

La Utilización de aviones y drones en agricultura de precisión en el cultivo de caña azúcar, una revisión

The utilization of airplanes and drones in precision agriculture in sugarcane cultivation, a review

Pabel Fernando Henao-Alvarez¹

pabel.henao00@usc.edu.co

Diego Fernando Cabezas-Alzate²

esp.aplitecnodrones@usc.edu.co

¹Estudiante del programa Especialización en Aplicación y Tecnología de Drones, Facultad de Ingeniería. Universidad Santiago de Cali

²Docente Universidad Santiago de Cali, Programa Especialización en Aplicación y Tecnología de Drones, Facultad de Ingeniería. Universidad Santiago de Cali

Resumen

El uso de aviones y drones en la agricultura de precisión permite una mejor planificación y optimización de los procesos en la producción agrícola, como también potenciar el aprovechamiento de las tierras dedicadas a la agricultura en Colombia. En este documento se presenta una interpretación sobre la revisión bibliográfica e investigaciones académicas que fueron encontradas a través de las bases de datos como Scopus, Dialnet, Scielo, Redalyc y los manuales y especificaciones técnicas de las aeronaves DJI y Airtractor; sobre la utilización de aviones y sobre todo de drones en agricultura de precisión y como ha sido su desarrollo a través de la historia para llegar al contexto regional, enfatizando el análisis en el cultivo de la caña de azúcar.

Palabras Clave: Drones, aviones, agricultura de precisión (AP), Sistemas de información.

Abstract

The used of airplanes and drones in precision agriculture allows better planning and optimization of processes in agricultural production, as well as enhancing the use of land dedicated to agriculture in Colombia. This document presents an interpretation of the bibliographic review and academic research found through databases such as Scopus, Dialnet, Scielo, Redalyc and the manuals and technical specifications of the DJI and Airtractor aircrafts; on the utilization of airplanes and especially drones in precision agriculture and how it has been developed throughout history to reach the regional context, emphasizing the analysis in the cultivation of sugar cane.

Keywords: Colombia: Drones, airplanes, precision agriculture (AP), Information systems.

1. INTRODUCCIÓN

El monocultivo de la caña de azúcar, requiere de grandes extensiones en áreas donde se encuentren las condiciones climáticas y geográficas que faciliten su producción y así crear cadenas de suministros que puedan abastecer dicho cultivo (Delgadillo-Vargas, O., 2014). Esto hace necesario revisar como promover una agricultura de precisión mediante el uso de aeronaves como el drone y el avión (Pino, E. 2019), para que puedan articularse con las tecnologías ya existentes que ayudan a aumentar la producción agrícola y el cuidado del medio ambiente.

Si bien en el siglo XIX y XX se hizo uso en los procesos agrícolas de máquinas motorizadas como el tractor (Maroto Borrego, 2014) y aéreas como los helicópteros y los aviones (Bornacelly, 2002), que han contribuido al desarrollo de la agricultura; hoy en el siglo XXI con los procesos de globalización los agricultores de cada país ven la necesidad de

incursionar en el uso de otro tipo de máquinas que optimicen sus procesos agrícolas como son las aeronaves no tripuladas – drones (Orozco y Llano, 2016), es cada vez más urgente incorporar el desarrollo de la ciencia en campos como son la ingeniería electrónica, mecánica, la física, la teledetección, la informática y las telecomunicaciones en la tecnología aeroespacial aplicada al sector agrícola, en la cual desde la década de los 70 se ha venido utilizando imágenes satelitales, que en la actualidad con el uso de drones se logra mejorar su alta resolución con información en tiempo real, para el análisis de índices como (NIR), (NDVI) entre otros y la elaboración de ortofoto mosaicos Berrío et al. (2018).

Es así que, las tecnologías aéreas pueden contribuir al desarrollo agroindustrial del cultivo de la caña de azúcar, con labores más específicas que son necesarias en el desarrollo de la agricultura de precisión (AP) con procesos como el levantamiento topográfico del terreno, la obtención de índices multispectrales y la aspersión aérea (García, C., 2019), lo cual ayudaría a superar las dificultades que se presentan al momento de caracterizar geográficamente un terreno.

Es de resaltar que, el aprovechamiento de las tierras productivas es mínimo en Colombia, con índices muy parecidos a los países latinoamericanos; el aprovechamiento del potencial agrícola ha sido deficiente por el poco desarrollo tecnológico y la aplicación de procesos obsoletos en las actividades agrícolas, así como por el acaparamiento de algunos mega terratenientes que centran sus esfuerzos en la ganadería extensiva. (DANE, 2019) (PNUD, 2020), por lo que es relevante acelerar el desarrollo de un sistema de agricultura de precisión (AP).

En este artículo se presenta de manera sucinta la evolución de la producción agrícola de caña de azúcar en Colombia, se profundiza en el uso de aviones y sobre todo de drones en agricultura de precisión en el cultivo de la caña de azúcar y se deja planteado una visión a futuro de acuerdo con los aportes encontrados en los documentos de la revisión bibliográfica que se hizo, lo que permitió identificar algunas ventajas y desventajas del uso de aeronaves tripuladas y no tripuladas utilizadas en la agricultura de precisión, específicamente en este cultivo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/ METODOLOGÍA

Este documento muestra un estudio de revisión bibliográfica, aplicando la técnica de análisis documental, donde se seleccionaron artículos, investigaciones académicas, manuales, memorias de congresos, tesis de grado y páginas web que fueron encontradas a través de las bases de datos académicas como Scopus, Dialnet, Scielo, Redalyc, Google Académico, así como de información proporcionada por los fabricantes de las aeronaves en cuestión él DJI Agras T30 y él Airtractor 502B y sus respectivos manuales y especificaciones técnicas. Seguido se aplicó como filtro en la búsqueda las siguientes palabras clave: Caña de azúcar, historia de la agricultura, agricultura de precisión, fumigación aérea, uso de aeronaves en agricultura, uso de drones en agricultura, uso de aviones en agricultura.

