

Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT's) para el monitoreo y manejo de los recursos naturales: una síntesis

Use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for the monitoring and management on natural resources: a synthesis

Mario Guevara-Bonilla¹, Ana Sofía Meza-Leandro²,
Edwin Antonio Esquivel-Segura³, Dagoberto Arias-Aguilar⁴,
Andrea Tapia-Arenas⁵, Federico Masís-Meléndez⁶

Fecha de recepción: 16 de agosto de 2019
Fecha de aprobación: 9 de diciembre de 2019

Guevara-Bonilla, M; Meza-Leandro, A; Esquivel-Seguro, E; Arias-Aguilar, D; Tapia-Arenas, A; Masís-Meléndez, F. Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT's) para el monitoreo y manejo de los recursos naturales: una síntesis. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33-4. Octubre-Diciembre 2020. Pág 77-88.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i4.4528>

- 1 Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: magbo10@icloud.com.
 <https://orcid.org/0000-0003-3305-9132>
- 2 Instituto Nacional de Aprendizaje. Costa Rica. Correo electrónico: sofy.m29@gmail.com.
 <https://orcid.org/0000-0002-2894-1115>
- 3 Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: eesquivel@tec.ac.cr.
 <https://orcid.org/0000-0001-9553-060X>
- 4 Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: darias@tec.ac.cr.
 <https://orcid.org/0000-0002-3056-9172>
- 5 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: atapiaarenas@yahoo.com.
 <https://orcid.org/0000-0002-1853-0910>
- 6 Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: fmasis@tec.ac.cr.
 <https://orcid.org/0000-0003-1456-7190>



Palabras clave

Drones; sensores multiespectrales; América Latina; recursos naturales.

Resumen

El desarrollo tecnológico de los vehículos aéreos no tripulados, VANT's da acceso a nuevas aplicaciones en múltiples campos de la ciencia y la ingeniería. El uso de sensores remotos, el análisis satelital, la medición de datos en el sitio han sido las principales herramientas empleadas para la monitorización y el estudio de los recursos naturales. Los VANT's son una tecnología de bajo costo capaz de recolectar información de manera rápida y precisa, con alta resolución espacial. El objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión de las características principales y las aplicaciones de los vehículos aéreos no tripulados en el manejo de los recursos naturales, principalmente en la región latinoamericana. En este trabajo se describen los tipos de drones existentes, sus ventajas, desventajas y los diferentes tipos de sensores que se pueden adaptar. Además, se revisaron trabajos sobre VANTS realizados en Brasil, Perú y Colombia como una guía para América Latina. Se muestra una serie de posibles arreglos entre VANTS y sensores remotos. Próximamente, estos arreglos tendrán un amplio potencial de incrementar la eficiencia de adquisición de datos, incrementando su aplicabilidad en el campo del estudio de los recursos naturales. El futuro del uso de este tipo de tecnologías parece apuntar a una mayor automatización en la captura de datos, mejoras en el rendimiento de los tiempos de vuelo y sistemas automatizados con algoritmos complejos capaces de ofrecer información en tiempo real.

Keywords

Drones; multiespectral sensors; LatinAmerica; natural resources.

Abstract

The technological development of unmanned aerial vehicles (UAVs) has giving access to emerging applications in both fields of science and engineering. Using remote sensors, satellite analysis, on-site data collection, have been key tools so far for the monitoring of natural resources. UAVs is a cost-effective technology that can collect information quickly and accurately with high spatial resolution. The objective of this work was to review the main characteristics and applications of unmanned aerial vehicles in the management of natural resources with a focus on the Latin American region. This work describes types of existing drones, their advantages, disadvantages and the different types of sensors they can merge. Further, works from Brazil, Peru, and Colombia carried out on this subject were revisited as a guide for Latin America. A series of possible arrangements between UAVs and remote sensors is shown. These arrangements have a wide-open potential to increase the efficiency of data acquisition by increasing its applicability in the field of natural resources. An increase in automation of data acquisition, improvements in flight time performance and automated systems with complex algorithms capable of offering real-time information seems to be the forthcoming improvements of this technology.

Introducción

Durante la historia del desarrollo de la ciencia, la técnica y la tecnología, siempre ha sido evidente la necesidad de incorporar diferentes disciplinas para la generación de nuevos conocimientos. En el campo de los recursos naturales se hace cada vez más importante buscar soluciones a los problemas ambientales, y avanzar hacia la sustentabilidad.

El desarrollo tecnológico permite el uso de herramientas novedosas para acoplar el trabajo de la comunidad científica con el resto de la sociedad. Los profesionales en recursos naturales tienen el reto de ser innovadores y creadores de nuevos modelos, procesos de colaboración, métodos y herramientas de investigación, básica y aplicada, en temas como la agricultura, el manejo forestal, la ganadería y el uso de los recursos como el agua, el suelo y la biodiversidad.

Por mucho tiempo el uso de sensores remotos ha sido una de las principales herramientas tecnológicas para la monitorización de propiedades ambientales y de recursos naturales a partir de imágenes. Sin embargo, a pesar de su gran uso, todavía presenta barreras técnicas como lo son la obtención de información periódica (a nivel de días u horas) en áreas específicas de terreno [1].

