org/10.3390/drones4030058>
- Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture. *Information*, 10(11), 349. <https://doi.org/10.3390/info10110349>
- Villasís, M., Rendón, M., García, H., Miranda, M., & Escamilla, A. (2020). La revisión sistemática y el metaanálisis como herramientas de apoyo para la clínica y la investigación. *Revista alergia México*, 67(1), 62–72. <https://doi.org/10.29262/ram.v67i1.733>
- Zhang, L., Zhang, H., Niu, Y., & Han, W. (2019). Mapping Maize Water Stress Based on UAV Multispectral Remote Sensing. *Remote Sensing*, 11(6), 605. <https://doi.org/10.3390/rs11060605>
-