Tabla 1. Recopilación bibliográfica categorizada por el tema de estudio.

RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA CATEGORIZADA POR EL TEMA DE ESTUDIO		
Fases	Temas de estudio	Referentes bibliográficos
Fase I	Historia de la agricultura: Colombia y los cultivos de caña de azúcar	Maroto Borrego, (2014) Becerra-Quiroz et al., (2016) Bomacelly, (2002) Herrera et al., (2015) Garzón y Luque (2018) Berrio, V., (2018) Delgadillo-Vargas, O., (2014). DANE, (2019) PNUD, (2020)
Fase II	Uso de aviones en la agricultura: Aplicación en los cultivos de caña	Ramírez-Mora et al., (2018) Bomacelly, I., (2002) Schneider, G., (2015) Airtractor, (2022) Cenicaña (2021)
Fase III	Uso de drones en la agricultura: Aplicaciones en la caña de azúcar	Garzón y Luque, (2018) Alemán-Montes et al, (2021) Aldana, E., (2021) CLAC, (2020)

		DJI, (2021) Gonzalez et al, (2015) García, C., (2019) Guillén-García et al, (2019) Rios do Amaral et al (2020) Orozco y Llano, (2016) Oviedo et al, (2021) Pérez-Sánchez et al (2017) Pino, E. (2019) Villegas, F., (2016) Villatoro, B. (2021) Yáñez-Cajo et al., (2021)
--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS

3.1 Historia de la agricultura: Colombia y los cultivos de caña de azúcar

La agricultura a través de la historia ha tenido una evolución constate, desde los primeros Homo Sapiens Sapiens que decidieron dejar de ser nómadas y establecerse en comunidades sedentarias que dieron origen a las primeras ciudades, hasta los tiempos actuales donde la demanda alimenticia es un nuevo reto cada día. Inicialmente, las técnicas de agricultura eran bastante rudimentarias, y se podían evidenciar con el uso de herramientas hechas de piedra y madera; luego, con el descubrimiento de los metales, estas se fueron mejorando con el uso de maquinaria a fuerza de tracción animal y en el siglo XIX se inicia con tractores motorizados. En el siglo XX se incursiona en las tecnologías de la agricultura de precisión (AP) que permiten mejorar la productividad de un determinado producto agrícola en un terreno (Maroto Borrego, 2014).

La introducción de la caña de azúcar en Colombia data del año de 1532, con Pedro de Heredia, para la conquista de Cartagena, se le otorgaron exenciones y prerrogativas para el primer ingenio azucarero en el país. En cuanto al Valle del Cauca fue Sebastián de Belalcázar quien introdujo la planta procedente de Santo Domingo en 1538, y ya para 1547 había grandes platanales y cañaverales en todo el Valle. Los registros permiten asegurar que la producción era sumamente limitada, pues no se contaba con mayores elementos tecnológicos para el cultivo; no es sino hasta 1864 que nace el ingenio manuelita y en 1897 que nace el ingenio Berástegui, a partir de aquí la agroindustria azucarera se empieza a desarrollar y fueron naciendo nuevos ingenios que avanzaron en la tecnificación de los procesos y el trabajo mancomunado (Delgadillo-Vargas, 2014).

En Colombia, gracias al crecimiento poblacional constante, surgió una mayor demanda alimenticia a la cual se ha dado respuesta mediante la producción a gran escala de diferentes cultivos, entre los que se destaca el caso puntual de la caña de azúcar, de la cual se derivan productos para el consumo humano y para el sector energético. Este es un cultivo que ha permitido a la región y al país entrar en la dinámica del desarrollo agroindustrial y a la competitividad de este producto en el mercado nacional e internacional. (Becerra-Quiroz et al., 2016)

En el 2002 se da un importante paso hacia la consolidación de la industria azucarera con la creación del “Clúster bioindustrial del Azúcar” conformado por trece ingenios (5 con destilerías de alcohol carburante), por doce cogeneradores de energía, más de 1.700 proveedores de caña, una productora de papel, una empresa sucroquímica, más de cuarenta empresas de alimentos, tres de gaseosas, ocho de vinos y licores y más de cincuenta proveedores especializados; todos estos ubicados a lo largo y ancho del valle geográfico del río Cauca –una de las pocas regiones del mundo que tiene cosecha durante todo el año- Los principales productos derivados de la caña son el Etanol o alcohol carburante, el azúcar(morena y blanca), la panela y papel de fibra de caña (Delgadillo-Vargas, 2014).

Es así como la producción agroindustrial de la caña de azúcar representa un renglón significativo en la economía del país y de la región, con pertinencia en las dinámicas de los procesos de globalización. La caña de azúcar representa el 3,7 % del PIB agrícola del país, es el 38,1 % del PIB agrícola del Valle del Cauca y se exporta aproximadamente 518.000

toneladas de azúcar al año (Llanos & Carvajal, 2020).