Para enfrentar este reto se ha propuesto una alternativa la cual es la utilización de vehículos aéreos no tripulados (VANT's) o drones como se les conoce de forma popular. Los VANT's fueron desarrollados a principios del siglo XX con objetivos militares, sin embargo, no es hasta la última década en donde su utilización ha adquirido un creciente interés y se ha popularizado rápidamente, gracias a sus diferentes tamaños, formas y capacidades de operación, con un amplio espectro de aplicaciones civiles y de investigación [2], [3], mostrando así el gran potencial de este tipo de tecnología para aplicaciones ambientales y de conservación [4].

Estas plataformas operan de manera autónoma o mediante control o pilotaje remoto. Este tipo de tecnología puede aportar información muy precisa con alto nivel de detalle y a un precio bajo en comparación con otras tecnologías, por lo que su uso podría provocar un ahorro de tiempo, mano de obra y dinero [4]. Según Aguilar-Salas [5], los costos varían de acuerdo a los distintos modelos de hélices múltiples con rangos de autonomía baja, hasta modelos de ala fija con autonomía mayor, con diferentes capacidades de carga y posibilidades de instalación de sensores y otros componentes con los que estos pueden contar.

Este artículo pretende realizar una revisión acerca de los conceptos y características básicas de los vehículos aéreos no tripulados así como de las principales aplicaciones de los mismos en el manejo de recursos naturales con enfoque en América Latina.

Vehículos aéreos no tripulados como plataforma de teledetección

Tipos de drones

Pádua et al [6] mencionan que esta tecnología permite obtener información en múltiples aplicaciones gracias a la amplia gama de equipos existentes, los cuales se pueden clasificar según su tamaño en micro y mini VANT's: de ala fija o multi-rotor, que cuentan con distintas ventajas de implementación en diferentes entornos o tareas específicas. Por su parte, [1] clasificaron los drones en dos categorías de acuerdo con las técnicas de despegue y aterrizaje: los aviones no tripulados de ala fija (aviones) los cuales tienen características de despegue y aterrizaje horizontal, y las aeronaves de rotor o drones de ala giratoria (helicópteros y autogiros) que realizan el despegue y aterrizaje de forma vertical (figura 1). Asimismo, mencionan que los drones de ala fija requieren de una pista para despegar y aterrizar, mientras que los equipos más pequeños pueden hacerlo manualmente o utilizando soportes terrestres.

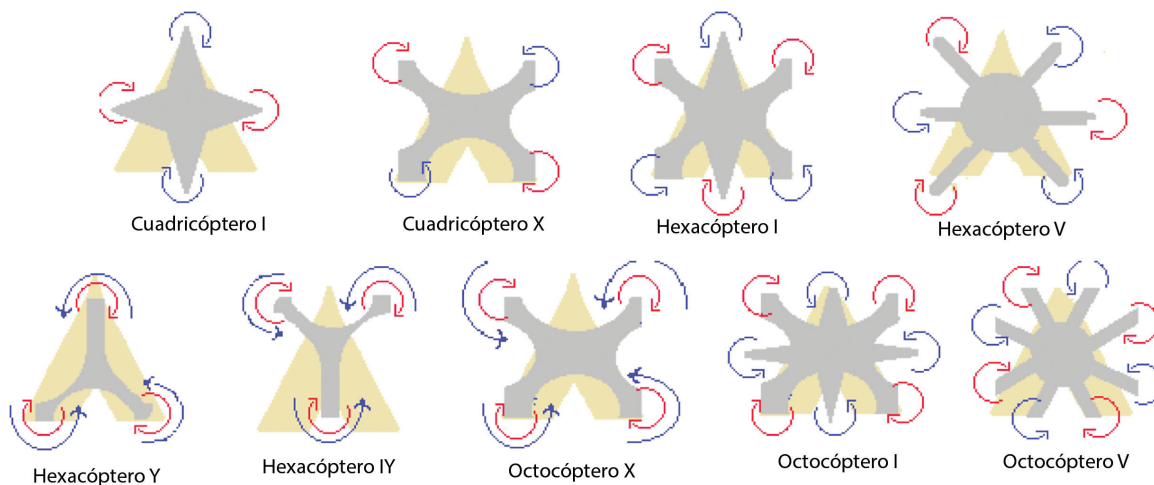


Figura 1. Ejemplos de multirrotores con diferentes tipos de configuración de brazos. Fuente: [1].

Ventajas y desventajas

[6] reconocen que las nuevas tecnologías mejoran continuamente en términos de resolución espacial, espectral y temporal, sin embargo, cada una de ellas tiene beneficios y limitaciones en cuanto a factores operacionales, tecnológicos y económicos.

Autores como [4], [1], [2], [6] y [7] mencionan que entre las ventajas que presentan los VANT's se encuentran: el proporcionar una alta resolución temporal gracias a la facilidad de repetición de los vuelos, un menor costo operativo para proyectos pequeños, recopilación de datos de alta precisión y buena resolución espacial puesto que al operar a baja altura generan poca interferencia atmosférica y no se ven afectados por la nubosidad, no se presentan riesgos humanos para la tripulación al usar este tipo de tecnología y muestran gran facilidad de uso para operadores no especializados.

