



Evaluación del uso de los drones como herramienta de apoyo para un efectivo control y monitoreo de páramos en Colombia.

Andrés Felipe Cabrera Rosero

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental

Tutor

Juan José García Duque Especialista (Esp) en Medio Ambiente y Geo-informática

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería

Especialización en Gestión Ambiental

Medellín, Antioquia, Colombia

2021

Cita	(Cabrera Rosero, A 2021)
Referencia	Cabrera Rosero, A. (2018). <i>Evaluación del uso de drones como herramienta de apoyo para un efectivo control y monitoreo de páramos en Colombia</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Gestión Ambiental, Cohorte XI.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

CONTENIDO

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	OBJETIVOS	5
2.1.	Objetivo general	5
2.2	Objetivos específicos.....	5
3.	MARCO TEÓRICO.....	5
3.1	Definición de los Páramos.....	5
3.2	Normas relacionadas con los Páramos y su aplicación en los últimos años.....	6
3.3	¿Qué son los drones?.....	8
3.4	Tipos de drones	8
3.5	Sensores.....	9
3.6	Regulación de los drones en Colombia	10
4.	ESTADO DEL ARTE.....	11
4.1.	La situación de los bosques y páramos en Colombia	11
4.2	La zonificación de los páramos, como estrategia para la preservación de estos ecosistemas estratégicos en Colombia.	12
4.3	Estrategia de Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña de Colombia (EMA)	14
4.4	Drones y monitoreo ambiental	15
4.5	Monitoreo de ecosistemas	17
4.6	El uso de drones en los procesos de monitoreo y seguimiento de recursos naturales y páramos en Colombia.	19
5.	METODOLOGÍA	21
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	22
6.1	Conservación de los páramos vs normatividad	22
6.2	Áreas protegidas y páramos	24
6.3	Aplicaciones de los drones en el monitoreo ambiental	25
6.3.1	Monitoreo Forestal	25
6.3.2	Monitoreo de incendios y protección de bosques.....	27
6.3.3	Monitoreo forestal participativo.....	27
6.4	¿Que se está haciendo en Colombia con los drones?	28

6.5 Oportunidades de los drones	30
6.6 Retos para el análisis de la información recogida	31
7. CONCLUSIONES	32
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

LISTA DE TABLAS

Figura 1.RAC 91 APÉNDICE 13 Fuente: (APD,2019).	11
Figura 2. Metodología, Fuente: Elaboración propia	22

RESUMEN

Los páramos son ecosistemas estratégicos de vital importancia para el país, que han sido reconocidos por su singularidad biológica y los servicios que prestan a la población, entre los que se destaca el almacenamiento de carbono atmosférico y la regulación hídrica. Debido a su alto valor, a lo largo de los años se han emitido leyes para delimitar, proteger y conservar dichos ecosistemas de las actividades realizadas por el hombre. Sin embargo, a pesar del grueso marco jurídico y de las estrategias utilizadas para lograr su protección, las mencionadas disposiciones no han sido suficientes para atenuar su degradación y destrucción, en donde la minería, la agricultura y ganadería han sido factores de gran presión, debido a que, al ser ecosistemas tan sensibles son muy vulnerables a este tipo de acciones antrópicas.

Por otro lado, los drones han sido utilizados en los últimos años como un sistema de teledetección ambiental, ideal para el monitoreo de todo tipo de ecosistemas, descartándose por ser un método eficiente de recogida de datos espaciales para multitud de aplicaciones en el sector ambiental que van desde la clasificación de especies hasta la monitorización de incendios forestales y la modelización de volúmenes o biomasa. ya que tienen la capacidad de generar datos para estudiar una amplia zona de terreno con un coste menor y una mayor eficiencia que los sistemas tradicionales. Por lo tanto, lo que se pretende con la presente monografía es evaluar el uso de los drones como herramienta de apoyo a los procesos de monitoreo y delimitación de páramos en Colombia, a través de la revisión y recopilación de estudios y publicaciones disponibles en las bases de datos, relacionados con el uso de las tecnologías de los drones en el mundo y en Colombia, en los procesos de monitoreo y seguimiento de recursos naturales y ecosistemas de páramo. Para de esta forma seleccionar e identificar sus posibles usos en el monitoreo de las áreas de los páramos de Colombia. Asimismo, se pretende determinar cuáles son las debilidades actuales para la implementación efectiva de esta tecnología en los procesos de monitoreo y gestión ambiental de los páramos en el país.

Palabras clave: Ecosistema estratégico, Páramos, Delimitación, Monitoreo ambiental, Drones.

ABSTRACT

Paramos are strategic ecosystems of vital importance to the country, which have been recognized for their biological uniqueness and the services they provide to the population, including atmospheric carbon storage and water regulation. Due to their high value, over the years laws have been issued to delimit, protect and conserve these ecosystems from human activities. However, despite the thick legal framework and the strategies used to achieve their protection, these provisions have not been enough to mitigate their degradation and destruction, where mining, agriculture and livestock have been factors of great pressure, because, being such sensitive ecosystems, they are very vulnerable to this type of anthropic actions.

On the other hand, drones have been used in recent years as an environmental remote sensing system, ideal for monitoring all types of ecosystems, being an efficient method of collecting spatial data for a multitude of applications in the environmental sector ranging from species classification to monitoring forest fires and modeling volumes or biomass, since they have the ability to generate data to study a large area of land with a lower cost and greater efficiency than traditional systems. Therefore, the purpose of this monograph is to evaluate the use of drones as a tool to support the processes of monitoring and delimitation of moorlands in Colombia, through the review and compilation of studies and publications available in databases, related to the use of drone technologies in the world and in Colombia, in the processes of monitoring and tracking of natural resources and moorland ecosystems. In order to select and identify their possible uses in the monitoring of paramo areas in Colombia. It is also intended to determine the current weaknesses for the effective implementation of this technology in the processes of monitoring and environmental management of the moorlands in the country.

Key words: Strategic ecosystem, Páramos, Delimitation, Environmental monitoring, Dron.

1. INTRODUCCIÓN

El páramo es un ecosistema único de alta montaña ubicado en las latitudes ecuatoriales del planeta en el cual habitan formas de vida singulares y propias, además de poblaciones humanas con sistemas culturales que contribuyen a enriquecer la diversidad” (Morales & Estévez, 2006) , dichos habitats consisten en planicies y valles accidentados de origen glacial con una gran variedad de lagunas, pantanos y praderas húmedas (Buytaert, 2004), estos ecosistemas estratégicos tienen condiciones físico-bióticas de gran riqueza ecológica, económica y cultural. Se encuentran ubicados a los 3000 y 4800 m.s.n.m en el sur y centro de sur América; además en las montañas del oriente y sur de África, en zonas denominadas como “pajonales de altura” (“tropical-alpinos”) ubicados a los 4000 m. (Hofstede,2003). En el año 2000 Corpocaldas definió que, “alrededor de los páramos se pueden encontrar dos zonas, denominadas como superpáramos y subpáramos. La primera de ellas se caracteriza por ausencia de vegetación, mientras en el límite inferior o subpáramo existe una zona de transición entre el bosque y la región paramuna”, considerada como la zona con la mayor diversidad y los más altos niveles de endemismo vegetal. (GJÁ Andrade,2000).

Los páramos en América se encuentran en las tierras altas de Costa Rica y Panamá hasta los Andes del norte de Ecuador, Colombia, Venezuela y Perú (Madriñán,2013). Estos ecosistemas alpinos tropicales altamente diversos, brindan abundantes servicios a algunas de las principales capitales de América Latina, incluido el suministro de agua limpia y el almacenamiento de carbono (Farley, 2013), Son considerados, además, un reservorio esencial de especies con alto potencial farmacéutico (Bueno, 2013).

Colombia posee el 50 % de los páramos de la Tierra, extensas zonas que coronan las cordilleras entre el bosque andino y el límite inferior de las nieves perpetuas, una región natural donde se presentan relaciones únicas entre el suelo, el clima, la biota y la influencia humana (Rangel, 2000). Estos ecosistemas son reconocidos por su singularidad biológica y los servicios que prestan a la población, entre los que se destaca el almacenamiento de carbono atmosférico y la regulación hídrica (Sarmiento *et al.*, 2013).

En tales ecosistemas se encuentra cerca del 10 % de la biodiversidad de Colombia, por lo que presentan endemismos de aproximadamente 3.379 especies de plantas, 70 de mamíferos, 154 de aves y 90 de anfibios (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt [IAvH], 2011). Los páramos no solo constituyen ecosistemas de una alta diversidad biológica, sino también escenarios para el desarrollo de una gran variedad de grupos humanos y culturas (Hofstede *et al.*, 2014). Estos ecosistemas proveen de agua para consumo humano y actividades agropecuarias a más del 70 % de la población colombiana, incluyendo a Bogotá y a otras 20 ciudades intermedias (Sarmiento *et al.*, 2017).

Dada la importancia y condición estratégica de los páramos, las acciones para su conservación deben estar enmarcadas en un escenario de planificación y gestión ambiental, definido entre los intereses de la sociedad y el mantenimiento de servicios ecosistémicos que estos prestan (Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE, 2012). La regulación hídrica y el suministro de agua pueden verse afectados, debido a prácticas agrícolas y cambios en el uso del suelo, generando efectos en los asentamientos humanos y medios de vida ubicados aguas abajo (Otero *et al.*, 2011).

Los ecosistemas de páramos, localizados en zonas de alta montaña en nuestro país, durante los últimos años han presentado una intensiva degradación debido actividades agrícolas, ganaderas, el desarrollo de actividades extractivas, entre otras, las cuales se traducen en la destrucción, desaparición del bosques, matorrales y formaciones arbustivas, afectando la cobertura vegetal, el suelo, la flora y la fauna de este ecosistema tan importante. Generando afectaciones en procesos tan importantes como es la regulación hídrica. (MADS. 2019).

A pesar de los esfuerzos realizados por el gobierno nacional, en materia de conservación de Páramos, incluida la ley 1970 del 27 de julio de 2018; no se han obtenido el impacto esperado, debido al lento proceso para aplicar la norma, como fue la delimitación y la lentitud en los procesos de seguimiento, monitoreo y planes de manejo de los mismos. Ya que a la fecha no se han hecho o no se conoce los PMA que las CAR tienen que realizar por ordenamiento de dicha ley.

Entendido el panorama anterior es importante fortalecer los procesos de seguimiento, monitoreo y conservación de páramos, para hacer cumplir la ley de 1970 de 2018. Por tal razón con esta monografía se pretende evaluar el uso de nuevas herramientas tecnológicas como los drones; ya que estos, con sus dispositivos especiales recogen imágenes e información con alta eficiencia con la cual se pueden hacer diferentes tareas de gestión ambiental ;En este sentido, algunos autores como Anderson y Gaston (2013) anunciaron una revolución en la investigación medioambiental gracias a la novedosa tecnología UAV (Unmanned Aerial Vehicle) . El gran potencial de los UAV en la investigación de la teledetección resulta de la resolución temporal flexible combinada con una resolución espacial muy alta de las imágenes adquiridas, que contribuirían eficazmente en los procesos de monitoreo y seguimiento de ecosistemas como los páramos.

El potencial de estos sistemas de teledetección radica en la capacidad de proporcionar datos continuos a múltiples escalas espaciales, temporales y espectrales, adquiriendo así información sobre múltiples propiedades del paisaje. Además, es una herramienta para informar el muestreo o como un enfoque de muestreo en sí mismo en áreas donde el muestreo es extremadamente difícil. Las imágenes digitales en las longitudes de onda roja, verde y azul (en adelante, imágenes RGB), útiles en la identificación manual de especies, permiten el análisis de patrones espaciales y proporcionan datos valiosos para informar el diseño de muestreo de campo y extender el muestreo de campo desde sitios ya muestreados a sitios sin muestrear (Garzón, 2.013).