3.2 Uso de aviones en la agricultura: Aplicación en los cultivos de caña

La aviación agrícola tripulada en Colombia inicia con los aviones Piper (Pawnee) PA-18 y Streauman en el año de 1952 en el departamento del Tolima; en el 1954 llegan a Córdoba y el Cesar; posterior a eso en 1955 llegan al Valle del Cauca. Por otra parte, de forma paralela los helicópteros inician su historia en la aviación con fines agrícolas un poco más adelante en el año de 1959 (Bornacelly, 2002).

En Colombia, desde hace aproximadamente treinta años atrás, se ha venido implementando el monitoreo de distintos cultivos, mediante el uso de aviones y aeronaves tripuladas. Después, hacia la década de los 50, la fumigación de cultivos a través de aviones y helicópteros se empezó a implementar con el fin de mejorar la productividad, encontrando una barrera muy grande en cuanto al alto costo de su implementación y por el riesgo de contaminación y afectación de la fauna, flora y las poblaciones que hacen parte de todo el ecosistema (Garzón y Luque, 2018).

El uso de estas aeronaves tripuladas utilizadas en la agricultura fue aumentando de forma progresiva, tanto es así que para el año de 1976 se llega a 248 aeronaves registradas con este fin. Sin embargo, las aeronaves en esta categoría, para el año 2002 ya habían disminuido a 131 aeronaves con fines agrícolas ósea un 47% menos que la misma cifra de 1976; esto por la falta de tecnología de la época, lo que hacía que las operaciones no fueran tan eficientes y rentables. (Bornacelly, 2002) unido a una agricultura en crisis en la sociedad colombiana.

Los cultivos de caña de azúcar constituían uno de los principales monocultivos del país y se constituían como foco central de la economía, no solo a nivel nacional sino a nivel regional, más específicamente, en el Valle del Cauca. Dado esto, las tecnologías de aviación empezaron a desarrollar diferentes usos y aplicaciones ligados a la producción de este cultivo en el país, destacándose el uso inicial para la aplicación aérea de agroquímicos como plaguicidas, madurantes, fertilizantes, entre otros y también, en menor medida, en fotografía aérea de la época e inspección de los cultivos. Estos aviones empezaban a incorporar las tecnologías GPS (Global Positioning System), al igual que computadoras de vuelo para monitorear variables como la temperatura del ambiente, altitud, altura, sistema de aspersión aérea y sistemas para el reconocimiento ambiental (Schneider et al. 2015).

Con la necesidad evidente de poder desarrollar procesos más eficientes que vincularan el uso de las aeronaves tripuladas en los procesos de productividad agrícola, empezaron a desarrollarse herramientas tecnológicas más robustas, que permitieron combinar el uso de los Sistemas GPS y los Sistema de Información Geográfica (SIG) para la visualización cartográfica del terreno y la captura de datos geoespaciales y, de esta manera, potencializar la productividad de los cultivos en el país, más específicamente, de la caña de azúcar.

Estas tecnologías tuvieron un crecimiento exponencial en cuanto a su desarrollo, y los requerimientos para mejorar día a día la productividad en los cultivos de caña de azúcar era cada vez más exigentes, abriendo paso a tecnologías más avanzadas como el uso de sensores multiespectrales, capaces de estimar parámetros del suelo y del cultivo, con el fin de obtener índices de vegetación y evaluar de forma indirecta las condiciones de salud y productividad. Con esto, empieza el auge de la agricultura de precisión, siendo el cultivo de la caña de azúcar uno de los más importantes en cuanto al desarrollo y la implementación de esta tecnología (Pino, 2019).

Actualmente, la necesidad de usar imágenes captadas con sensores multiespectrales (infrarrojos) para determinar el estado de la vegetación mediante valoraciones puntuales y localizadas de los cultivos, es muy evidente (González, Amarillo, Amarillo y Sarmiento, 2015). Los mapas de suelos y de plantación que se hacen con tomas de fotografías geolocalizadas, se han convertido en parte fundamental en los procesos de agricultura de precisión, haciendo uso de sensores que capturan imágenes multiespectrales en colores rojo-verde-azul (RGB) y en infrarrojo cercano (NIR), los

sensores térmicos de proximidad para la estimación de la temperatura del suelo para los mapas de evapotranspiración (Pino, 2019) y el NDWI índice diferencial de agua normalizado que se utiliza en estudios ambientales de modelos de balance hídrico y variación climática (Villatoro, 2020).

Dado que los parámetros de calidad de las fotografías, están dadas por las condiciones de vuelo de los aviones (altura de vuelo, movimientos de la aeronave, posicionamiento espacial, escala, etc.), en ocasiones dichos parámetros no son suficientes para resolver necesidades puntuales en los cultivos de caña de azúcar, ya que se necesita poder trabajar con imágenes a menor escala que permitan detallar de mejor manera algunos parámetros de interés para la estimación de su productividad. Por lo tanto, en la última década se viene haciendo uso de drones sobre todo con el propósito de optimizar esfuerzos y costos en los procesos de producción agrícola implementando adecuados, eficientes y selectivos sistemas de irrigación, fertilización, detección de enfermedades, control de plagas y programación de cosechas entre otros.