En cuanto a las limitaciones, este tipo de tecnología presenta poca cobertura, podría mostrar restricciones de operación debido a las regulaciones de cada país, es sensible a las condiciones ambientales adversas y muestra dificultad para reconstruir o procesar imágenes de áreas muy homogéneas [6]. Adicionalmente los pilotos deben estar capacitados para hacer que el equipo vuele de la mejor manera [8], y existen limitaciones en cuanto al equipo de cómputo requerido para el procesamiento adecuado de las imágenes capturadas [7].

Sensores que se pueden usar

Existe en el mercado variedad de sensores que pueden ser utilizados en los vuelos para la adquisición de datos, entre ellos se destacan dos tipos de sensores: activos tales como los LIDAR, radio detección y RADAR y por otra parte los sensores pasivos que incluyen cámaras RGB, cámaras de infrarrojo cercano (NIR), cámaras térmicas y sus combinaciones multiespectrales e hiperspectrales [9].

Sensores RGB: los sensores de luz visible permiten captar imágenes perceptibles por el ojo humano, además de que los sensores RGB (Red, Green, Blue) utilizados en drones son capaces de capturar imágenes en alta resolución [6]. De acuerdo con [10], el sensor RGB se utiliza para realizar labores de inspección visual, modelos de elevación del terreno y conteo de plantas.

Sensores infrarrojos: La radiación infrarroja (IR) se emite desde una fuente de calor y se propaga de manera muy similar a la luz. El espectro infrarrojo cubre longitudes de onda mayores al

espectro de luz visible que abarca de 400 a 800 nm. Por ejemplo el infrarrojo cercano, NIR, entre 780 nm a 2500 nm e infrarrojo lejano, FIR, entre 15 μm a 1000 μm . Los límites entre lo visible y el NIR, en un extremo, y entre el FIR y las microondas no son precisas y están abiertas a diferentes interpretaciones [11] Según [6] la región espectral del NIR representa donde se produce la reflectancia de la planta, siendo así importante para el análisis de la vegetación en las aplicaciones agroforestales, ya que cuando una planta está saludable y en constante crecimiento la producción de energía a partir de la fotosíntesis reflejará más la región del NIR.

El infrarrojo cercano (NIR) se utiliza para detectar propiedades de los suelos de forma remota como el análisis de humedad y estrés por deficiencia de nutrientes [10]. Además, es posible estudiar propiedades más complejas como el área superficial específica [12], el contenido de carbono orgánico [13] y la hidrofobicidad [12].

Sensores multiespectrales e hiperespectrales: [14] menciona que mientras los sensores multiespectrales son capaces de dividir el espectro electromagnético en pocas bandas o porciones espectrales (baja resolución espectral), los sensores hiperespectrales puede registrar cientos de bandas contiguas en diversas dimensiones del espectro electromagnético (alta resolución espectral), permitiendo así obtener mayor nivel de detalle en la curva del comportamiento espectral de gran cantidad de coberturas o elementos de la superficie terrestre para lograr con mayor precisión su identificación.

En el área de los recursos naturales el procesamiento de imágenes hiperespectrales permite estimar la degradación y salinidad de los suelos [14], [15], realizar estudios de patrones espectrales de coberturas y especies vegetales asociados a propiedades fisiológicas [16] y estructurales de las plantas, así como factores ambientales, fenológicos [17] y antropogénicos [18]. Asimismo, permiten obtener mediciones de follaje y cobertura, de fracción de radiación fotosintéticamente activa, empleo de modelos de radiación del dosel vegetal y el cálculo de índices de vegetación; han permitido el desarrollo de índices de propiedades fisiológicas vegetales como vigor, senescencia y estado hídrico, así como la identificación de tipos específicos de coberturas y especies vegetales, plagas y enfermedades, y áreas susceptibles a incendios que no son posibles por medio de imágenes multiespectrales.

Sensores LIDAR (Light Detection and Ranging): Este se trata de un sistema que mide la distancia del sensor a un punto en el terreno a partir del tiempo que tarda el rayo de luz en alcanzar el suelo y regresar al sensor en el VANT, el cual cuenta con la capacidad para obtener una serie de puntos del terreno y sus coordenadas. En el ámbito forestal, los sensores LIDAR se pueden utilizar en áreas de plantaciones para estimar el volumen de madera y el diámetro del tronco y, además, es posible estudiar la estratificación vertical de la vegetación y la biomasa [19].

Sensores especializados: dado que la tecnología de los drones ha estado más accesible, se han llevado a cabo estudios en diferentes áreas donde ha sido posible incorporar sensores especializados. [20] utilizaron sensores especiales para la detección de gases contaminantes en la atmósfera, mientras que [21] también colocaron a bordo sensores especializados para detectar gases presentes durante una actividad eruptiva. También se ha reportado el uso de instrumentos especializados para la toma de datos meteorológicos a bordo de drones [22].