El uso de estos dispositivos está debidamente documentado en el mundo, experiencia que se puede aplicar en Colombia; que, dicho sea de paso, poco a poco viene utilizando estas herramientas con este propósito; tal y como se puede constatar en el trabajo de investigación sobre el uso de Drones, que realizó la Asociación de Profesionales de Drones (APD) de Colombia en el año de 2019, actividad que se realizó con el de 19 Corporaciones Autónomas Regionales. (Pablo Heredia.,2019). De ese informe se desprende, que, si bien el uso de estos dispositivos ya se aplica en Colombia, es factible de mejorar. Por tal razón, las preguntas de investigación que surgen para el desarrollo de esta monografía son: ¿Se está utilizando todo el potencial de los drones como herramienta de apoyo al monitoreo ambiental de los páramos en Colombia? ¿Qué estrategias se

están utilizando actualmente, para cumplir con el mandato de la ley 1930 de 2018 con respecto al seguimiento y monitoreo de los páramos en Colombia? ¿Qué falencias o debilidades existen actualmente para implementar la tecnología de los drones en las tareas de seguimiento y monitoreo ambiental en el país?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Revisar información disponible en el mundo, relacionada con el uso de drones en el monitoreo y seguimiento de ecosistemas, e identificar las posibilidades de su uso en Colombia; para contribuir en el fortalecimiento de los sistemas de seguimiento y monitoreo de páramos.

2.2 Objetivos específicos

- Compilar estudios y publicaciones disponibles en las bases de datos, relacionados con el uso de las tecnologías de los drones y sus dispositivos más usados en el mundo, en los procesos de monitoreo y seguimiento de recursos naturales y ecosistemas de páramo.
- Seleccionar algunos casos más relevantes del uso de los drones en el mundo, e identificar sus posibles usos en el monitoreo de las áreas de los páramos de Colombia
- Identificar las debilidades actuales que tiene el país, relacionadas a la aplicación de estos dispositivos para el monitoreo ambiental por parte de las Autoridades Ambientales.
- Revisar la normativa expedida en Colombia relacionada al uso de drones y sus aplicaciones en acciones de monitoreo de los recursos naturales y los ecosistemas de páramo.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Definición de los Páramos

Los páramos son ecosistemas estratégicos con condiciones físico-bióticas de gran riqueza ecológica, económica y cultural, se encuentran ubicados a los 3000 y 4800 m.s.n.m en el sur y centro de sur América; además en las montañas del oriente y sur de África existen pajonales de altura ("tropical-alpinos") ubicados a los 4000 m; son ecosistemas semejantes a los páramos neotropicales y se localizan en las montañas del suroriente de Asia (Hofstede,2003). A nivel mundial estos ecosistemas cuentan con un área aproximada de 35.000 km² (González, 2005). Y

para Colombia estos representan un total de 2.625.250 ha, que corresponden al 2.3 % de la superficie del país. (Vergara-Buitrago, 2020).

Los páramos pueden dividirse en cuatro subpisos: Franja altoandina, páramo bajo (subpáramo), páramo propiamente dicho y súper páramo (MADS, 2019). En Colombia hay 35 complejos de páramos delimitados distribuidos de la siguiente manera: En el sector de la cordillera oriental se encuentran los páramos de Boyacá, Perijá, Santanderes, Pisba, Cundinamarca, los Picachos, Miraflores y en la cordillera Central: Complejos Belmira, Viejo Caldas-Tolima, Macizo Colombiano, Sonsón. En el sector Nariño-Putumayo están los complejos Doña Juana-Chimayoy, La Cocha- Patascoy, Chiles y Cumbal; además en la Cordillera Occidental: Distritos Paramillo, Frontino-Tatamá, Duende-Cerro Plateado y por último el sector de la Sierra Nevada de Santa Marta: Complejos Santa Marta (IAVH, 2013).

Algunos autores como Rivera Ospina *et al.* (2011), explican que además de su alta diversidad de especies y hábitats, los páramos prestan importantes servicios ecosistémicos que son fundamentales para el bienestar de todos los colombianos. En este sentido, los páramos son pieza clave en la regulación del ciclo hídrico (en estos ecosistemas nacen las principales estrellas fluviales del país, las cuales abastecen de agua a más del 70% de los colombianos), almacenan y capturan gas carbónico de la atmósfera, contribuyen en la regulación del clima regional, son hábitat de especies polinizadoras y dispersoras de semillas y son sitios sagrados para la mayoría de las culturas ancestrales, entre muchos otros beneficios. (Página 11)

3.2 Normas relacionadas con los Páramos y su aplicación en los últimos años

Como complemento a la Ley de Páramos se inició un proceso de delimitación de estos ecosistemas estratégicos, definidos como espacios geográficos, con el fin de implementar insumos legales para la protección, conservación y funcionamiento de estos ecosistemas (Pinzón, 2013). Este proceso se dio por la creciente fuerza del sector minero-energético de Colombia, por esta razón empezaron a zonificarlos, para establecer la protección de la biodiversidad y que se asegure la conservación de los recursos naturales, proponiendo acciones necesarias para regular las actividades extractivas (Padierna, 2015). Por tal razón la delimitación se implementa por medio de

la sentencia C-035 de 2016 de la corte constitucional que prohíbe la minería y actividades agropecuarias en los páramos (Ortiz et al.2018).

- Ley 99 de 1993 “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA y se dictan otras disposiciones”; en su artículo 1° define los Principios Generales Ambientales, en la cual la política ambiental colombiana, seguirá los principios generales: Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial (Congreso de Colombia, 1993).
- Ley 1450 de 2011: Es el primer antecedente normativo del proceso de delimitación, expedida mediante el PND 2010-2014 y en el artículo 202 parágrafo 1, establece las actividades prohibidas en los páramos delimitados; en donde, *“no se podrán adelantar actividades agropecuarias, ni de exploración o explotación de hidrocarburos y minerales, ni construcción de refinerías de hidrocarburos”* (Polo, 2019).
- Ley 1970 del 27 de julio de 2018 o mejor conocida como ley de páramos, dicha ley se promulgo con la intención de parar la creciente degradación de los páramos en Colombia, fruto de múltiples acciones antrópicas; en esta norma se dictan las disposiciones para la gestión integral de estos ecosistemas estratégicos; además se fijan las directrices para propender por su preservación, restauración, seguimiento, monitoreo, uso sostenible y generación de conocimiento debido a sus componentes biológicos, geográficos, geológicos e hidrográficos, así como aspectos sociales y culturales. (Congreso de la república., 2018).
- En esta ley en su artículo 6°, se expresa que: *“una vez delimitados los páramos las Autoridades Ambientales Regionales deberán: elaborar, adoptar e implementar los Planes de Manejo Ambiental de los páramos”*. Congreso Colombia. (2018).
- En el parágrafo 6° del artículo anterior, se puntualiza: *“esos planes de Manejo Ambiental de páramos incluirán un sistema de seguimiento para evaluar, supervisar, monitorear el estado y tendencias de las zonas de páramo y las correspondientes actividades de manejo.”* Congreso Colombia. (2018).
- Finalmente, en el artículo 29° de la citada ley, se habla del seguimiento y monitoreo, que se debe hacer en los años dos (2) siguientes a la expedición de la misma, con los instrumentos

que se diseñen e implementen para monitorear y realizar el seguimiento de estos ecosistemas sensibles. Congreso Colombia. (2018).

En este año 2021, de los 19 páramos que fueron delimitados en el año 2016, deberían contar con sus Planes de Manejo Ambiental, ya que la norma estipula un periodo no mayor a 4 años, pero hasta este momento no se encuentran publicaciones, que demuestren que dichos planes se encuentren en ejecución. Por otra parte, el páramo Santurbán fue delimitado en el año 2014 mediante la Resolución 2090, si bien este ya cuenta con el Plan de Manejo Ambiental publicado en octubre de 2019 (Benavides et al. 2019), hoy en día a pesar de que el mismo fue el primero en ser delimitado, sigue presentando problemas en torno a su delimitación. (Cuadros et al. 2018).

3.3¿Qué son los drones?

Los drones son conocidos por las siglas UAS de “Unmanned Aircraft Systems” en inglés, que se traduce como “sistemas aéreos no tripulados”, es decir, aeronaves que tienen la capacidad de volar sin tripulación a bordo y de modo autónomo. (Mulero-Pázmány et al., 2015). Los UAS 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 (T. Banu, G. Borlea y C. Banu,2016), (I. Colomina y P. Molina,2014), mostrando así el gran potencial de este tipo de tecnología para aplicaciones ambientales y de conservación (Koh,2012) . 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 (Koh,2012).

3.4 Tipos de drones

Los vehículos no tripulados o simplemente drones pueden ser aéreos, terrestres o acuáticos. En cualquiera de los casos, estos equipos se encuentran en constante evolución y su aplicación se ha extendido a los diferentes campos del conocimiento humano, en las ciencias e ingenierías. Los tipos de drones existentes pueden clasificarse según una variedad de criterios, incluidos el tamaño y la carga útil, los sistemas de control, el alcance de vuelo, la altitud y la resistencia. (Pino, 2019)

En cuanto a su forma existen diversos tipos, a saber: (a) Multirrotores: Son los más usados actualmente. Se componen de varios motores independientes situados en los extremos del aparato. Se suelen clasificar según el número de motores en tricópteros , cuadricópteros , hexacópteros y octocópteros . Su uso es el más extendido debido a su gran estabilidad y la facilidad y cantidad de maniobras que pueden realizar, además de poder volar estáticamente en el lugar que les indiquemos. Su desventaja es el gran consumo de energía que necesitan para mantener el vuelo y su autonomía que suele estar entre los 15 y los 30 minutos. Son ideales en el sector audiovisual y en la inspección industrial. (Pino, 2019. (b) Ala fija. Son aquellos cuya fisonomía es similar a la de un aeroplano.

Están compuestos por un cuerpo principal unido a dos alas que les permiten planear y un rotor en cola cuya propulsión puede ser eléctrica o de combustión. Sin duda es el más eficiente aerodinámicamente hablando y el que tiene mayor autonomía de vuelo. Por otro lado, existe el inconveniente de que es el que menor carga puede llevar, tiene menos agilidad de maniobras ya que no puede permanecer inmóvil y necesita una gran superficie para despegar o aterrizar. No obstante, su gran autonomía lo convierte en un candidato ideal para las labores de fotogrametría y agricultura de precisión. (Pino, 2019).

3.5 Sensores

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 multispectrales e hiperspectrales (Richards,2006).

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 (Padua,2017). De acuerdo con (Berrío-Meneses, (2015), 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. (Guevara-Bonilla,2020)

Cámara Multiespectral: Una cámara multiespectral, como su propio nombre indica, es una cámara que es capaz de captar varios espectros de luz. Las cámaras multiespectrales que se montan en los drones son de pequeñas dimensiones y pueden llegar a tomar valores de hasta 6 bandas espectrales. A partir de las imágenes multiespectrales que captan este tipo de sensores se pueden calcular diferentes índices de vegetación que nos indican la salud y el bienestar de la vegetación, dentro de los cuales se encuentra, por ejemplo, el índice NDVI (normalized difference vegetation index) mediante el cual se puede calcular el vigor de la planta, es decir, su estado metabólico. (UAVSensefly. 2017)

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. (Orfanó Figueredo,2016)

Cámaras térmicas: La medición de la temperatura de la cámara térmica, asigna un valor de temperatura para cada píxel y ya ha demostrado ser muy útil en el campo, donde se utiliza para contar los nidos de orangután en las copas de los árboles, evaluar la propagación de incendios forestales y más. (UAVSensefly. 2017).