3.3 Uso de drones en la agricultura: Aplicaciones en la caña de azúcar

La tecnología siguió avanzando para aumentar la precisión de los sistemas de geoposicionamiento y navegación satelital (GNSS) y así mejorar la precisión y la eficiencia de los procesos de aplicación en riego y fumigación a fin de dar cumplimiento a leyes como el Decreto No. 1594 del 26 de junio de 1984 donde la legislación colombiana establece franjas de seguridad para: Centros poblados por humanos o animales, cuerpos de agua y carreteras troncales. Dado lo anterior, y sumado a la necesidad de capturar y analizar información espacial de alta resolución, con fines de agricultura de precisión, nace la implementación de sistemas de teledetección donde se busca fomentar la optimización de la agricultura en todo su esplendor. (Herrera et al., 2015).

En este sentido (Parody y Zapata, 2018), muestran la necesidad de apoyarse en una herramienta tecnológica como la teledetección para enfrentar la crisis socio ambiental, lo cual se vuelve fundamental para trabajar en la agricultura de precisión que permite conocer el estado de los cultivos, mediante imágenes tomadas desde sensores remotos con mejor resolución que la satelital y a menor costo mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAVs), como una alternativa.

El uso de drones y de aviones en la agricultura y los cultivos de caña de azúcar hace posible obtener cantidad de información con cámaras que tienen bandas del espectro electromagnético para realizar estimaciones y conocer las condiciones de un terreno, mediante el análisis de índices (González et al, 2015). El uso de los drones permite calcular la proyección y el seguimiento al proceso productivo, reduciendo riesgos de inversión con gastos innecesarios, porque permite identificar zonas específicas donde sea necesario aplicar insumos de control de plagas, enfermedades o de fertilizantes para incrementar la producción y también para disminuir los riesgos de contaminación con las técnicas tradicionales y la fumigación a gran escala con aviones, que puede poner en riesgo un ecosistema Yánez-Cajo et al. (2021).

Pensadores como Parody y Zapata (2018) aclaran que el cuidado ambiental y la agricultura de precisión, van de la mano y se complementan con el apoyo de herramientas tecnológicas; explican que entre los principales cultivos en Colombia, que han utilizado la teledetección en la agricultura de precisión, se destacan además del arroz, la palma de aceite y la papa, la caña de azúcar con el uso de imágenes multispectrales de una cámara de 6 bandas desde un avión ultraliviano o desde un drone o un satélite. Esto, buscando siempre diagnosticar y evaluar el estado del cultivo, lo cual evidencia que, el uso de la teledetección desde drones está avanzando progresivamente por varios factores: tener una implementación más económica, ofrecer unas buenas imágenes con alta resolución al compararlas con la satelital o con las obtenidas con aeronaves tripuladas y, por último, poder monitorear y diagnosticar con confiabilidad los diferentes tipos de cultivos en pequeña y grandes extensiones de tierras.

Diferentes estudios han demostrado que el uso de drones ha permitido, en gran medida, monitorear y detectar fenómenos de variabilidad en los cultivos de caña de azúcar, lo que se constituye en una estrategia enfocada a mejorar la productividad en el sector azucarero, logrando estimar con gran precisión tanto la superficie como la producción de rubros agrícolas en grandes extensiones de caña de azúcar y que, el monitoreo de rubros agrícolas a través de los SIG y la Teledetección genera información oportuna que permite obtener datos sobre localización, distribución espacial, comportamiento y evolución de las plantaciones en distintos períodos de tiempo, constituyéndose en información esencial para la planificación y toma de decisiones (Guillén-García et al., 2019), (Bryan Alemán-Montes et al., 2021)

Grandes organizaciones aúnan esfuerzos para desarrollar diversos estudios centrados en la productividad y el aprovechamiento de los cultivos de la caña de azúcar; AGRONEGOCIOS: Aldana (2021) publicó su artículo, “Los drones son una inversión que brinda grandes beneficios para el agro colombiano”; TECNICAÑA: García (2019) expone diferentes perspectivas del uso de drones en los cultivos de caña de azúcar; Villegas (2016) escribió el informe “Drones: alternativa para la aspersión aérea de productos agrícolas”. También a nivel internacional se incrementa el interés por la implementación de los drones en el cultivo y la producción de caña de azúcar, como es el caso de La Coordinadora Latinoamericana y del Caribe de Pequeños(as) Productores(as) y Trabajadores(as) de Comercio Justo CLAC, como se evidencia en el artículo “Organizaciones de comercio justo usan drones para monitorear cultivos de caña de azúcar” (2020).

Para dinamizar y acelerar el uso de drones en la producción agrícola y agroindustrial, se debe implementar en comunidades de agricultores y productores, programas de formación sobre el uso de nuevas tecnologías con vehículos aéreos no tripulados “la intervención del Estado es necesaria de una forma adecuada, no solo en términos de subsidios si no en capacitación técnica de los trabajadores, de un aprovechamiento mayor de la tierra agrícola y sin lugar a duda del uso de tecnología para optimizar costos y aumentar productividad” (Garzón y Luque, 2018, p.8).

Es necesario que los usuarios del campo productivo agrícola se familiaricen con los drones, conozcan la variedad que existe en el mercado y sobre todo cuáles son los más indicados para la agricultura, además de incursionar en su uso que puede ser comprando, alquilando o contratando el servicio a una empresa especializada. Los vehículos no tripulados o drones pueden ser aéreos, terrestres o acuáticos y los hay desde los que son autónomos, monitorizados, preprogramados con un plan de vuelo o de control remoto pilotado por un técnico. De los más utilizados en la producción agrícola “son el multirroto-cuadróptero (tiempo de vuelo de 30 minutos y cobertura por vuelo de 65 ha) y el de ala fija (tiempo de vuelo de 30 a 90 minutos y cobertura por vuelo de 120 a 3.800 ha)” (Pino, 2019, p.77).