Aplicaciones de los drones en el monitoreo y manejo de recursos naturales

El uso de este tipo de tecnología ha permitido su aplicación en actividades que van desde las recreativas hasta en investigación. A nivel de recursos naturales se pueden mencionar, entre otras, las siguientes aplicaciones:

Agricultura

La agricultura de precisión y el uso de los drones en labores agrícolas son cada vez más implementadas por los agricultores. Esto se debe a la gran capacidad con la que cuenta esta tecnología para captar información de los cultivos de manera precisa y sin estar en contacto con ella, permitiéndoles así ayudar en la toma de decisiones. Las imágenes capturadas con los drones permiten realizar gestiones hídricas, fertilización, detección de enfermedades y cosechas selectivas, así como generación de mapas agronómicos que muestran los problemas y avances de los cultivos [23].

El empleo de drones en la agricultura ha permitido realizar modelos tridimensionales del terreno, planificar el establecimiento, la producción y el monitoreo de cultivos, detectar plagas, enfermedades, deficiencias nutricionales [5], así como realizar estimaciones de volumen, crear modelos de irrigación y drenaje, y detectar otros cambios en los cultivos que de otra manera no son visibles para el ojo humano [24]. Austin [11] menciona que los vehículos aéreos no tripulados son utilizados en agricultura para el monitoreo de cultivos, puesto que es posible utilizar cámaras infrarrojas y de color para detectar la aparición de alguna enfermedad a través de cambios en el color en los cultivos. También usados para la siembra y fumigación de cultivos, como por ejemplo en Japón, en donde se utilizan los VANT's para sembrar arroz y fumigar posteriormente el cultivo. Berrío-Meneses *et al.* [10] mencionan que la implementación de los drones se plantea como alternativas de manejo, monitoreo y control de los cultivos agrícolas en diferentes etapas de su desarrollo con el fin de mejorar la producción y disminuir costos.

Forestal

[5] menciona que en el sector forestal se han logrado observar diversas aplicaciones para el uso de drones como el conteo y medición de árboles, monitoreo del estado de bosques y plantaciones forestales, caracterización del uso de la tierra, estudios de fotointerpretación, identificación de especies, estado fitosanitario de los individuos y evaluación del estrés hídrico de la cobertura vegetal.

Por su parte, [2] encontraron diversos estudios que muestran ejemplos de las aplicaciones de los VANT's para la planificación y manejo forestal sostenible, estudios de dinámica y estructura del bosque, determinación de volumen, mapeo, detección de infestación de plagas, conteo de árboles y determinación de altura del dosel. Además de otras actividades con gran potencial de desarrollo en el futuro con el avance de esta tecnología como lo son la detección de especies en rodales, evaluación de la perturbación de los bosques, identificación de brechas en los claros como indicadores de biodiversidad [25], entre otros.

Koh & Wich [4] en su estudio lograron detectar con el uso de esta tecnología, distintas actividades humanas que afectan los recursos naturales como lo son los incendios forestales y la tala de árboles.

Desastres naturales

Los drones muestran un gran potencial para la obtención de datos en zonas afectadas por los desastres naturales. De acuerdo con [26], evaluar los daños en situaciones de emergencia como por ejemplo el sismo ocurrido en setiembre del 2017 en Tehuantepec, México, conlleva muchos esfuerzos, costos y tiempo. Es por esto que este tipo de tecnología, al sobrevolar las zonas de difícil acceso, permite obtener información para evaluar los daños en las edificaciones afectadas sin poner en riesgo la vida de quien realice la labor. También es útil para elaborar mapas de zonas de riesgo y rutas para suministrar donativos a los damnificados, y ubicar edificios derrumbados o bloqueos en las carreteras.

Yuan, Liu & Zhang [27] propusieron un método que utiliza imágenes RGB y patrones de movimiento para detectar incendios forestales. Los autores afirman que una combinación de este método con otras técnicas podría disminuir la tasa de falsos positivos. Con este tipo de metodologías se podría detectar focos de incendio incipientes para una rápida atención del mismo, a la vez que puede ofrecer información relevante en la toma de decisiones respecto al manejo y adecuada atención de un siniestro.

Vida silvestre

En este campo de aplicación, [4] lograron identificar la ubicación actual de los animales para el monitoreo de especies de fauna silvestre con el fin de obtener información que ayude a detallar sobre su comportamiento, distribución, abundancia, hábitat y utilización de los recursos.

Han, Yoo & Kwon [28] utilizaron diferentes modelos de drones para el monitoreo de aves acuáticas y su entorno, estableciendo una metodología diferente en términos del conteo e identificación de aves. En su estudio pudieron determinar alturas de vuelo óptimas para el dron y mejoras en la toma de datos a través de lentes que permitieran un mejor enfoque para facilitar la identificación de las aves. Ivosevic, Han y Kwon [29], llevaron a cabo un estudio similar, pero con mariposas. Ellos utilizaron un dron comercial de bajo costo para el monitoreo de la especie *Libythea celtis*, obteniendo resultados promisorios en el uso de esta tecnología para el monitoreo de fauna.

Aguas y ríos

Existe un gran potencial de aplicación de este tipo de tecnología para el monitoreo de corredores ribereños para estimar la posible extensión de crecida de los ríos sobre su propio lecho comparando fotografías aéreas del sitio de las estaciones seca y lluviosa [5].