3.6 Regulación de los drones en Colombia

En Colombia, la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil – UAEAC o Aerocivil es la autoridad que regula las operaciones en el espacio aéreo colombiano. Esto significa que todos los registros de licencias y drones se deben hacer con ella y no con ninguna otra entidad. (Aeronáutica Civil de Colombia, 2018)

La Regulación de Drones en Colombia tiene la característica de ser norma, ya que ha sido integrado en el Reglamento Aéreo de Colombia (RAC) No. 91, específicamente en el apéndice 13 por medio de la Resolución No. 4201 de 2018. La cual se titula «OPERACIÓN DE SISTEMAS DE AERONAVES NO TRIPULADAS – UAS» (APD, 2019). Las categorías que existen son 3: A, B y C. (APD, 2019).

RAC 91 APÉNDICE 13			
PROPIEDADES.	CLASE A (Abierta).	CLASE B (Regulada).	CLASE C (Certificada-RPAS).
Peso (kg)	0.25 a 25 (kg)	25 a 150 (kg)	Superior a 150(kg).
Visibilidad (km)	5km	5km	RESERVADO.
Altura (m)	123m	123m	RESERVADO.
Velocidad (km/h)	80km/h	160km/h	RESERVADO.
Alcance línea vista (m)	500m	750m	RESERVADO.
Características de operación.	<ol style="list-style-type: none"> 1. No personas. 2. No urbanos. 3. Diurno. 4. No autorización. 5. No piloto certificado. 6. No aspersión. 7. No transporte. 8. No SAR. 9. No Autonomía. 10. UAS inscrito en aerocivil. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si personas. 2. Si urbanos. 3. Diurno/nocturno. 4. Si autorización. 5. Si piloto certificado. 6. Si aspersión. 7. Si transporte. 8. Si SAR. 9. Si autonomía. 10. UAS inscrito en aerocivil. 11. Si seguro. 	La UAEAC se reserva la posibilidad de emitir permisos especiales con base en las reglas de este Apéndice, relacionados con operaciones con UAS que, por sus características técnicas y por su finalidad de operación,

Nota: Todo propietario deberá encontrarse inscrito en la base de datos, que para el efecto, lleva la UAEAC.

Figura 1.RAC 91 APÉNDICE 13 Fuente: (APD,2019).

4. ESTADO DEL ARTE

4.1. La situación de los bosques y páramos en Colombia

Colombia entre los años de 1990-2010, perdió cerca de 6 millones de hectáreas de bosques, proceso que se ha venido agudizando en los últimos tiempos; si a lo anterior se le añade que los bosques naturales almacenan en promedio 121,9 toneladas de carbono por hectárea, esto convierte a la deforestación en una fuente importante de GEI (Gases de efecto invernadero) y su impacto nocivo en el cambio climático. Estos procesos de pérdida y degradación de bosque se atribuyen a diferentes causas: la ampliación de la frontera agrícola, la colonización (principalmente ganadería), la minería, los incendios forestales, los cultivos ilícitos, la ampliación de infraestructura, desarrollos mineros, la urbanización y la extracción de madera. (IDEAM, 2012)

En consecuencia, es vital contribuir con los procesos que propenden por el manejo sostenible de los bosques, para reducir la deforestación, sino también para definir fuentes de

ingreso para la comunidad (MADS, 2014). En general, de acuerdo con la Cuarta Perspectiva Mundial para la Diversidad Biológica, si persisten los patrones actuales de consumo y degradación, es poco probable que los ecosistemas se mantengan dentro de límites ecológicos seguros para el 2020 (SCDB, 2014).

En este contexto es bueno resaltar que los páramos son ecosistemas estratégicos con condiciones físico-bióticas de gran riqueza ecológica, económica y cultural, se encuentran ubicados a los 3000 y 4800 m.s.n.m en el sur y centro de sur América; además en las montañas del oriente y sur de África existen pajonales de altura ("tropical-alpinos") ubicados a los 4000 m; son ecosistemas semejantes a los páramos neotropicales y se localizan en las montañas del suroriente de Asia (Hofstede,2003). A nivel mundial estos ecosistemas cuentan con un área aproximada de 35.000 km² y para Colombia el área es de 19.330 km², lo que representa el 1.69% del territorio (González, 2005).

4.2 La zonificación de los páramos, como estrategia para la preservación de estos ecosistemas estratégicos en Colombia.

En el país en los últimos años y debido a la importancia de la preservación de estos ecosistemas estratégicos, se viene discutiendo y adelantando la delimitación de páramos; esto es definir su espacio geográfico, con el fin de implementar insumos legales para protegerlos y monitorear su funcionamiento. Este proceso se dio por la creciente fuerza del sector minero-energético de Colombia, por esta razón empezaron a zonificar los ecosistemas estratégicos, para establecer la protección de la biodiversidad y que se asegure la conservación de los recursos naturales, proponiendo acciones necesarias para regular las actividades extractivas. (Padierna, 2015)

En cuanto a la actual política ambiental, la necesidad de realizar una delimitación de estos ecosistemas para excluirlos de la actividad minera surgió como una herramienta mediante la aprobación del código minero (ley 685 2001), es así como se mantiene la oferta y demanda de agua; por lo cual se considera un ecosistema estratégico. Por tal razón la delimitación se adelanta para cumplir una sentencia C-035 de 2016 de la Corte Constitucional de Colombia que prohíbe la minería y actividades agropecuarias en los páramos. (Ortiz et al.2018)

Por consiguiente, es claro que el páramo provee el agua que es un recurso indispensable, considerado como un servicio ecosistémico de aprovisionamiento, fundamental para todas las

actividades diarias de los seres humanos; surte los acuíferos y es fuente de vida para los animales y plantas. Según la clasificación del MEA (2003), los servicios se agrupan en cuatro categorías: 1) Servicios de Aprovechamiento: Se refieren a productos que se obtienen del ecosistema como alimentos, fibras, semillas, medicinas naturales y agua. 2) Servicios de regulación: Beneficios que las personas obtienen de la continuidad de los procesos ecosistémicos, entre los que se incluye el mantenimiento de la calidad del aire, la regulación del clima, la regulación de la erosión, la regulación de las enfermedades humanas, y regulación hídrica. 3) Servicios culturales: Son beneficios intangibles que se obtienen de los ecosistemas. Se refieren a los ecosistemas como espacios propicios para el enriquecimiento espiritual, el desarrollo de conocimiento, la recreación, la inspiración, el sentido de pertenencia, el valor educativo y el valor ecoturístico. 4) Servicios de soporte: Conformados por los procesos necesarios para la producción de todos los otros servicios de los ecosistemas, como son la producción primaria, la formación del suelo, el mantenimiento de hábitat y el ciclaje de nutrientes. Estos servicios se definen como los beneficios aportados por los ecosistemas y son indispensables para el bienestar de la población y los animales; de manera general los páramos también brindan otros servicios tales como los siguientes: servicios de regulación relacionados con la calidad del aire y captación de CO₂, purificación del recurso hídrico, regulación de plagas y mitigación de riesgos naturales; servicios culturales; servicios de soporte para la formación de suelo; servicio de mantenimiento de los hábitats para la diversidad de flora y fauna. (Martínez, 2008).

Entendido lo anterior, es muy preocupante lo que pasa en estas zonas de páramo, que abastecen en Colombia el agua potable a 16 ciudades, que albergan a 16,8 millones de personas; que equivalen al 35% de la población; por otro lado, se benefician 73 hidroeléctricas y 173 distritos de riego que usan para sus cultivos de papa, cebolla, hortalizas, café, arroz, etcétera. (DNP, 2017). La agricultura, ganadería y minería han sido factor de gran presión, debido a que al ser ecosistemas estratégicos son muy vulnerables a este tipo de presiones antrópicas; que desde la colonización española se empezaron a expoliar, para adecuar zonas para cultivo, pastoreo de ganado, deforestación de la vegetación nativa y las quemadas que causan compactación, erosión de sus suelos y eliminación del musgo que tiene la capacidad de retención del agua, así como su distribución por la montaña. (Zapata, 2020)

Para afrontar y atenuar esta degradación en estos ecosistemas sensibles de alta montaña, en Colombia como ya se mencionó en el presente documento, se expidió la Ley 1930 de 2018 o ley de paramos; en la cual se definen todas las disposiciones para la gestión integral de ellos y se fijan las directrices para su preservación, restauración, su uso sostenible y los mecanismos de delimitación y monitoreo. (Ley 1930 de 2018).

4.3 Estrategia de Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña de Colombia (EMA)

En concordancia con la ley y con la coordinación del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y las instituciones del Sistema Nacional Ambiental (SINA), se ha venido planteando la formulación de un Programa Nacional de Monitoreo de Ecosistemas, orientado a ofrecer lineamientos que orienten y que potencialicen las iniciativas de monitoreo y seguimiento de los ecosistemas en el país (MADS, 2018). Ese Programa Nacional de Monitoreo tiene la potencialidad de ser la base para la toma de decisiones sobre el uso y conservación de los ecosistemas de Colombia. En el país, ya existen varias experiencias de monitoreo y seguimiento ambiental de largo plazo promovidas desde instituciones públicas, académicas y de la sociedad civil. (Sierra et al., 2017) Conocer y entender los procesos que se desarrollan, los protocolos metodológicos que implementan, los actores involucrados y el tipo de reportes que generan es la base para proponer procesos integrados de monitoreo de ecosistemas que contribuyan a generar y articular iniciativas de orden regional y nacional. (Vallejo y Gómez, 2017).

La construcción de la propuesta para una Estrategia de Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña de Colombia (EMA) partió de la contribución de múltiples actores con experiencia en el monitoreo de ecosistemas altoandinos del país. El proceso, dirigido a establecer un modelo conceptual y de articulación de actores, se basó en la identificación de las iniciativas de monitoreo existentes, así como en los principales vacíos de información y retos para la consolidación de un sistema integrado de monitoreo. (MADS, 2018)

El trabajo sobre los componentes de esta propuesta de monitoreo estuvo estructurado en torno a paneles de expertos temáticos (biodiversidad, biomasa y carbono, clima e hidrología, uso de la tierra, políticas y conservación), en la modalidad de conversatorio y mesas de trabajo, que abordaron diferentes temas transversales para la construcción efectiva de la propuesta de

monitoreo (preguntas clave, vacíos temáticos y espaciales existentes, sostenibilidad, arreglos institucionales. (Llambí et al., 2018). Los expertos consultados coincidieron en la necesidad de promover un marco integral para articular las diferentes iniciativas existentes, a partir de un modelo conceptual explícito y una plataforma institucional flexible, que permita lo siguiente: a) Desarrollar una visión más holística y dinámica de las relaciones de interdependencia existentes entre los diferentes ecosistemas de alta montaña (glaciares, humedales, páramos, bosques altoandinos); b) Estudiar y llenar los vacíos de información existentes en torno al papel que cumple la biodiversidad en la provisión de servicios ecosistémicos claves como la regulación hídrica y de la dinámica del carbono y su respuesta en escenarios de cambio ambiental; c) Integrar las diferentes escalas de análisis desde el ámbito local y de parcelas hasta la escala nacional; d) Comparar explícitamente la biodiversidad y funcionamiento de sistemas naturales con diferente grado de transformación a lo largo de gradientes de uso y elevación; además, evaluar la efectividad de las estrategias de restauración ecológica que se vienen desarrollando; e) Entender las relaciones entre los procesos ecológicos y sociales y analizar los impactos de las políticas de gestión, desarrollo y conservación y de diversos modelos de gobernanza territorial; f) Garantizar la sostenibilidad de las iniciativas de monitoreo de largo plazo, a través de la consolidación de una plataforma que promueva la difusión e integración efectiva de la información existente para la orientar la toma de decisión. (Llambí et al, 2018)

4.4 Drones y monitoreo ambiental

Las primeras publicaciones científicas de datos ambientales recopilados con pequeños drones fueron estudios llevados a cabo por Tomlins, Lee y Manore utilizando un modelo de avión de aficionado, y más tarde un pequeño dron diseñado a medida. En esta investigación pionera, se identificaron hasta 46 aplicaciones ambientales en las que pequeños drones podrían ser útiles; (Tomlins, 1983). Sin embargo, esta tecnología permanece inexplorada para la mayoría de estas aplicaciones. Aunque se hicieron algunos intentos iniciales para emplear pequeños drones en la investigación ambiental en la década de 1990 y principios de la de 2000, los investigadores solo han comenzado a investigar seriamente el uso de drones durante los últimos siete a ocho años. Artículos publicados exponen los beneficios potenciales de los pequeños drones para aplicaciones ambientales específicas, como el número especial sobre el tema publicado en *GIScience and Remote Sensing* 2011. (Hardin et al., 2011).