Actualmente, la productividad en los cultivos de caña de azúcar viene prescindida con el uso y la implementación de los vehículos aéreos no tripulados, en especial de los drones multirrotores “caracterizados por poseer varios rotores, tienen la capacidad de realizar despegues y aterrizajes de manera vertical al igual que los helicópteros” (Pérez-Sánchez et al., 2017, p.65). Este tipo de aeronaves no tripuladas, poseen grandes ventajas de maniobrabilidad y versatilidad, logrando obtener no solo información espacial para el monitoreo del cultivo, sino también grandes ventajas en procesos de fumigación y aspersión de fertilizantes sobre los cultivos de caña.

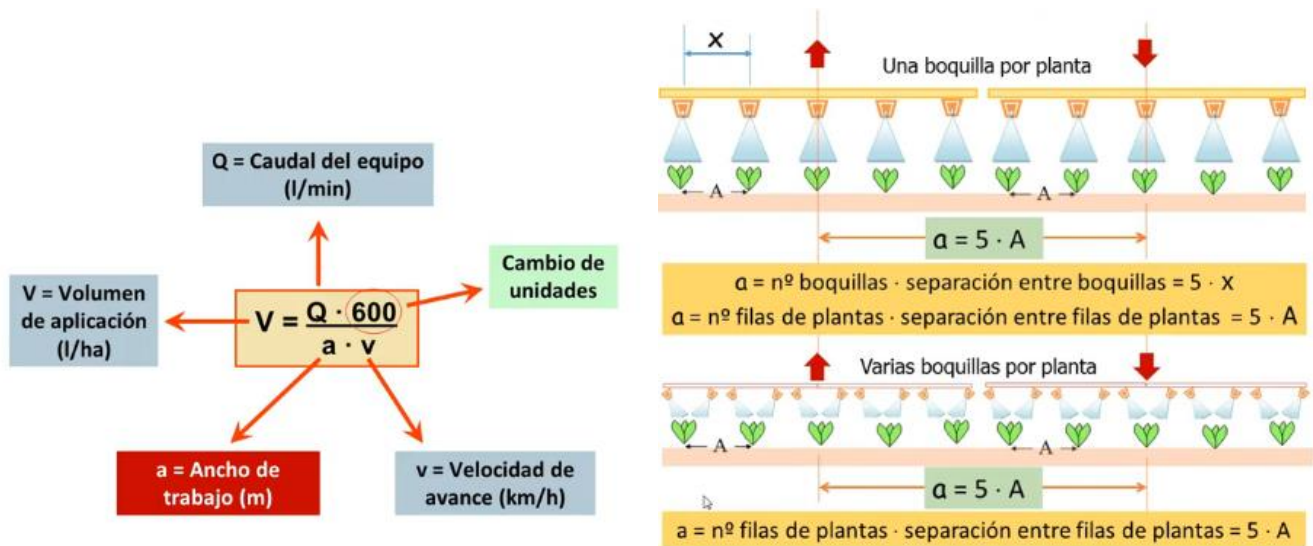
Aclarando también, lo legal cuando se entra a operar con vehículos aéreos no tripulados y sus trámites ante la Aero Civil conocida como Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) y contemplada en RESL. 04201 DIC 28 de 2018. Aunque predomina en nuestro país una falta de conocimiento en poder ejecutar para las zonas agrícolas estas nuevas tecnologías, recomiendan los autores seguir con estudios respecto a su normatividad y sobre el impacto de los drones en la mejora de la productividad porque se convierte en un reto para la época actual ante la crisis que vive el agricultor colombiano (Garzón y Luque, 2018, p.48).

3.4 Comparación entre agricultura con drones y agricultura con aviones: ventajas y desventajas

Según González et al. (2015), “Actualmente, la agricultura en todo el mundo propende por la seguridad alimentaria a futuro, razón por la cual se está en la búsqueda de tecnologías modernas”. El uso de aviones y drones en la agricultura son en la actualidad la opción adecuada, porque con el soporte de dispositivos tecnológicos permiten mediciones y la captura remota de información sobrevolando los cultivos con cámaras multispectrales que toman fotografías y graban videos de alta resolución para respaldar las decisiones que hacen posible incrementar la productividad del campo.

Haciendo énfasis en el desempeño como aparatos que ayudan en la aspersión aérea se hace necesario aclarar la formula de volumen de aplicación por hectárea se puede apreciar en la figura 1 a. donde dependiendo del agroquímico que se vaya a aplicar puede variar el litraje de caldo por hectárea (agroquímico con agua) o también conocido como volumen de aplicación por hectáreas siendo esta una formula donde intervienen variables como el caudal de equipo, ancho de trabajo o ancho de pasada que se explica más claramente en la figura 1 b y la velocidad de alcance o velocidad a la que se va trabajar.

Figura 1. (a) Formula de volumen de aplicación, (b) explicación grafica del ancho de pasada.



Fuente: <https://uma.deab.upc.edu/es/>

Actualmente, en Colombia, algunas de las aeronaves tripuladas y no tripuladas más populares con fines agrícolas son: el dron DJI agras T30 (Aeronave no tripulada) y el Airtractor 502B (Avión). En la Tabla 2, se hace evidente la gran diferencia en la capacidad de carga en el avión, 631% mayor que la del dron y un alcance en el avión de 2433 km superior en trayectos de ida y vuelta que el dron.