Zhao *et al.* [30] presentan un método innovador que integra el uso de drones y monitoreo en campo para estimar el índice e-flow, utilizado para conocer respecto al manejo sostenible del agua. En dicho estudio se obtuvo estimaciones que demuestran las capacidades del uso de drones para investigación aplicada. Por su parte, [31] desarrollaron una metodología para la detección rápida de los efectos geomorfológicos ante situaciones de inundación mediante el análisis de productos derivados de vuelos con drones.

También se ha utilizado esta tecnología para el monitoreo de la morfología de ríos y la erosión en las riberas [32]. [33] utilizaron diferentes sensores a bordo de un dron para estimar niveles de agua en ríos y lagos, obteniendo resultados satisfactorios; un estudio similar se llevó a cabo en México [34].

Geología

Desde el punto de vista geológico, el uso de los drones muestra gran variedad de ventajas gracias a que pueden ser utilizados en zonas de difícil acceso y a las distintas tecnologías que se les pueden incorporar, puesto que permite obtener información de afloramientos, cálculo y análisis de parámetros de la superficie terrestre, estudiar las formas del terreno, obtener ortofotografías y modelos digitales de la topografía con alta resolución que son de gran utilidad para conocer los procesos geológicos, entre otras [35].

Otras actividades

Algunos ganaderos han encontrado utilidad en este tipo de tecnología para el monitoreo y conducción de rebaños, ubicación de ganado y verificación de cercas [11]. Además, administradores pesqueros han visto beneficios en los drones para reducir tiempos y costos en patrullaje, así como método de disuasión y captura de embarcaciones ilegales de pesca en aguas protegidas [24].

Esta tecnología también se ha utilizado para estimar la erosión a través del análisis temporal de Modelos de Elevación Digital generados en vuelos con drones [36]. Obanawa & Hayakawa [37] estudiaron el impacto de las olas del mar versus el de movimientos telúricos sobre acantilados próximos al mar a través del análisis multitemporal de mediciones topográficas a bordo de drones y en tierra, llegando a sugerir que la erosión producto del oleaje es mayor que el provocado por movimientos telúricos.

El uso de drones para llevar a cabo análisis comparativo para el monitoreo en las costas ha demostrado tener un gran potencial a través de la generación de modelos de superficie [38]. Esto ha tenido gran relevancia para conocer el impacto de cambio climático en estas zonas.

Aplicaciones de VANT's: Ejemplos de aplicación en América Latina

A pesar de que en regiones como Europa o Asia la cantidad de trabajos científicos enfocados en el uso y aplicaciones de los VANT's es extenso y ha sido bien documentado, el desarrollo de aplicaciones en la región de América Latina es incipiente y la mayoría de estudios se concentran en cuatro países: Brasil, Perú, Colombia y Costa Rica. Los estudios científicos realizados hasta el momento se han enfocado principalmente en el campo forestal y agronómico.

En Brasil en el trabajo de [39] en el cual desarrollaron un marco de referencia para poder planificar vuelos de una manera más eficiente con el fin de detectar las áreas donde existen individuos de eucalipto enfermos. El estudio realizado por [40], en dos de los sitios de estudio en Paraná, Brasil, plantación de eucalipto joven y plantación adulta de eucaliptos y pinos, aseguraron haber desarrollado una herramienta que permite detectar automáticamente árboles individuales en conjuntos de datos obtenidos de vehículos aéreos no tripulados (UAV) obteniendo resultados satisfactorios en distintos tipos de bosque. En este estudio también se comprobaron los resultados de esta herramienta en bosque natural.

También en Brasil, se integró el uso de imágenes provenientes de drones y datos de campo para estudiar cómo ha impactado la actividad humana a la biodiversidad en la Amazonía [41]. Otro caso de utilización de VANT's es el descrito por [42], quienes en un cultivo de azúcar analizaron imágenes tomadas por un vehículo aéreo no tripulado con un sistema de reconocimiento de patrones para identificar especies con niveles de infestación bajo, ya que el vuelo con esta tecnología se realiza a baja altura y no se ve afectado por las nubes. Ellos mencionan algunos factores que afectan la productividad de azúcar tiene como lo son la presencia y tipo de maleza, la extensión del terreno, tipo de herbicidas y la dosificación de los productos fitosanitarios.

Algunas comunidades indígenas de Panamá han usado la tecnología de los drones para la protección y conservación de los recursos naturales documentando la ocupación y conversión de las zonas boscosas y la tala ilegal mediante el monitoreo de las tierras en territorios indígenas [43].

Berrío-Meneses *et al.* [10] enfocaron su estudio en el uso de drones como una herramienta de planificación en agricultura de precisión para el diagnóstico temprano de problemas fisiológicos en el desarrollo del cultivo de papa en Cundinamarca, Colombia. Evaluaron los problemas que se presentan en el desarrollo del cultivo mediante la utilización de VANT's y su respuesta espectral en imágenes de infrarrojo cercano (NIR). Esta respuesta permitió identificar características específicas de la vegetación, desarrollo y problemas en el cultivo, por lo que consideraron a los drones como una herramienta tecnológica alternativa para pequeños y grandes agricultores que permite identificar problemas y tomar medidas para optimizar el desarrollo de sistemas productivos.