Los estudios ecológicos en el mundo se han beneficiado de la tecnología de teledetección transportada por vehículos aéreos no tripulados, y se cree que su potencial ha revolucionado la ecología y la conservación (Ewald, 2020), especialmente en los países en desarrollo donde se necesitan con urgencia planes de investigación y seguimiento más accesibles y rentables. Los estudios hiperspectrales y RGB transmitidos por vehículos aéreos no tripulados, se han realizado principalmente en ecosistemas de tierras bajas, pero recientemente se ha prestado mayor atención a los ecosistemas de tierras altas, principalmente en Europa, en los pastizales alpinos (Marcinkowska-O, 2018). Los drones cada vez se usan más en investigaciones de fauna y caracterización del hábitat, en particular para obtener información acerca de la distribución espacial de los animales en zonas de difícil acceso. Los proyectos pioneros que incorporaron esta tecnología al monitoreo de fauna tuvieron lugar en la primera mitad de la década de 2000, usando drones derivados de aeromodelos (Jones et al., 2006)

Otras aplicaciones de investigación ambiental encontradas en la literatura incluyen el monitoreo de la biodiversidad, el monitoreo del hábitat y fauna. Como las desarrolladas por Hodgson, 2013, Martín et al., 2012 y Prieto et al., 2014 quienes estudiaron el uso de los drones para censo de mamíferos terrestres, tales como zorros, primates y elefantes, o para localizar madrigueras de roedores. Otra aplicación que puede ayudar en el monitoreo ambiental es la generación de modelos digitales de superficie / elevación de alta resolución espacial a partir de imágenes de drones. (Haarbrink et al., 2008).

La mayor parte de la investigación con drones en los bosques se ha centrado en la cartografía y el seguimiento de incendios, pero algunos estudios han tenido como objetivo controlar las masas forestales con drones. Un estudio pionero de Horcher y Visser (2004), hizo hincapié en el uso potencial de pequeños drones para aplicaciones forestales. Por otro lado, Koh y Wich en el 2012, publicaron un documento en el que se describen algunas tareas orientadas a la conservación de los bosques tropicales, 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. De manera similar, el mapeo y la cuantificación de los servicios ecosistémicos con drones constituyen un medio eficiente para informar el diseño y la zonificación del sitio, especialmente cuando la información disponible es escasa, desactualizada y se basa en imágenes de teledetección de resolución aproximada. Además, el monitoreo de la

degradación del hábitat con drones en áreas protegidas y zonas fronterizas (Mar,2005), (Ewers et al.,2008) representa un método novedoso para evaluar el desempeño de las acciones de conservación. Por último, la evaluación del hábitat a escala fina utilizando mapas de alta resolución podría ayudar a seleccionar sitios de reintroducción adecuados para especies en peligro de extinción o extintas localmente (Freemantle et al., 2013).

4.5 Monitoreo de ecosistemas

Los métodos establecidos para el monitoreo del hábitat van desde observaciones in situ y aéreas hasta sensores remotos basados en satélites. La última generación de sensores de satélite comerciales (Neumann et al.,2015) recopilan imágenes con una resolución inferior a un metro y suponen avances tecnológicos notables para la observación de la Tierra, pero la disponibilidad geográfica de los productos es limitada y no siempre está disponible rápidamente. Los drones son particularmente apropiados para inspeccionar oportunamente áreas pequeñas con un buen nivel de detalle (Whitehead et al.,2014) y podrían adaptarse para llevar dispositivos de muestreo y tomar mediciones in situ (Gross et al.,2009). De esta manera, resulta ventajoso monitorear las Variables Esenciales de Biodiversidad (EBV) (Vihervaara et al.,2017).

De manera similar, el mapeo y la cuantificación de los servicios ecosistémicos con drones constituyen un medio eficiente para informar el diseño y la zonificación del sitio, especialmente cuando la información disponible es escasa, desactualizada y se basa en imágenes de teledetección de resolución aproximada. Además, el monitoreo de la degradación del hábitat con drones en áreas protegidas y zonas fronterizas (Mar,2005), (Ewers et al.,2008) representa un método novedoso para evaluar el desempeño de las acciones de conservación. Por último, la evaluación del hábitat a escala fina utilizando mapas de alta resolución podría ayudar a seleccionar sitios de reintroducción adecuados para especies en peligro de extinción o extintas localmente (Freemantle et al., 2013).

Los proyectos experimentales de monitoreo con drones han aumentado notablemente, tanto por parte de instituciones gubernamentales (Cress et al., 2015) como de grupos de investigación. Como consecuencia, las aplicaciones de drones para el inventario, la caracterización y la

restauración del hábitat están madurando rápidamente, pero la ampliación y la vinculación de la información recopilada con la procedente de la teledetección por satélite sigue siendo una laguna de conocimiento (Wilson et al.,2011). Los drones se han utilizado para el monitoreo forestal comunitario (Paneque-Gálvez et al.,2014) y, por lo tanto, se han sugerido como un activo importante para impulsar la participación de los países en desarrollo en el mercado del carbono (Reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal, REDD) (Mlambo et al.,2017).

Además, los drones han operado con éxito en diferentes ecosistemas para medir la propagación de especies invasoras (Hill et al., 2017; Müllerová et al.,2016 ; Michez et al.,2016; , Müllerová et al.,2017; , Perroy et al.,2017) cartografiar los hábitats costeros y marinos (Gonçalves et al.,2015 , Ventura et al., 2016, Casella et al., 2016), humedales (Knoth et al., 2013, Chabot et al., 2018, Marcaccio et al., 2015); pastizales (Wang et al.,2017, Boon et al., 2016); sabanas(Mayr et al., 2017); glaciares (Kraaijenbrink et al.,2016) ; áreas polares(Fraser et al., 2016); y ecosistemas ribereños (Woodget et al.,2017)

Por otra parte, la extracción ilegal de madera, también se podría monitorear con estos sistemas, verificando el cambio de la cubierta forestal con fotografías de series de tiempo; de igual forma se podría localizar senderos de extracción y construyendo mecanismos de control en tiempo real de estas acciones ilegales con el uso de videografía. Los incendios y los cambios ilegales en el uso de la tierra que alteran la cubierta forestal (por ejemplo, cultivos, expansión de pastos) también podrían monitorearse oportunamente, al igual que la explotación ilegal de los recursos forestales y la caza furtiva de vida silvestre (Koh et al., 2012).Las áreas de difícil acceso dentro de un territorio (p. Ej., pendientes pronunciadas, terreno rocoso, pantanos, manglares) se podrían inspeccionar con estos pequeños aparatos; (Horcher et al., 2004) además, los pequeños drones podrían llegar más fácilmente a áreas territoriales remotas. Esto sería particularmente útil en comunidades forestales con baja densidad de población y grandes territorios, que son comunes en muchos países tropicales.

4.6 El uso de drones en los procesos de monitoreo y seguimiento de recursos naturales y páramos en Colombia.

Para acercarnos a la realidad del uso de la tecnología de drones en Colombia por parte de las entidades encargadas del monitoreo (las CAR) del país; es importante mencionar que una investigación realizada en el 2019, por el consultor Pablo Heredia Castellana, miembro de la Asociación de Profesionales de Drones (APD) de Colombia, junto con la Nature Conservancy Colombia, denominada: “Informe de la encuesta para el desarrollo de los lineamientos nacionales para la implementación y promoción del uso de la tecnología UAS/Drone a nivel nacional en el sector ambiental” en el cual participaron 19 Corporaciones Regionales, se extraen varias conclusiones relacionadas con el uso de esta herramienta tecnológica, en el trabajo de monitoreo de recursos naturales. De esa investigación se desprende que: un 40% de las CAR encuestadas (18 respuestas), contesta que posee una experiencia de uso drones entre dos a tres años atrás. Un 33,3% (15 respuestas), utiliza drones hace un año o menos. Un 13,3 % (6 respuestas), hace más de tres años y finalmente el último 13,3% (6 respuestas) son aquellos que no tienen ni han utilizan drones.

Cabe destacar que casi el 47% de los encuestados, cuyas actividades en sus instituciones tienen que ver con drones en el sector ambiental, tienen menos de un año de experiencia o nada de experiencia. (Heredia, 2019). Con referencia a la planificación del uso de los drones en su quehacer institucional; se demuestra, que más de la mitad de los encuestados no ha desarrollado ningún ejercicio de planificación estratégica, para el uso de esta tecnología (56%), por otro lado, solo el 50% de los encuestados reconoce saber las ventajas de los drones en sus actividades y 33% de ellos ya ha priorizado actividades específicas para su utilización. (Heredia, 2019)

Sobre los protocolos de manejo, se desprende que: más del 2/3 de los encuestados (73,3%), reconoce que no tienen, ni poseen procedimientos, protocolos o estándares oficiales para el uso del drone, en su organización para las actividades que realizan; y solo el 15% ha realizado una documentación de sus procesos y los evalúa posteriormente. (Heredia, 2019) Con referencia al personal calificado; se pudo constatar igualmente, que de las Corporaciones Autónomas participantes solo 1 de cada 3, tienen personal certificado, para la utilización de sus drones. De igual manera, hay un alto porcentaje de instituciones que no posee personal certificado para mantenimiento y/o analistas de información de la información levantada. (Heredia, 2019)

Con referencia a los permisos de vuelo de los drones y registro de los mismos ante la aeronáutica, se evidencia que el 62,2 % de los encuestados, es decir, aproximadamente 28 de los mismos, no han realizado o no tiene conocimiento que se deben hacer trámites con respecto a la implementación y registro de sus actividades con el uso de drone, frente a las autoridades aeronáuticas. Por otra parte, solo dos encuestados informan estar registrados ante aeronáutica (en teoría cumpliendo con la normatividad vigente para sus operaciones) como “explotadores” UAS.

De lo anterior se deduce que el uso de esta tecnología, así como la certificación y capacitación del personal humano para su uso y la gestión de permisos ante las autoridades competentes, es todavía muy incipiente y existe un gran desconocimiento acerca de su potencial y eficiencia, relacionado con el uso de drones en procesos de planificación, monitoreo y seguimiento de los recursos naturales en Colombia (Heredia, 2019).

Finalmente es importante conocer de forma somera la normatividad, que existe en el país relacionada con el uso de drones, ya que el uso irresponsable y desmedido de estos aparatos puede ocasionar graves afectaciones al bienestar social y patrimonial de los países, teniendo en cuenta que el espacio aéreo es jurisdicción de cada nación. En Colombia, la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil – UAEAC o Aerocivil es la autoridad que regula las operaciones en el espacio aéreo colombiano; en virtud de las disposiciones de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) de la cual nuestro país es socio desde 1944. (APD, 2020).

En consecuencia, la entidad encargada de regular los drones en Colombia es la Aeronáutica Civil. Esto significa que todos los registros de licencias y drones se deben hacer con ella y no con ninguna otra entidad. De la misma forma, la Aerocivil es el ente estatal que se encarga de regular las normas para las aeronaves no tripuladas. La última revisión de la circular 002, que reglamenta el uso de los drones en el país, entró en vigor el 5 de febrero de 2019 con la norma 0420. Al ser caracterizada como norma, ya que modifica el Reglamento Aéreo Colombiano, les da facultades especiales a las autoridades del país. Esto significa que, por ejemplo, la Policía Nacional cuenta con el poder para indagar, confiscar y revisar los drones y equipos que no estén registrados. (Aeronáutica Civil de Colombia, 2019).

5. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el desarrollo de este trabajo se basa en la revisión, compilación e interpretación de la información secundaria de artículos académicos encontrada sobre todo en bases de datos como: Remote Sensing, Forest, Science direct entre otras, relacionadas a los sistemas de seguimiento y monitoreo ambiental con drones. Para la búsqueda de los artículos de interés se utilizó diferentes combinaciones de palabras clave, como: “uav and monitoring”; “drone and conservation”; “uav and conservation”; "drone and environmental management", etc.

Solo se consideraron aquellos trabajos publicados en las últimas dos décadas (2000-2021) con el fin de reportar la información más actualizada y asegurar la inclusión de los trabajos más relevantes, dado el reciente desarrollo de esta tecnología.

Además de artículos de revistas se buscaron tesis de grado relacionadas con el uso de drones en la gestión ambiental. Para la información relacionada a la normatividad y estado de los páramos en Colombia se recopiló artículos e información publicada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el IDEAM, Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), el instituto Humboldt, Asociación de Profesionales de Drones (APD), Aerocivil de Colombia. entre otros En consecuencia, este marco metodológico tendrá la siguiente secuencia para abordar el desarrollo de la presente monografía; cuyos pasos más relevantes son los siguientes:

- A. Recopilación de información acerca del estado de los páramos en Colombia, normativa y sus procesos de monitoreo en la actualidad.
- B. Revisión de las normas que Colombia tiene, relacionadas al monitoreo de páramos y al uso y restricciones del uso de los drones.
- C. Revisión de estudios y publicaciones disponibles en diferentes bases de datos y recursos.
- D. Revisión de debilidades de las CAR en el uso de los Drones, en función del monitoreo ambiental.
- E. Selección de casos relevantes e identificar sus posibles usos en el monitoreo de las áreas de los páramos de Colombia

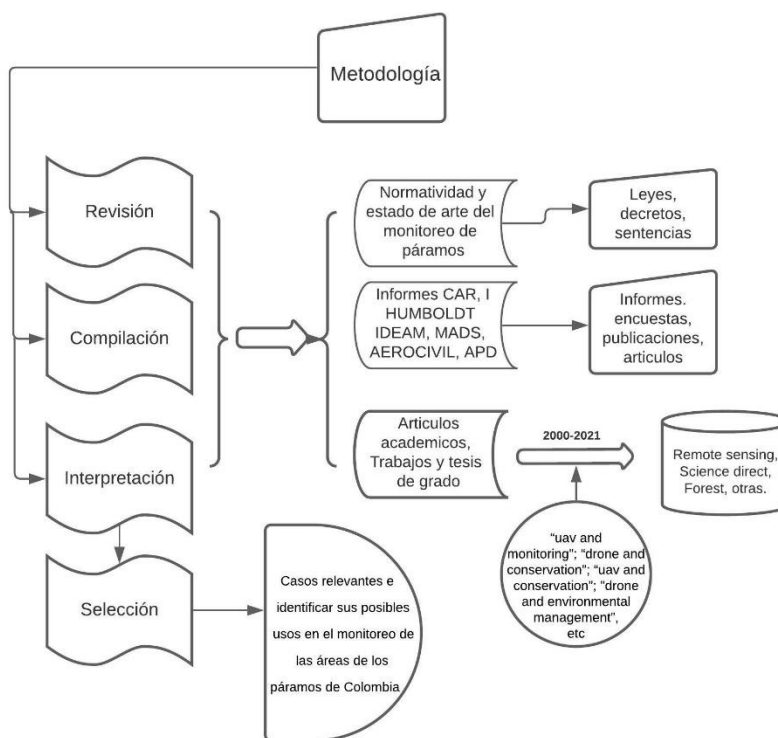


Figura 2. Metodología, Fuente: Elaboración propia

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 Conservación de los páramos vs normatividad

Como se mencionó anteriormente, en el análisis de la normatividad ambiental referente a la delimitación de los páramos de Colombia y su posterior conservación, a través de la ley que se encuentra vigente y entró a regir en el 2018, la 1930 o ley de páramos. Se observa con preocupación que existe incumplimiento de los tiempos estipulados para la implementación y desarrollo de Planes de Manejo Ambiental, hay una falta de claridad acerca de las actividades de reconversión de las actividades agropecuarias y mineras en los páramos ; así como el papel que tienen las corporaciones en cuyas jurisdicciones existen ecosistemas de páramos , ya que estas son las responsables de elaborarlos conforme a estudios técnicos, sociales, ambientales y económicos; para buscar así: su preservación, restauración y uso sostenible de los mismos (Zapata,2020).

Para el año 2021, los 19 páramos que fueron delimitados en el año 2016 deberían contar en este tiempo con sus Planes de Manejo Ambiental, ya que la norma estipula un periodo no mayor a 4

años, bajo los lineamientos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; No obstante, para esta fecha no se encuentran publicados en la literatura documentos que indiquen que dichos planes se encuentren en ejecución.

El páramo Santurbán, por su parte, fue delimitado en el año 2014 mediante la Resolución 2090, este ya cuenta con el Plan de Manejo Ambiental publicado en octubre de 2019 (Benavides et al. 2019), hoy en día a pesar de que el Santurbán fue el primero en ser delimitado, sigue presentando problemas en torno a su delimitación, como se ha mencionado anteriormente, los habitantes están preocupados porque no se han concretado mesas de participación para llegar a una verdadera solución (Cuadros et al. 2018).

Por otro lado, además de la normatividad existente, el país ha desarrollado estrategias de conservación y monitoreo como el EMA, esta es una propuesta que se ha venido consolidando desde el 2018 en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) de Colombia con el apoyo de CONDESAN. Con el objetivo de: caracterizar la integridad de los ecosistemas altoandinos, su estado de funcionamiento y los servicios ecosistémicos; monitorear los procesos de cambio a distintas escalas; y evaluar la efectividad de las estrategias de conservación, manejo y restauración. Esta estrategia fue probada por primera vez en noviembre de 2020 y el 30 de agosto del 2021, SIÉ Ingeniería presentó una primera versión de los resultados del primer Reporte de Estado y Tendencia del Socio-ecosistema de Alta Montaña de Río Claro (Villamaría, Caldas, Colombia). El evento estuvo enmarcado en el trabajo de desarrollo de un piloto de la Estrategia de Monitoreo Integrado de Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia (EMA) en la zona, y contó con la participación de los actores que suministraron información para el proyecto, representantes de la academia, y entes de planificación y gestión territorial de la región de la cuenca del Río Claro (CONDESAN,2021).

Entre los resultados más importantes, se señalaron las claras evidencias de cambio en el manejo de la tierra entre los años 2006 y 2018, con un aumento de la actividad ganadera con respecto a la actividad agrícola. Se registró también una reducción en las áreas de bosques, especialmente en las zonas más bajas alejadas de la protección del Parque. El equipo reportó la mayor cantidad de información disponible dentro del gradiente asociado al área protegida del PNN los Nevados, mientras que las zonas más bajas presentan información escasa o simplemente no poseen

información. En este sentido, la captura de información y la promoción de iniciativas de monitoreo en gradientes bajos, se perfila como uno de los principales desafíos de la Estrategia de Monitoreo Integrado. (CONDENSAN,2021).

Además de proporcionar una gran cantidad de información clave para la gestión sostenible de los socio-ecosistemas en la zona, la experiencia de Río Claro será de utilidad para el trabajo a escala nacional. A su vez, la EMA constituye un proceso pionero en los Andes, en su objetivo de consolidar y analizar la información generada por distintas redes de monitoreo e instituciones, que se presentan muchas veces de manera aislada e independiente, favoreciendo un enfoque integrado. Esta estrategia permite así aportar insumos para la planificación territorial, la adaptación al cambio climático y la restauración ecológica, fundamentales para el desarrollo sostenible en los paisajes y los socio-ecosistemas andinos. (CONDENSAN,2021)

A pesar de lo anterior, las mencionadas disposiciones no han sido suficientes para atenuar la principal causa de contaminación y destrucción paramuna, en donde la minería, al representar un elemento indispensable para la economía del país, siempre se encontrará por encima de los derechos colectivos e incluso constitucionales. Por consiguiente, se deduce que a pesar del notorio desarrollo que se ha logrado alcanzar en materia ambiental, se siguen presentando vacíos normativos; representados por la apremiante necesidad de separar los intereses económicos, del derecho público a gozar de un ambiente sano. También la indocilidad institucional, al incumplir con los objetivos sobre los cuales se fundó todo el sistema de normas que regulo su creación. Por último, la falta de participación ciudadana y esencialmente la de las comunidades directamente afectadas con la contaminación de los páramos, en la expedición de licencias para la explotación minera y la venta de títulos mineros dentro de estas zonas. (Castellanos et al,2017).

6.2 Áreas protegidas y páramos

Colombia cuenta con 1.044 ANP, que constituyen la principal herramienta para la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Los 35 complejos estudiados presentan jurisdicción en 186 áreas del Sistema Nacional de Áreas de Protegidas (RUNAP, 2018). En total, hay 1.363.384.03 ha de páramos en jurisdicción de ANP, los cuales representan el 51.57 % de articulación. La categoría de parque nacional natural incluye la mayor extensión de páramos, con 914.683.96 ha; sin embargo, este resultado representa solo el 8.2 % del área de parques, que en

total tiene 11.069.639.78 ha. (Vergara-Buitrago,2020). Según el Decreto 2811 de 1974, los parques nacionales son definidos como áreas de extensión que permiten su autorregulación ecológica y cuyos ecosistemas, en general, no han sido alterados por la explotación u ocupación humana. En ellos, las especies vegetales de animales, complejos geomorfológicos y manifestaciones históricas o culturales tienen valor científico, educativo, estético y recreativo. Las reservas naturales de la sociedad civil son la categoría de mayor implementación, con 57 áreas que representan el 4.9 % de un total de 123.032 ha; no obstante, esta es la categoría con menor extensión en Colombia, razón por la cual se debe promover la adopción de otras figuras de conservación, en las áreas de páramos que carecen de articulación con alguna estrategia de protección. Las autoridades ambientales de Colombia deben implementar estrategias de conservación para el 48.43 % de los complejos de páramos que no cuenta aún con esta herramienta, con miras a asegurar la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos naturales que soportan la diversidad biológica de esos ecosistemas. Entre las opciones, destacan la implementación de tácticas internacionales complementarias como sitios Ramsar, Áreas Importantes para la Conservación de las Aves [AICAS], Reservas de la Biosfera o sitios de Patrimonio Natural, que permiten garantizar la protección de sus múltiples servicios ecosistémicos en Colombia (Vergara-Buitrago,2020).

6.3 Aplicaciones de los drones en el monitoreo ambiental

Revisado el estado y aplicaciones de los VANT en la gestión ambiental a través del monitoreo de ecosistemas encontramos como principales aplicaciones las siguientes:

6.3.1 Monitoreo Forestal

Aguilar en el 2016, 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, Banu y Borlea en el 2016, 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.