Figura 2. (a) Drone DJI Agras T30, (b) Avión Airtractor 502B.



Fuente: www.dji.com & www.airtractor.com

Tabla 2. Comparación con las especificaciones técnicas del fabricante del drone y el fabricante del avión.

AERONAVE	DJI agras T30	Air Tractor-502B
Capacidad de Tolva	30 Lt	500 galones (1.893 Lt)
Velocidad minima de operaciones	6 m/s (13,4 mph) (21,6 km/h)	53 mph (46 kts) (85 km/h)
Velocidad maxima	7 m/s (15,66 mph)	154 mph (134 kts)
Clase de pulverizado	pulverización oblicua	Puede varias dependiendo de la necesidad entre oblicua y lineal
Boquillas de rociado	16 boquillas	Puede varias dependiendo de la necesidad normalmente entre 44 y 66 boquillas
Operaciones remotas	hasta 5 km	998 km sumando ida y vuelta con Potencia Economía a 2438 m de altitud
Ancho de pasada	8 mt	entre 15 y 20 metros
Tiempo de vuelo	12 Min	4 horas velocidad de crucero
Hectareas fumigadas por ciclo (Despegue y aterrizaje)	0,5 - 6	36 - 378,6
Distancia para el despegue	1 Mt	347 Mt
Preción de la operación	Centimétrica	Métrica
Fuente de poder	2 baterias de 29.000 mAh con mil cilos cada una	Aviation kerosene to MIL-F-5624E / JP-4 / JP-5 con unos 644 Litros de capacidad de combustible

Fuente: www.dji.com & www.airtractor.com y elaboración propia.

Los drones se pueden utilizar en diferentes topografías de terreno como llanuras, mesetas y zonas montañosas. Sin embargo, en Colombia existen barreras que dificultan su implementación: permisos de la aeronáutica civil, el costo de la inversión sobre todo para los pequeños productores, la falta o el ineficiente acceso de energía e internet en zonas rurales, las condiciones meteorológicas de algunas regiones, el conflicto armado, entre otras (Garzón y Luque, 2018, p.48).

En la siguiente tabla número 3 se hace una comparación general para escoger la aeronave a utilizar según la actividad a realizar en esta tabla se puede apreciar de una forma estadística en qué casos es mejor el uso de drones y en que casos es mejor el uso de aviones. Para la elaboración de la misma se usaron los datos obtenidos a través del texto como los procesos fotogramétricos, fumigación hasta de 100Ha, monitorea de los cultivos cercanos, obtener las imágenes de forma más precisa y enriquecida para los posteriores posprocesamientos operacional de las imágenes para la obtención de índices donde se destacan las aeronaves no tripuladas drones, por ser más eficiente y tener un menor costo por incluso destacándose en su uso en la topografía adversa típica de la región; Sin embargo al ser una llanura amplia entre montañas y contar con numerosas cuencas hidrográficas el terreno es optimo para hacer uso de actividades aéreas tripuladas como

la fumigación o la aspersión en zonas de más de 100Ha, así como la verificación de los cultivos lejanos y cualquier operación remota con un rango mayor de 5 o 7 km donde según los autores consultados en este texto ya sería más económicamente viable las aeronaves tripuladas como aviones y helicópteros.

Tabla 3. Comparación general para escoger la aeronave a utilizar según la actividad a realizar

CONDICIONES/ACTIVIDAD A REALIZAR SOBRE EL CULTIVO	TECNOLOGÍA A USAR	
	DRONE	AVIÓN
Fotogrametría (Área < (50-100) Ha)	X	
Fotogrametría (Área > (50-100) Ha)		X
Fumigación (Área < (50-100) Ha)		X
Fumigación (Área > 50 Ha)	X	
Monitoreo general de cultivos cercanos	X	
Monitoreo general de cultivos lejanos		X
Estimación de Índices de Vegetación	X	
Control biológico	X	
Operaciones remotas		X
Versatilidad para aterrizar y despegar	X	
Capacidad de tolva		X
Precisión de operaciones	X	
Operar en topografía adversa	X	

Fuente: Elaboración propia.

4. UNA VISIÓN HACIA EL FUTURO

En la agricultura de precisión es necesario considerar el uso combinado de aeronaves tanto de aviones tripulados como de drones. Es recomendable en áreas extensas de terreno, hacer los estudios previos y el monitoreo con los sensores de drones y para la aspersión de fertilizantes o la fumigación hacer uso de aviones tripulados (Pino, 2019, p.80). Cuando el caso se trata de grandes superficies de terreno para los cultivos, es adecuado el uso de aviones tripulados para la aplicación de insumos teniendo en cuenta que corresponde a una técnica con cálculos constantes y generalizados; sin embargo, la precisión de los drones en la construcción de las evidencias fotográficas no tiene punto de comparación ni económico ni de calidad de las imágenes (Rios et al, 2020).

También se debe tener en cuenta priorizar el medio ambiente en las líneas a futuro, “Pese a la importancia de los plaguicidas en los cultivos, su uso y manejo inadecuado representa riesgos para la salud humana y la contaminación ambiental” (Ramírez-Mora et al., 2018), por lo tanto, es importante continuar explorando estrategias desde la articulación entre el uso de tecnología aérea y procesos agroecológicos que aporten a la conservación de los ecosistemas.