En Colombia [20] realizaron un estudio sobre contaminantes atmosféricos utilizando sensores a bordo de un dron. Encontraron información interesante sobre las diferencias en concentración de gases a diferentes altitudes (Cárdenas et al, 2018). A pesar de que el estudio se hizo de manera puntual, promete ser una metodología replicable para estudiar la concentración de gases de efecto invernadero en la tropósfera.

También en Colombia se llevó a cabo un estudio en el cultivo del arroz, donde se pudo combinar imágenes de alta resolución espacial de una cámara RGB con información multiespectral de baja resolución espacial con el fin de identificar malezas [44]. La metodología empleada para poder combinar la información de ambas cámaras permitió una mejor detección de las áreas afectadas por la maleza en este cultivo (Barrero & Perdomo, 2018).

Baena *et al.* [41] mencionan un proyecto que se llevó a cabo al norte de Perú enfocado a la conservación de bosques de *Prosopis pallida*. Las imágenes multiespectrales, captadas a través de drones, ofreció la información necesaria para enfocar los esfuerzos de restauración ya que se pudo hacer un análisis espacial de distribución y abundancia de individuos en el área de estudio.

Al sur de Perú un análisis de imágenes de alta resolución de drones ayudó a establecer una red para la protección de relictos de bosque importantes para mantener la disponibilidad de material genético para la restauración [41]. El uso de las imágenes proveyó información referente a la identificación y cuantificación de árboles madre y su salud .

También en Perú, [22] llevaron a cabo un estudio donde se desarrolló un modelo de dron para el monitoreo de temperatura, viento y turbulencia en la capa atmosférica baja (entre 0 y 1300 msnm). En dicho estudio se pudo obtener información precisa para poder plantear de modo general algunos aspectos relevantes sobre el comportamiento de esas variables atmosféricas en la zona de estudio [22]. Quizás las conclusiones más relevantes de este estudio residen en el hecho de saber que se puede obtener información precisa y de calidad a través de una monitorización continua con un dron de bajo costo.

En México, [34] llevaron a cabo un estudio en el cual se pudo obtener datos de la profundidad del agua y mediciones de batimetría a través de información proveniente de drones. Permitiendo así, conocer el comportamiento de las lagunas y cenotes conectados a través de cavernas sumergidas y flujo difuso en la Península de Yucatán.

En Costa Rica el uso de vehículos aéreos no tripulados se ha enfocado en mejorar procesos productivos en los campos agrícola y forestal. Los esfuerzos encontrados son a nivel experimental y son enfocados en los siguientes aspectos:

- a) Uso de la tierra, monitoreo de actividades y cálculo de áreas: A partir de VANT´s se ha obtenido información precisa a partir de sensores especializados y se ha integrado al sistema de monitoreo en tierra [21].
- b) Conteo de árboles: A partir de las imágenes realizadas y de la creación de nubes de puntos se desarrolló un algoritmo que permite el conteo de árboles en plantaciones recién establecidas. Esta herramienta fue desarrollada en conjunto con las escuelas de Ingeniería Forestal, Electrónica y Computadores y permitiría realizar muestreos para determinar la mortalidad inicial en el establecimiento de plantaciones cubriendo mayores áreas de forma más rápida (figura 2).



Figura 2. Conteo de árboles de Melina de 5 meses de edad por medio de una interpretación algorítmica de una ortofoto tomada con un dron Mavic Pro, Los Chiles, Costa Rica.

- c) Estimación de alturas: A partir del modelo digital de superficie y del modelo digital de elevación, se puede generar un modelo de altura del dosel que permite estimar las alturas de los árboles.
- d) Cuantificación de la erosión: Arriola *et al.* [45] desarrollaron una metodología que posibilita la cuantificación de erosión a partir de una base de datos de modelos de elevación digital con alta resolución espacial y temporal.

Conclusiones

En este artículo presentamos las características principales, las ventajas y desventajas de utilizar vehículos aéreos no tripulados para el monitoreo y manejo de los recursos naturales. La aplicación de esta tecnología en el manejo de los recursos naturales se ha extendido debido al bajo costo del equipo, su fácil manejo y su versatilidad. Los drones tienen un amplio potencial de incrementar la eficiencia de adquisición de datos para el uso en las distintas aplicaciones en el campo de los recursos naturales, sin embargo, se debe investigar aún más puesto que muchos estudios se encuentran en fase experimental.

Serán cada vez más los ejemplos y la investigación aplicada en los diferentes campos del manejo de los recursos naturales a medida que la tecnología se vaya desarrollando y esté disponible a mayor cantidad de personas.

El futuro del uso de este tipo de tecnologías parece apuntar a una mayor automatización en la captura de datos, mejoras en el rendimiento de los tiempos de vuelo y sistemas automatizados con algoritmos complejos capaces de ofrecer información en tiempo real.

Referencias

- [1] L. Tang y G. Shao, «Drone remote sensing for forestry research,» *Journal of Forestry Research*, 2015.
- [2] T. Banu, G. Borlea y C. Banu, «The use of drones in Forestry,» *Journal of Environmental Science and Engineering*, pp. 557-562, 2016.
- [3] I. Colomina y P. Molina, «Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review,» *Journal of photogrammetry and remote sensing*, n° 92, pp. 79-97, 2014.
- [4] L. Koh y S. Wich, «Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation,» *Tropical Conservation Science*, vol. II, n° 5, pp. 121-132, 2012.