Esto se debe principalmente a que los UAS ofrecen la posibilidad de realizar una medición no destructiva y precisa de muchos atributos de los árboles (bosques). El actual crecimiento de las tecnologías UAS ha hecho albergar grandes esperanzas de que la tecnología pueda utilizarse para estudiar la dinámica de los bosques, la composición de las especies de los rodales las perturbaciones y otros atributos de los bosques (Banu et al., 2016). Varios trabajos de investigación realizados por diferentes autores revelan que los UAS se aplicaron en la estimación de parámetros dendrométricos. Los estudios realizados en Canadá y en países europeos (Goodbody, Coops, Marshall, Tompalski, & Crawford, 2017; Hird et al., 2017; Puliti et al., 2015; Torresan et al., 2017) han demostrado que los UAS eran capaces de estimar la altura de los árboles, la anchura de la copa, el área basal, el número de tallos; y de modelar el volumen bruto de las existencias y la biomasa sobre el suelo. Los resultados de la investigación de Zahawi et al. (2015) revelaron que las tecnologías UAS son viables para el seguimiento de la restauración de los bosques tropicales en Costa Rica. Los resultados de este estudio revelaron que los UAS son capaces de predecir la altura del dosel y la biomasa por encima del suelo con el mismo nivel de precisión que los sistemas LiDAR. Los UAS también se utilizan para la clasificación de las especies de árboles y la cuantificación de los vacíos espaciales en los bosques. Burchfield (2014) utilizó los UAS para cartografiar árboles y arbustos invasores en el este de Kansas (Estados Unidos). Del mismo modo, las imágenes multitemporales de UAS diferenciaron las especies de árboles en el sur de Bélgica (Michez, Piégay, Lisein, Claessens y Lejeune, 2016). La posibilidad de volar en cualquier momento necesario y de adquirir imágenes de alta resolución espacial ofrece la oportunidad de estudiar la identificación de las plantas, lo que ha sido difícil con los sistemas ordinarios de teledetección por satélite. Getzin et al. (2014) utilizaron imágenes de UAS para analizar los patrones de huecos en el dosel de los bosques en Alemania. Este estudio de los patrones espaciales de huecos en el dosel de los bosques es relevante como indicador de biodiversidad. Además, los UAS se utilizaron para determinar la altura del dosel de una mezcla de rodales de frondosas de edad desigual con predominio de robles y rodales de coníferas de edad uniforme en Bélgica y Estados Unidos (Dandois & Ellis, 2013; Lisein, Pierrot-Deseilligny, Bonnet, & Lejeune, 2013).

6.3.2 Monitoreo de incendios y protección de bosques

Otros estudios han indicado que los UAS tienen potencial para el seguimiento de la recuperación tras un incendio y la protección de los bosques. Las investigaciones científicas indican que los UAS han contribuido a la vigilancia de los incendios forestales, especialmente en entornos topográficos difíciles (Cruz, Eckert, Meneses, & Martínez, 2016; Ollero & Merino, 2006). Se utiliza para generar información sobre el estado de la vegetación, el estrés hídrico y los índices de riesgo de riesgo antes de que se produzca un incendio. Durante la incidencia del incendio, los UAS que tienen sensores infrarrojos y visibles son importantes para la detección y monitorización de incendios. En estudios recientes, estos sensores se montaron en UAS para estudiar la estructura de los incendios forestales en curso (Casbeer, Beard, McLain, Li, & Mehra, 2005; Martínez-De Dios et al., 2011; Merino et al., 2012). En estos estudios, los UAS se utilizaron para detectar comportamiento en tiempo real de los incendios forestales, como la ubicación y la forma del frente de fuego, la velocidad de propagación y la altura de las llamas del incendio. Un estudio reciente indicó que UAS ayudó a vigilar la salud de los bosques y a cartografiar enfermedades forestales. Por ejemplo, los sensores visibles e infrarrojos se utilizaron para elaborar mapas de infestación de plagas en Alemania (Lehmann, Nieberding, Prinz, & Knoth, 2015). Además, los investigadores han descubierto que los UAS son herramientas vitales para la reconstrucción en 3D para la modelización del crecimiento (Gatziolis, Lienard, Vogs, & Strigul, 2015) y estudiar la biodiversidad (Sandbrook, 2015). La tecnología ayudó a estudiar los patrones estacionales de cambio de la vegetación de los humedales (Marcaccio, Markle y ChowFraser, 2015). Así pues, los UAS tienen importancia para estudiar las condiciones del hábitat y comprender el estado de la biodiversidad.

6.3.3 Monitoreo forestal participativo

Finalmente, los UAS también pueden apoyar los esfuerzos de gestión forestal participativa, especialmente en los países en desarrollo. Esto puede servir como medio para evaluar los impactos de intervención y como herramienta de planificación de nuevas acciones. Se cree que estas aplicaciones de los UAS mejorarán los planes de gestión forestal comunitaria en los de los trópicos, ya que las comunidades pobres que viven en estas zonas del mundo reciben asistencia y financiación externas (Paneque-Gálvez et al. del planeta (Paneque-Gálvez et al., 2014).

6.4¿Que se está haciendo en Colombia con los drones?

En el país si bien el uso de los drones cada vez es mayor por parte de las CAR en sus procesos de gestión y desarrollo ambiental, se evidencia según los datos recopilados por Pablo Heredia , investigador y CEO de la Asociación Profesional de Pilotos de Drones,(APD) ,en el “informe de la encuesta para el desarrollo de los lineamientos nacionales para la implementación y promoción del uso de la tecnología UAS/Drone a nivel nacional en el sector ambiental” realizado en el 2019, que el uso de esta tecnología, así como la certificación y capacitación del personal humano para su uso y la gestión de permisos ante las autoridades competentes, es todavía muy incipiente y existe un gran desconocimiento acerca de su potencial y eficiencia, relacionado con el uso de drones en procesos de planificación, monitoreo y seguimiento de los recursos naturales en Colombia (Heredia, 2019).

Sin embargo, existen en la actualidad procesos como el que está desarrollando la Universidad Sergio Arboleda con la CAR de Cundinamarca, el cual consiste en un inventario de flora que tendrá la CAR de un área del páramo de Cruz Verde-Sumapaz, a través de técnicas de espectrometría con miras a localizar 74 especies priorizadas por la CAR, porque son especies nativas que se encuentran en amenaza para su conservación –como el Roble Andino (*Quercus humbolt ii*)– o porque son especies introducidas y se han vuelto no deseadas dentro de estos ecosistemas. Este último es el caso del Retamo espinoso (*Ulex eurapaeus*). A cada una de estas especies se les tomó una firma espectral, es decir, la huella inequívoca que se genera a partir del reflejo de la luz del sol sobre la superficie que la planta posee y que, mediante procesamiento digital, le permite ser localizada sobre la imagen en un Sistema de Información Geográfico. Una vez generado la librería de firmas espectrales, se hizo el barrido o el levantamiento del área con drone, el cual genero imágenes con menos de un 3% de nubosidad y tienen un tamaño de pixel de 10 cm, lo que significa que cualquier elemento mayor a 10 centímetros cuadrados, que se encuentre dentro de la zona de estudio, queda registrado. Adicionalmente, las imágenes capturaron información del visible y del infrarrojo, lo cual resulta ser información valiosa para otros proyectos de investigación ambiental. (Universidad Sergio Arboleda,2020)

Como complemento a todo este trabajo florístico y espectral, la Universidad Sergio Arboleda, desarrollo un módulo de software para sistemas de información geográfico a la medida, que se incorporará al Sistema de la CAR-PESCAR. Este módulo permite el procesamiento de imágenes de sensores remotos ya sean satelitales, aerotransportadas o de drones para localizar no solamente las especies vegetales del listado reportado en campo sino, también, las principales coberturas y los usos del suelo mediante clasificación orientada a objetos. (Universidad Sergio Arboleda,2020)

Por otro lado, las investigadoras Carol Garzón y Eloisa Lasso en su estudio denominado “Clasificación de especies en un ecosistema alpino tropical utilizando imágenes RGB e hiperespectrales transmitidas por UAV” identificaron y exploraron, el potencial de las imágenes RGB e hiperespectrales transmitidas por vehículos aéreos no tripulados para la clasificación de especies en un tipo de ecosistema alpino tropical (páramo). Los resultados con respecto a la identificación de especies mediante imágenes RGB resaltan la importancia de esta tecnología de bajo costo como una herramienta útil para el monitoreo de la vegetación en este ecosistema, especialmente dado que todos los análisis se realizaron utilizando software libre y de código abierto (FOSS), que mantiene los costos bajos y facilita la aplicabilidad. (Garzon-Lopez,2020)

Además, encontraron que la clasificación de especies hiperespectral automatizada, utilizando una combinación de múltiples métodos de selección de características, partición de datos, clasificadores, número de clases y enfoques de validación cruzada, permitió explorar el potencial del hiperespectral para la clasificación de especies de páramo a fondo. Aunque la resolución de píxeles utilizada en este estudio permitió realizar todo el análisis, explorar la resolución espacial proporcionaría información sobre los umbrales de resolución necesarios para una clasificación precisa de las especies. (Garzon-Lopez,2020)

Finalmente, las autoras concluyen que el potencial de esta tecnología para ayudar a comprender, monitorear y detectar amenazas a escala de paisaje abre una alternativa prometedora para el manejo y conservación de especies en las regiones alpinas tropicales. Las imágenes RGB y los datos hiperespectrales ofrecen varias ventajas para monitorear los cambios en los patrones

de distribución y supervivencia de las especies. Las imágenes RGB se pueden usar para el monitoreo anual de áreas seleccionadas, y las imágenes hiperespectrales se pueden aplicar para el monitoreo de cinco años a nivel de paisaje, con la ventaja de todas las otras aplicaciones conocidas de estos datos (por ejemplo, señales bioquímicas de cambio y detección de especies invasoras). Las direcciones futuras podrían construirse a partir de este método y explorar el mapeo de rasgos de plantas utilizando imágenes hiperespectrales transmitidas por UAV. (Garzon-Lopez,2020).

6.5 Oportunidades de los drones

En los últimos años, las tecnologías de los UAS están evolucionando rápidamente y resultan adecuadas para múltiples aplicaciones. Hay varias razones que hacen que estas tecnologías sean relativamente preferidas. Las investigaciones sobre las aplicaciones de los UAS realizadas en muchos sectores han demostrado que el interés emergente por estas tecnologías está relacionado con el tamaño reducido de los vehículos, la asequibilidad en términos de coste, el bajo consumo de energía, la flexibilidad, la minimización de los riesgos y los datos de alta resolución espacial resultantes (Banu et al., 2016; Christensen, 2015; Colomina & Molina, 2014; Gaitani, Burud, Thiis, & Santamouris, 2017; Hird et al., 2017; Puliti et al, 2015). Como resultado, una diversa gama de usuarios finales hace uso de estas tecnologías. Los avances en el diseño de las plataformas de los vehículos aéreos no tripulados han contribuido a la innovación de pequeños UAS que vuelan a baja altura para proporcionar imágenes de resolución espacial muy fina (Anderson & Gaston, 2013; Yuan, Zhang, & Liu, 2015). El coste de la recogida y el procesamiento de datos utilizando UAS es menor que el de los métodos equivalentes que proporcionan la misma precisión que los sistemas LiDAR terrestres y de escaneo láser aerotransportado (Lisein et al., 2013; Puliti et al., 2015). Además, las tecnologías UAS son importantes porque son flexibles (Yuan et al., 2015). La planificación de la misión y la altitud de vuelo se controlan en función de las necesidades reales de los usuarios. Las trayectorias de vuelo se diseñan para cumplir los objetivos de la misión de vuelo (Colomina y Molina, 2014). Por tanto, esta tecnología es un método eficiente de recogida de datos espaciales para multitud de aplicaciones en el sector forestal que van desde la clasificación de especies hasta la monitorización de incendios forestales y la modelización de volúmenes o biomasa. La técnica atrae la atención de muchos profesionales ya que tiene la capacidad de generar datos para estudiar una amplia zona de terreno con un coste menor y una mayor eficiencia que los

sistemas terrestres. La otra ventaja de los UAS está relacionada con el bajo consumo de energía (Banu et al., 2016). Los pequeños UAS utilizan combustible (gas) o baterías como fuente de energía. Aunque las baterías o el combustible deben cargarse con frecuencia, la energía necesaria para una misión es pequeña. Por lo tanto, su bajo requerimiento energético contribuye a la amplia aceptación de la tecnología. Sin embargo, la principal razón del creciente interés por el uso de las tecnologías UAS se debe a que proporcionan imágenes de alta resolución espacial basadas en un patrón temporal basado en la demanda. (Colomina y Molina, 2014; Gaitani et al., 2017).