Es fundamental continuar realizando sobre todo estudios experimentales sobre el uso combinado de aeronaves en el cultivo de la caña de azúcar, teniendo en cuenta que cada fase del cultivo tiene unas necesidades de los procesos agrícolas diferentes como se ha explicado previamente, y también porque, es necesario analizar variables que permitan calcular menos costos y mayor rentabilidad como: el costo de operación aérea por hectárea, capacidad del vehículo aéreo, la extensión del cultivo y la topografía de la zona donde se va a realizar el procedimiento.

5. CONCLUSIONES

Se concluye que, en la mayoría de investigaciones de la última década, se plantea la transición definitiva hacia el uso de los drones en la agricultura de precisión, enfocada principalmente a la productividad de los cultivos de la caña de azúcar, por las ventajas económicas y la precisión que estos proporcionan; sin embargo, autores como Pino (2019), muestra que es favorable el uso combinado de aeronaves en áreas extensas de mono cultivos, como es el caso de la caña en el Valle del Cauca.

La articulación entre el uso de aviones y drones en agricultura de precisión, en la producción de caña de azúcar, es importante puesto que, en tiempo anticipado, se podrá identificar y monitorear los problemas que padece el cultivo mediante los diferentes índices que se obtienen con el juego de bandas multispectrales como lo mencionan la gran mayoría de los autores consultados en esta revisión; de esta manera se puede garantizar una gestión integral en este sistema productivo que por lo general funciona a gran escala.

Colombia ha venido haciendo uso de aviones con fines agrícolas desde principios de la década de los 50 del siglo pasado y ha iniciado el uso de drones en agricultura de precisión desde hace 10 años, destacándose en el cultivo de la caña de azúcar. Estas tecnologías aéreas, ofrecen las herramientas necesarias para la obtención de imágenes como pieza clave en la construcción un sistema de información geográfica a cuál se le hace la categorización de la información y así se puede dar un diagnóstico verídico del cultivo donde se reconocen sus diferentes fases; gracias a esto se puede proseguir con la aspersión aérea de los agroquímicos de una forma ágil y segura tanto a pequeña como a gran escala.

Es importante, destacar que el uso adecuado de aviones y drones en agricultura de precisión, no solamente va favorecer un cultivo, sino a todo el sistema agrícola, reconociendo las situaciones de desventaja entre el grande y el pequeño agricultor, por ello la necesidad de una política pública que fomente la masificación de estas tecnologías de uso de aviones y sobre todo de drones en agricultura de precisión en los territorios colombianos y propicie la conformación de trabajo con red de información en tiempo real, sobre los estudios de producción agrícola.

6. REFERENCIAS

- Aldana, E. (27 de enero de 2021). Los drones son una inversión que brinda grandes beneficios para el agro colombiano. Agronegocios, en: <https://www.agronegocios.co/tecnologia/los-drones-son-una-inversion-que-brinda-grandes-beneficios-para-el-agro-colombiano-3116321>
- Air Tractor, Inc. (19 de julio de 22) AT 502B Specs & Performance [Tabla de especificaciones]. <https://airtractor.com/es/aircraft/at-502b/>
- Berrío, V., Alzate, D.F., Ramón, J. A. y Ramón, J.L. (2018). Sistema de optimización de las técnicas de planificación en agricultura de precisión por medio de drones. Espacios, 39 (45). <https://www.revistaespacios.com/a18v39n45/a18v39n45p18.pdf>
- Becerra-Quiroz, A. P., Buitrago-Coca, A. L., & Pinto-Baquero, P. (2016). Sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia. Ingeniería Solidaria, vol. 12(n.º 20), pp. 133-149. doi:doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v12i20.1548>
- Bryan Alemán-Montes, B., Henríquez-Henríquez, C., Ramírez-Rodríguez, T., Largaespada-Zelaya, K. (2021). Estimación de rendimiento en el cultivo de caña de azúcar (*saccharum officinarum*) a partir de fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados (VANT). Agronomía Costarricense 45(1): 67-80. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43670175005>