- [5] L. Aguilar, «Evaluación de bosques tropicales mediante el uso de tecnología VANT,» *Revista Germinar*, n° 19, pp. 14-15, 2016.
- [6] L. Pádua, J. Vanko, J. Hruska, T. Adao, S. JJ, E. Peres y R. Morais, «UAS, sensors and data processing in agroforestry: a review towards practical applications,» *International Journal of Remote Sensing*, n° 38, pp. 2349-2392, 2017.
- [7] S. Arriola-Valverde, A. Ferenz-Appel y R. Rimolo-Donadio, «Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos autónomos no tripulados,» *InvestigaTEC*, n° 31, pp. 09-12, 2018.
- [8] A. Méndez, J. Vélez, F. Scaramuzza y D. Villaroel, «Los drones como herramienta para el monitoreo de cultivos,» *Revista de la bolsa de comercio de Rosario*, n° 1524, pp. 6-10, 2015.
- [9] J. Richards y X. Jia, *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer, 2006.
- [10] V. Berrío-Meneses, J. Mosquera y D. Alzate, «Uso de drones para el análisis de imágenes multispectrales en agricultura de precisión,» *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, n° 13, pp. 28-40, 2015.
- [11] R. Austin, *Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment*, United Kingdom, 2010.
- [12] M. Knadel, F. Masis-Meléndez, L. Wollensen de Jonge, P. Moldrup, E. Arthur y M. Humlekrog Greve, «Assesing soil water repellency of a sandy field with visible near infrared spectroscopy,» *Journal of near infrared spectroscopy*, n° 24, pp. 215-224, December 2015.
- [13] M. Seidel, C. Hutengs, B. Ludwig, T.-B. Soren y M. Vohland, «Strategies for the efficient estimation of soil organic carbon at the field sclae with vis-NIR spectroscopy: Spectral libraries and spiking vs. local calibrations,» *Geoderma*, n° 354, pp. 1-13, 2019.
- [14] M. Peña, «Sensores hiperespectrales: Los últimos avances en teledetección,» *Ecoamerica*, vol. 7, n° 66-70, 2007.
- [15] J. Hu, J. Peng, Y. Zhou, D. Xu, R. Zhao, Q. Jiang y T. Fu, «Quantitative estimation of soil salinity using UAV-borne hyperspectral and satellite multispectral images,» *Remote Sensing*, vol. 11, n° 7, 2019.
- [16] G. Blackburn, «Hyperspectral remote sensing of plant pigments,» *Journal of experimental botany*, vol. 58, n° 4, pp. 855-867, 2007.
- [17] B. Cole, J. Mcmorrow y M. Evans, «Spectral monitoring of moorland plant phenology to identify a temporal window for hyperspectral remote sensing of peatland,» *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 90, pp. 49-58, 2014.
- [18] A. Maliki, G. Owens y D. Bruce, «Capabilities of remote sensing hyperspectral images for the detection of lead contamination: a review,» *ISPRS Annals of the photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. I, n° 7, pp. 55-60, 2012.
- [19] E. Orfanó Figuereido, M. V. Neves d'Oliveira, E. Muñoz Braz, D. d. A. Papa y P. Fearnside, «LIDAR-based estimation of bole biomass for precision management of an Amazon forest: Comparisons of ground-based and remotely sensed estimates,» *Remote Sensing of Environment*, vol. 187, pp. 281-293, 2016.
- [20] A. Cárdenas, L. Rivera, B. Gómez, G. Valencia, H. Acosta y J. Correa, «Short communication: Pollution-and-greenhouse gases measurement system,» *Measurement*, vol. 129, pp. 565-568, 2018.
- [21] J. A. Díaz, D. Pieri, K. Wright, P. Sorensen, R. Kline-Shoder, R. Arkin, M. Fladeland, G. B. M. F. Bland, C. Ramírez, E. Corrales, A. Alan, O. Alegría y D. Díaz, «Unmanned aerial mass spectrometer system for in-situ volcanic plume analysis,» *Journal of The American society for Mass Spectrometry*, vol. 26, n° 2, pp. 292-304, 2015.
- [22] B. Balsley, D. Lawrence, R. Woodman y D. Fritts, «Fine-scale characteristics of temperature, wind, and turbulence in the lower atmosphere (0-1300 m) over the south Peruvian coast.,» *Boundary-Layer Meteorology*, vol. 147, n° 1, pp. 165-178, 2013.
- [23] A. González, G. Amarillo, M. Amarillo y F. Sarmiento, «Drones aplicados a la agricultura de precisión,» *Revista especializada en Ingeniería*, vol. 10, pp. 23-27, 2017.
- [24] F. Greenwood, «Drones en el horizonte: la nueva frontera de la innovación agrícola,» *ICT update*, n° 82, pp. 2-4, 2016.
- [25] L. Tang y G. Shao, «Drone remote sensing for forestry research and practices,» *Journal of Forestry Research*, vol. 26, n° 4, pp. 791-797, 2015.
- [26] S. George, G. Reyes, D. Rondón, A. Huechacona, P. Moctezuma y S. Proust, «Mapeando el desastre: Uso de drones para la ubicación y evaluación de daño después de un sismo de alta magnitud en el sureste de México,» *Desde el Herbario CICY*, n° 9, pp. 222-227, 2017.