Además, el uso de UAS es un método más seguro. No supone un riesgo de causalidad ya que no se pone en peligro ninguna vida humana durante el proceso. Por lo tanto, los UAS son importantes para vigilar los incendios forestales, vigilancia de zonas remotas y de difícil acceso, especialmente en zonas con topografía accidentada en las que el movimiento terrestre está restringido (Watts et al., 2010).

6.6 Retos para el análisis de la información recogida

La velocidad a la que convertimos los datos en información significativa no está en equilibrio con la tendencia a la generación de datos. Las técnicas de análisis disponibles no son eficientes para aprovechar todo el contenido de los datos recogidos por los UAS. Los big data, a menudo desestructurados y heterogéneos, requieren una interacción inteligente entre científicos de datos cualificados y expertos del sector (Wolfert, Ge, Verdouw, & Bogaardt, 2017). Por lo tanto, el desarrollo de capacidades para procesar y extraer información relevante es un requisito para que las organizaciones aprovechen al máximo el potencial de la tecnología. (Berie, 2018).

7. CONCLUSIONES

- Si bien Colombia dispone de un marco normativo para proteger y delimitar los páramos (leyes: la 1753 de 2015, la 1450 de 2011 y la que está vigente, la 1930 de 2018); aún existen conflictos de tipo social, ambiental y económico; como consecuencia de una deficiente información relacionada con los procesos de delimitación, y concertación oportuna con la sociedad civil en este proceso en algunos complejos de páramos.
- Por otra parte las Corporaciones Autónomas Regionales, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el apoyo del Instituto de Investigaciones y Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, tienen una gran misión por cumplir, relacionada con las actividades de sustitución o reconversión de actividades agropecuarias basadas en el conocimiento adquirido en este tiempo; lo cual no se puede hacer de un día para otro, razón por lo cual lo primero que se debe abordar a cabalidad son todos los procesos que permitan la delimitación de estos ecosistemas sensibles, en los cuales se debe muy claro a las comunidades la zonificación de zonas de conservación estricta y las de uso sostenible.
- En consecuencia, es claro que los ecosistemas de páramo están muy amenazados por el cambio de uso de la tierra, la amenaza de la minería, las invasiones de plantas exógenas y el cambio climático; por lo tanto, el potencial del uso de los drones podría ayudar a comprender, monitorear y detectar amenazas a escala de paisaje, y abre una alternativa prometedora para el manejo y conservación de especies en las regiones alpinas tropicales.
- En virtud de lo anterior, es importante promover el uso de las nuevas tecnologías como lo son los Drones, como instrumento para potenciar los procesos de planificación, delimitación, monitoreo y seguimiento de los ecosistemas sensibles de montaña como lo son los páramos.
- Con el uso de esta herramienta tecnológica, se podría complementar y maximizar los procesos de delimitación y monitoreo de páramos existentes, como lo es la estrategia EMA, que recopila e integra diferentes métodos y estrategias de monitoreo en los ecosistemas de páramos y glaciares con la participación ciudadana.
- En esa medida, los drones pueden contribuir a fortalecer los procesos de estudios multitemporales con resoluciones espaciales y temporales altas, a menor costo, obteniendo mapas y ortofotografías actuales del estado de los páramos. Por otro lado, se podrían

utilizar para el seguimiento de especies banderas del páramo como es el oso de anteojos, a través de la zonificación de su hábitat y su seguimiento por medio de sensores termográficos.

- Por otra parte, es fundamental que las autoridades ambientales competentes específicamente las CAR, secretarías ambientales, parques nacionales, entes y organizaciones sociales y ambientales y la comunidad, se capaciten en el uso de estos equipos, específicamente el pilotaje de drones, fotogrametría y procesamiento de la información recogida, ya que, si bien, hoy en día se están usando los drones, el uso en la mayoría de los casos, se limita al registro fotográfico, sin cumplir con protocolos de seguridad y normas de vuelo y no se aprovecha todo el potencial que ofrece esta tecnología.
- También se evidencia que muchas de las CAR que usan los drones para sus procesos ambientales, desconocen la normativa existente acerca del pilotaje de los drones, no poseen personal capacitado y cualificado tanto en el pilotaje como en la interpretación de la información recogida.
- Por último, es importante resaltar el papel de la academia en los procesos de investigación y participación con los diferentes entes ambientales, ya que se podría obtener buenos resultados como el caso de la Universidad Sergio Arboleda con la CAR de Cundinamarca, con el proyecto de banco de firmas espectrales y posterior mapeo y reconocimiento de especies vegetales de los páramos. Proyectos de vital importancia para conservar estos ecosistemas tan sensibles y vitales para nuestro país.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- Aeronáutica Civil de Colombia, Resolución 0420 del 5 de febrero de 2019.
- Aeronáutica Civil. (2018). Aeronáutica Civil Resolución Número 04201 de 27 de diciembre de 2018. [http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/Resoluciones TA 2018/RESL. N° 04201 DIC 27 de 2018.pdf](http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/Resoluciones%20TA%202018/RESL.%20N%2004201%20DIC%2027%20de%202018.pdf).
- Anderson, K., & Gaston, K.J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11 (3), 138–146.
- APD. Regulación Drone en Colombia. 2020.https://apd.org/nueva-regulacion-de-drones-en-colombia/?gclid=EAIaIQobChMIqb7QmoWB8AIVJD2tBh2cpwZ9EAAAYAiAAEgLR0fD_BwE
- APD. Regulación Drone en Colombia. 2020.recuperado de https://apd.org/nueva-regulacion-de-drones-en-colombia/?gclid=EAIaIQobChMIqb7QmoWB8AIVJD2tBh2cpwZ9EAAAYAiAAEgLR0fD_BwE
- Avances en el Programa Piloto de la Estrategia de Monitoreo Integrado de Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia (EMA). (2021, 8 septiembre). CONDESAN. <https://condesan.org/2021/09/08/avances-programa-piloto-la-estrategia-monitoreo-integrado-ecosistemas-alta-montana-colombia-ema/>
- Baldeck, CA; Asner, GP; Martin, RE; Anderson, CB; Knapp, DE; Kellner, JR; Wright, SJ Mapeo operativo de especies de árboles en un bosque tropical diverso con espectroscopía de imágenes aéreas. *PLoS ONE* 2015, 10 , e0118403. [Google Académico] [CrossRef]

Banu, T.P., Borlea, G.F., & Banu, C. (2016). The Use of Drones in Forestry. *Journal of Environmental Science and Engineering B*, 5, 557–562.

Based Image Analysis (OBIA). *Remote Sens.* 2018, 10, 1331. [Google Scholar] [CrossRef]

Benavides, J., Naussa, S., & Peña, R. (octubre de 2019). *CDMB*. Obtenido de Plan de Manejo Parque Regional Páramo de Santurbán: http://www.cdm.gov.co/web/images/Documentacion/ciudadano/DOCUMENTO_TECNICO_PM_PNR_25_10_19.pdf

Berie, H. T., & Burud, I. (2018). Application of unmanned aerial vehicles in earth resources monitoring: Focus on evaluating potentials for forest monitoring in Ethiopia. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 326–335. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1432993>

Berni, JAJ; Zarco-Tejada, PJ; Sepulcre-Canto, G.; Fereres, E.; Villalobos, F. Mapeo de la conductancia del dosel y CWSI en huertos de olivos utilizando imágenes de detección remota térmica de alta resolución. *Ambiente Sens. Remoto.* 2009, 113, 2380–2388.

Birdsey, R .; Ángeles-Pérez, G .; Kurz, WA; Lister, A .; Olguin, M .; Pan, Y .; Wayson, C .; Wilson, B .; Johnson, K. Enfoques para monitorear cambios en las existencias de carbono para REDD +. *Carbon Manag.* 2013, 4 , 519–537.

Boon, M.A.; Greenfield, R.; Tesfamichael, S. Wetland Assessment Using Unmanned Aerial Vehicle (Uav) Photogrammetry. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2016, *XLI-B1*, 781–788. [Google Scholar] [CrossRef]

Bueno, J .; Ritoré, S. Modelo de bioprospección para una nueva iniciativa de descubrimiento de fármacos en Colombia en la industria farmacéutica. En análisis de ciencia, tecnología e innovación en economías emergentes; Martínez, CIP, Poveda, AC, Moreno, SPF, Eds .; Springer International Publishing: Cham, Suiza, 2019; págs. 37–63. [Google Académico]

- Buytaert, W. 2004. The properties of the soils of the south Ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology. Ph.D. thesis, Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences. Katholieke Universiteit. Leuven.
- Casella, E.; Collin, A.; Harris, D.; Ferse, S.; Bejarano, S.; Parravicini, V.; Hench, J.L.; Rovere, A. Mapping coral reefs using consumer-grade drones and structure from motion photogrammetry techniques. *Coral Reefs* 2017, 36, 269–275. [Google Scholar] [CrossRef]
- Castellanos Calderón, G., & Castellanos Calderón, G. (2017). Las problemáticas socioambientales generadas por la explotación minera en los páramos de Colombia. *Misión Jurídica*, 10(13), 367–379. <https://doi.org/10.25058/1794600x.173>
- Cuadros Salazar, M. F., & Sanabria Fajardo, A. K. (2018). Relación Humano-Ambiental en el Páramo de Santurbán: una Perspectiva desde la Ecología. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- Chabot, D.; Dillon, C.; Shemrock, A.; Weissflog, N.; Sager, E.P.S. Geo-Information An Object-Based Image Analysis Workflow for Monitoring Shallow-Water Aquatic Vegetation in Multispectral Drone Imagery. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2018. [Google Scholar] [CrossRef]
- Christensen, B.R. (2015). Use of UAV or remotely piloted aircraft and forward-looking infrared in forest, rural and wildland fire management: Evaluation using simple economic analysis. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 45, 16.
- CL. Castaño Uribe, C. Franco y Rey, “Proyecto Atlas Mundial de los Páramos”, Quito: Global Peatland Initiative/NCIUCN/EcoCiencia, 2004.
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 9–97
- Congreso Colombia. (2018). Ley 1930 de 2018. Congreso, 1930, 14. http://www.andi.com.co/Uploads/Ley-2018-N0001930_20180727.pdf.