- Bornacelly L., C. (2002). Técnicas de Aplicación. Revista Innovación y Cambio Tecnológico, Vol. 7((7)), 60-69. Recuperado el 15 de Julio de 2022, de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/766>
- Cenicaña. (marzo 22 de 2021). Valorando el agua en el sector de la caña de azúcar. <https://www.cenicana.org/valorando-el-agua-en-el-sector-de-la-cana-de-azucar/>
- CLAC. (11 de septiembre de 2020). Organizaciones de Comercio Justo usan drones para monitorear cultivos de caña de azúcar. <https://clac-comerciojusto.org/2020/09/organizaciones-de-comercio-justo-usan-drones-para-monitorear-cultivos-de-cana-de-azucar/>
- DJI Innovations (DJI). (2021). User manuals AGRAS T30 [manual del usuario]. <https://www.dji.com/t30/downloads>
- Delgadillo-Vargas, O., (2014). La caña de azúcar en la historia ambiental del valle geográfico del río Cauca (1864-2010) [tesis doctoral] Bogotá: Doctorado en Estudios Ambientales y Rurales, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, en: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/15735>
- Garzón, J. y Luque, F. (2018). Implementación de drones para incrementar la productividad en el agro colombiano [trabajo de grado]. Bogotá: Colegio de Estudios Superiores de Administración –CESA.
- González A., Amarillo G., Amarillo M. y Sarmiento F. (2015). Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión. Colombia: Universidad de Cundinamarca, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- García, C.E. (25 de julio de 2019). Uso de drones en el cultivo de la caña de azúcar. Tecnicaña, en: <https://tecnicana.org/uso-de-drones-en-el-cultivo-de-la-cana-de-azucar/#:~:text=El%20uso%20de%20este%20tipo,de%20clorofila%20y%20contenido%20nitr%C3%B3geno.>
- Guillén-García¹, C., Mogollón -Rojo, A., Dávila-Albarrán, M., Boscán-Árraga, K. (2019). Monitoreo de la producción de caña panelera mediante herramientas de SIG y teledetección, años 2016-2017, Mérida, Venezuela. Revista Geográfica de América Central, 2 (63). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451760313009> <https://doi.org/10.15359/rgac.63-2.9>
- Llanos, D. & Carvajal, L. (10 de febrero, 2020). Caña de azúcar: El monocultivo más grande del Valle del Cauca. *Utópicos Web 2.0*. Universidad Santiago de Cali. <http://utopicos.com.co/index.php/2013-01-31-06-37-23/module-variations/871-cana-de-azucar-el-monocultivo-mas-grande-del-valle-del-cauca#:~:text=La%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar%20es%20una%20planta%20proveniente,de%20vida%20de%20los%20habitantes%20de%20zonas%20cercanas>
- Rios do Amaral, L., Zerbato, C., Greggio de Freitas, R., Rodriguez, M., Ordine, I. (2020) UAV applications in Agriculture 4.0. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, Special Agriculture 4.0, e20207748, Ceará, Brasil: Centro de Ciências Agrárias, - Universidade Federal do Ceará. https://www.researchgate.net/publication/348762004_UAV_applications_in_Agriculture_40
- Orozco y Llano, (2016). Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. Revista Ingenierías, vol. 15, No. 28, enero-junio Universidad de Medellín, pp. 83-102 http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-33242016000100007&script=sci_abstract&tlng=es

- Oviedo, B., Silva, K. F., y Zhuma, E. (2021). Red de drones autónomos utilizando una arquitectura de red para uso alternativo de levantamiento de información agrícola a pequeña escala. *Revista Conrado*, 17(79), 69-80. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1990-86442021000200069
- Pérez-Sánchez, H. A., Benítez-Rendón, E. U. y Díaz-Rodríguez, M. (2017). Sistema de georeferenciado de imágenes con drones. *Ra Ximhai*, vol. 13, núm. 3, julio-diciembre, pp. 65-77. El Fuerte, México: Universidad Autónoma Indígena de México. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46154070004>
- Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. Chile: IDESIA V37 N° 1. pp. 75-84
- Ramírez-Mora, E., Pérez-Vázquez, A., Landeros-Sánchez, C., Martínez-Dávila, J. P., Villanueva-Jiménez, Juan A. y Lagunes-Espinoza, L. (2018). Uso histórico de plaguicidas en caña de azúcar del DR035 La Antigua, Veracruz. *Acta Universitaria*, vol. 28, núm. 4, pp. 42-49, 2018. Universidad de Guanajuato. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1644>
- Schneider, G., Solano, A., Kemerer, A. y Hadad, A. (2015) Gestión y procesamiento de imágenes aéreas de caña de azúcar [Conferencia]. En: XVII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. Salta: Red de Universidades con Carreras en Informática (RedUNCI). http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/45597/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Villegas, F. (30 de diciembre de 2016) Informe Drones: alternativa para la aspersión aérea de productos agrícolas. En: Cenicaña (2016) Carta informativa. Etanol 10 años de producción en Colombia. año 4 (3). https://www.cenicana.org/pdf_privado/carta_informativa/2016_n3/2016_n3.pdf
- Yáñez-Cajo, D., Diana Veliz, D., Mestanza, C., Jácome, G., Sánchez, E. y Prados, M.J. (2021). Tecnología aeroespacial, un avance vertiginoso global, sus aplicaciones y problemas en las Ciencias Agrícolas. *Ciencia y Tecnología*. 14(1), pp. 23-36.
- Herrera, F., Mesa, E., & Garcia, C. (29 de septiembre de 2015). Rutina computacional para la cuantificación de zonas aplicadas vía aérea en labores. Simposio Internacional SELPER 2014. Medellín: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia – CENICAÑA. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/315800827_Rutina_computacional_para_la_cuantificacion_de_zonas_aplicadas_via_aerea_en_labores_agricolas_de_precision
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE). (2019). Encuesta nacional agropecuaria (ENA). Gobierno de Colombia. En: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>
- Maroto Borrego, J. V. (2014). *Historia de la agronomía. Una visión de la evolución histórica de las ciencias y técnicas agrarias*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Naciones Unidas. (2020). Programa de las naciones unidas para el desarrollo. Panorama de la pobreza en el sector rural. Colombia. En: <https://www.undp.org/es/colombia/panorama-de-la-pobreza-en-el-sector-rural>
- Villatoro, B. (2021). Uso de índices de vegetación NDWI y MSI obtenidos de imágenes satelitales Sentinel-2 y Landsat 8 para monitoreo de humedad, como indicador de momento óptimo de cosecha en caña de azúcar. En CENGICAÑA, *Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2020 – 2021* (págs. 289-312). Guatemala: CENGICAÑA.