- [27] C. Yuan, Z. Liu y Y. Zhang, «Aerial images-based forest fire detection for firefighting using optical remote sensing techniques and unmanned aerial vehicle,» *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 88, pp. 635-654, 2017.
- [28] Y.-G. Han, S. H. Yoo y O. Kwon, «Possibility of applying unmanned aerial vehicle (UAV) and mapping software for the monitoring of waterbirds and their habitats,» *Journal of Ecology and Environment*, vol. 41, pp. 21-27, 2017.
- [29] B. Ivosevic, Y.-G. Han, S. H. Yoo y O. Kwon, «Monitoring butterflies with an unmanned aerial vehicle: current possibilities and future potentials,» *Journal of Ecology and Environment*, vol. 41, pp. 12-21, 2017.
- [30] C. Zhao, C. Zhang, S. Yang, C. Liu, H. Xiang, Y. Sun, Z. Yang, Y. Zhang, X. Yu, N. Shao y Q. Yu, «Calculating e-flow using UAV and ground monitoring,» *Journal of Hydrology*, vol. 552, pp. 351-365, 2017.
- [31] K. Langhammer y T. Vacková, «Detection and mapping of the geomorphic effects of flooding using UAV photogrammetry,» *Pure and Applied Geophysics*, vol. 175, n.º 9, pp. 3223-3245, 2018.
- [32] S. Hemmeler, W. Marra, H. Markies y S. De Jong, «Monitoring river morphology and bank erosion using UAV imagery- A case study of the river Buech, Hautes-Alpes, France,» *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 73, pp. 428-437, 2018.
- [33] F. Bandini, J. Jakobsen, D. Olesen, J. A. Reyna-Gutierrez y P. Bauer-Gottwein, «Measuring water level in rivers and lakes from lightweight Unmanned Aerial Vehicles,» *Journal of Hydrology*, vol. 548, pp. 237-250, 2017.
- [34] F. Bandini, A. López-Tamayo, G. Merediz-Alonso, D. Olesen, J. Jakobsen, S. Wang, M. García y P. Bauer-Gottwein, «Unmanned aerial vehicle observations of water surfaces elevation and bathymetry in the cenotes and lagoons of the Yucatán Peninsula, Mexico,» *Hydrology Journal*, vol. 26, n.º 7, pp. 2213-2228, 2018.
- [35] J. Fernández-Lozano y G. Gutiérrez-Alonso, «Aplicaciones geológicas de los drones,» *Revista de la Sociedad Geológica de España*, vol. 29, n.º 1, pp. 89-105, 2016.
- [36] N. Pineux, J. Lisein, G. Swerts, C. Bielders, P. Lejeune, G. Colinet y A. Degre, «Can DEM time series produced by UAV be used to quantify diffuse erosion in an agricultural watershed?,» *Geomorphology*, vol. 280, pp. 122-136, 2017.
- [37] H. Obanawa y Y. Hayakawa, «Variations in volumetric erosion rates of bedrock cliffs on a small inaccessible coastal island determined using measurements by an unmanned aerial vehicle with structure-from-motion and terrestrial laser scanning,» *Progress in Earth and Planetary Science*, vol. 5, n.º 1, pp. 33-42, 2018.
- [38] A. Clark, «Small unmanned aerial systems comparative analysis for the application to coastal erosion monitoring,» *GeoResJ*, vol. 13, pp. 175-185, 2017.
- [39] K. Vivaldini, T. Martinelli, V. Guizilini, J. Souza, M. Oliveira y F. Ramos, «UAV route planning for active disease classification,» *Autonomous robots*, vol. 43, n.º 5, pp. 1137-1153, 2019.
- [40] A. Klein-Hentz, A. Dalla Corte, S. Péllico, M. Strager y E. Schoeninger, «Tree detection: automatic tree detection using UAV-based data,» *Floresta*, vol. 48, n.º 3, pp. 393-402, 2018.
- [41] S. Baena, D. Soyed y J. Moat, «UAV's pursuit of plant conservation-real world experiences,» *Ecological informatics*, vol. 47, pp. 2-9, 2018.
- [42] I. Yano, J. Alvez, W. Santiago y B. Mederos, «Identification of weeds in sugarcane fields through images taken by UAV and Random Forest classifier,» *IFAC-PapersOnline*, vol. 49, n.º 16, pp. 415-420, 2016.
- [43] N. Tushev, T. Bewick y C. Ellis, «Documentando la ocupación ilegal de tierras desde el aire,» *ICT Update*, vol. 82, pp. 16-17, 2016.
- [44] O. Barrero y S. Perdomo, «RGB and multispectral UAV image fusion for Graminae weed detection in rice fields,» *Precision Agriculture*, vol. 19, n.º 5, pp. 809-822, 2018.
- [45] S. Arriola, K. Villagra, M. Méndez-Morales, N. Gómez, S.-Q. Milton y R. Rímolo-Donadío, «Desarrollo y validación de una metodología para la cuantificación de la erosión hídrica a través de fotogrametría UAS,» *Tecnología en Marcha*, vol. 32, pp. 43-52, 2019.