- Corpocaldas, “Proyecto conservación y protección del Cóndor Andino en el Parque Nacional Natural Los Nevados”, *Gestión Ambiental*, no. 5, 2000.
- Cress, J.; Hutt, M.; Sloan, J.; Bauer, M.; Feller, M.; Goplen, S. *US Geological Survey Unmanned Aircraft Systems (UAS) Roadmap 2014*; USGS: Reston, VA, USA, 2015.
- Cuascota, N. (2016). *La Problemática de los Páramos desde el Derecho Ambiental Ecuatoriano : El Caso de los Páramos del Cantón Cayambe*. 10–12.
file:///C:/Users/HP/Desktop/Documentos_Mendeley/“La Problemática de los Páramos desde el Derecho Ambiental.pdf
- E. Orfanó Figueredo, 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.
- Eisenbeiss, H .; Zhang, L. Comparación de DSM generados a partir de imágenes de Mini UAV y escáner láser terrestre en una aplicación de patrimonio cultural. En *Proceedings of the International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVI-5*, Dresden, Alemania, 25 a 27 de septiembre de 2006.
- Él, KS; Rocchini, D .; Neteler, M .; Nagendra, H. Beneficios de la teledetección hiperespectral para rastrear invasiones de plantas: Invasión de plantas y teledetección hiperespectral. *Diversos*. Distrib. 2011 , 17 , 381–392. [Google Académico] [CrossRef]
- Everaerts, J. El uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para la detección remota y la cartografía. En *Actas del XXI Congreso de la ISPRS, Beijing, China, 3 a 11 de julio de 2008*; ISPRS — Sociedad Internacional de Fotogrametría y Percepción Remota: Beijing, China, 2008; págs. 1187-1191.
- Ewald, M .; Skowronek, S .; Aerts, R .; Lenoir, J .; Feilhauer, H .; van de Kerchove, R .; Honnay, O .; Somers, B .; Garzón-López, CX; Rocchini, D .; et al. Evaluación del impacto de una

- broifita invasora en la riqueza de especies de plantas mediante espectroscopia de imágenes de alta resolución. *Ecol. Indic.* 2020 , 110 , 105882. [Google Académico] [CrossRef]
- Ewers, R.M.; Rodrigues, A.S.L. Estimates of reserve effectiveness are confounded by leakage. *Trends Ecol. Evol.* 2008, 23, 113–116. [Google Scholar] [CrossRef]
- Farley, KA; Bremer, LL; Harden, CP; Hartsig, J. Cambios en el almacenamiento de carbono bajo usos alternativos de la tierra en pastizales andinos biodiversos: implicaciones para el pago por servicios ecosistémicos. *Conserv. Letón.* 2013 , 6 , 21-27. [Google Académico] [CrossRef]
- Ferreira Cardenas, Iván Mauricio. Los riesgos que representa el uso no autorizado de drones en el espacio aéreo colombiano Bogotá, 2015, 18p. Trabajo de investigación (Relaciones Internacionales). Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de relaciones internacionales, estrategia y seguridad. {En línea} disponible en: (<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/14244/3/FerreiraCardenasIvanMauricio2015.pdf>).
- Fraser, R.H.; Olthof, I.; Lantz, T.C.; Schmitt, C. UAV photogrammetry for mapping vegetation in the low-Arctic. *Arct. Sci.* 2016, 2, 79–102. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]
- Freemantle, T.P.; Wachter, T.; Newby, J.; Pettorelli, N. Earth observation: Overlooked potential to support species reintroduction programmes. *Afr. J. Ecol.* 2013. [Google Scholar] [CrossRef]
- Gaitani, N., Burud, I., Thiis, T.K., & Santamouris, M. (2017). High-resolution spectral mapping of urban thermal properties with unmanned aerial vehicles. *Building and Environment*, 121, 215–224
- Garzón-López, CX; Bohlman, SA; Olf, H .; Jansen, PA Mapeo de árboles de bosques tropicales mediante fotografías aéreas digitales de alta resolución. *Biotropica* 2013 , 45 , 308–316. [Google Académico] [CrossRef]

Garzón-López, CX y Lasso, E. (2020). Clasificación de especies en un ecosistema alpino tropical utilizando imágenes RGB e hiperespectrales transmitidas por UAV. *Drones* , 4 (4), 69. MDPI AG. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3390/drones4040069>

[GJÁ Andrade, Colombia Diversidad Biótica III. La región de vida paramuna. Instituto de Ciencias Naturales, 2000.

Gonçalves, J.A.; Henriques, R. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2015. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

González, J. D. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería*, 64-75.

Gross, J.E.; Goetz, S.J.; Cihlar, J. Application of remote sensing to parks and protected area monitoring: Introduction to the special issue. *Remote Sens. Environ.* 2009, 113, 1343–1345. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Guevara-Bonilla, M., Meza-Leandro, A. S., Esquivel-Segura, E. A., Arias-Aguilar, D., Tapia-Arenas, A., & Masís Meléndez, F. (2020). Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANTs) para el monitoreo y manejo de los recursos naturales: una síntesis. *Revista Tecnología En Marcha*, 33(4), Pág. 77–88. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i4.4528>.

Haarbrink, R .; Eisenbeiss, H. Producción precisa de DSM a partir de sistemas de helicópteros no tripulados. *En t. Arco. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* **2008** , 37 , 1259–1264.

Hardin, PJ; Jensen, RR Introducción — Sistemas aéreos no tripulados a pequeña escala para la teledetección ambiental. *GISci. Remote Sens.* 2011, 48 , 1–3.

Heredia, P. Informe de Taller y encuesta para el desarrollo de los lineamientos nacionales para la implementación y promoción del uso de la tecnología UAS/Drone a nivel nacional en el sector ambiental. Ministerio de Ambiente de Colombia. 2019

Hill, D.J.; Tarasoff, C.; Whitworth, G.E.; Baron, J.; Bradshaw, J.L.; Church, J.S. Utility of unmanned aerial vehicles for mapping invasive plant species: a case study on yellow flag iris (*Iris pseudacorus* L.). *Int. J. Remote Sens.* 2017, 38, 2083–2105. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

- Hird, J.N., Montaghi, A., McDermid, G.J., Kariyeva, J., Moorman, B.J., Nielsen, S.E., & McIntosh, A.C.S. (2017). Use of unmanned aerial vehicles for monitoring recovery of forest vegetation on petroleum well sites. *Remote Sensing*, 9(5), 1–20
- Hofstede R, J. C. (2014). *Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. Quito, Ecuador: UICN.
- Hofstede, R. S. (2003). *Los páramos del mundo*. Quito: Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative /NC-IUNC/Ecociencia.
- Horcher, A .; Visser, RJ Vehículos aéreos no tripulados: aplicaciones para la gestión y el seguimiento de los recursos naturales. En *Proceedings of the Council on Forest Engineering Proceedings 2004: Machines and People, The Interface*, Hot Springs, AR, EE. UU., 27-30 de abril de 2004.
- Horcher, A .; Visser, RJ Vehículos aéreos no tripulados: aplicaciones para la gestión y el seguimiento de los recursos naturales. En *Proceedings of the Council on Forest Engineering Proceedings 2004: Machines and People, The Interface*, Hot Springs, AR, EE. UU., 27-30 de abril de 2004.
- I. Colomina y P. Molina, «Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review,» *Journal of photogrammetry and remote sensing*, nº 92, pp. 79-97, 2014.
- IAVH. (2013). *Cartografía de los Páramos de Colombia: Diversidad, territorio e historia*. Obtenido de Lista de complejos: <http://www.humboldt.org.co/es/actualidad/item/109-nueva-cartografia-de-los-paramos-de-colombia-diversidad-territorio-e-historia>.
- Ideam, 2012, p. 66- Plan Nacional de Desarrollo Pag. 525.
- J. Richards y X. Jia, *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer, 2006.
- Knoth, C.; Klein, B.; Prinz, T.; Kleinebecker, T. Unmanned aerial vehicles as innovative remote sensing platforms for high-resolution infrared imagery to support restoration monitoring in cut-over bogs. *Appl. Veg. Sci.* 2013. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Koh, LP; Wich, SA Dawn of Drone Ecology: vehículos aéreos autónomos de bajo costo para la conservación. *Trop. Conserv. Sci.* **2012** , 5 , 121-132.

Kraaijenbrink, P.D.A.; Shea, J.M.; Pellicciotti, F.; de Jong, S.M.; Immerzeel, W.W. Object-based analysis of unmanned aerial vehicle imagery to map and characterise surface features on a debris-covered glacier. *Remote Sens. Environ.* 2016, 186, 581–595. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

La Sergio Arboleda y la CAR se unen para monitorear y preservar la flora en Cundinamarca, con tecnologías 4.0. (2021). Universidad Sergio Arboleda. Recuperado de: <https://www.usergioarboleda.edu.co/noticias/la-sergio-arboleda-y-la-car-se-unen-para-monitorear-y-preservar-la-flora-en-cundinamarca-con-tecnologias-4-0/>

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.

L. Aguilar, «Evaluación de bosques tropicales mediante el uso de tecnología VANT,» *Revista Germinar*, n° 19, pp. 14-15, 2016.

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.
Tecnología en Marcha, Vol. 33, N.º 4, Octubre-Diciembre 2020 87

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.

Ley 1939 de 2018. Congreso de Colombia.

Lisein, J., Pierrot-Deseilligny, M., Bonnet, S., & Lejeune, P. (2013). A photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small-unmanned aerial system imagery. *Forests*, 4(4), 922–944

Llambí, L. D. (2018). Memorias del Taller. Diversidad y Funcionamiento de Ecosistemas Andinos de Colombia en Escenarios de Cambio Ambiental: Hacia un sistema integrado de monitoreo (Informe Técnico). Bogotá D. C.: IDEAM. 26 pp.

Madriñán, S. ; Cortés, AJ; Richardson, JE Páramo es el hotspot de biodiversidad más fresco y de mayor evolución del mundo. Parte delantera. *Gineta*. 2013, 4 , 192. [Google Académico] [CrossRef] [PubMed]

MADS, 2018. Estrategia para Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña de Colombia.

MADS, PNUD, 2014, p. 88 SCDB, 2014, p. 12

MADS. (18 de mayo de 2018). *Resolución 0886*. Obtenido de http://pisba.minambiente.gov.co/images/Normatividad/res_886_de_2018.pdf

Marcaccio, J.V.; Markle, C.E.; Chow-Fraser, P. Unmanned aerial vehicles produce high-resolution, seasonally-relevant imagery for classifying wetland vegetation. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2015, 40, 249–256. [Google Scholar] [CrossRef]

Marcinkowska-Ochtyra, A. ; Zagajewski, B. ; Raczko, E. ; Ochtyra, A. ; Jarocińska, A. Clasificación de comunidades de vegetación de alta montaña dentro de un ecosistema diverso de montañas gigantes utilizando imágenes hiperespectrales APEX en el aire. *Remote Sens.* 2018 , 10 , 570. [Google Scholar] [CrossRef]

Márquez, G. (2014). Ecosistemas estratégicos para la sociedad: Bases conceptuales y metodológicas. Bogotá: Universidad nacional de Colombia.

Martín, LD; Medina, J. ; Upegui, E. Evaluación de la mejora de la textura de la imagen aplicada a imágenes de vehículos aéreos no tripulados para la identificación de estrés biótico en Espeletia. Estudio de caso: Páramos de Chingaza (Colombia). *Cienc. E Ing. Neogranadina* 2020 , 30 , 27–44. [Google Académico] [CrossRef]

- Martínez, E. Análisis de la Respuesta Espectral de las Coberturas Vegetales de los Ecosistemas de Páramo Y Humedales a Partir de los Sensores Aerotransportados Ultracam D, Dji Phantom 3 Pro Y Mapir Nir. Casos de estudio humedal “El ocho”, Villamaria - Caldas. Tesis de Maestría, Universidad Católica de Manizales, Caldas, Colombia, 2017. [[Google Scholar](#)]
- Martínez, C. L. (2008). Servicios ecosistémicos que provee el páramo de la cuenca alta del río Teusacá: Percepción de los actores campesinos y su relación con los planes ambientales en la vereda Verjón Alto, Bogotá D.C.: Pontificia universidad javeriana, facultad de estudios ambientales y rurales.
- Mas, J.F. Assessing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area. *Environ. Monit. Assess.* 2005, *105*, 69–80. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- Mayr, M.J.; Malß, S.; Ofner, E.; Samimi, C. Disturbance feedbacks on the height of woody vegetation in a savannah: a multi-plot assessment using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Int. J. Remote Sens.* 2017, *39*, 4761–4785. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- Millennium Ecosystem Assessment - (MEA). (2003). Ecosystems and Human Well-being: A Framework For Assessment. Island Press. En: <http://www.millenniumassessment.org/en/Framework.aspx>
- Michez, A.; Piégay, H.; Jonathan, L.; Claessens, H.; Lejeune, P. Mapping of riparian invasive species with supervised classification of Unmanned Aerial System (UAS) imagery. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2016, *44*, 88–94. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- Mlambo, R.; Woodhouse, I.H.; Gerard, F.; Anderson, K. Structure from motion (SfM) photogrammetry with drone data: A low-cost method for monitoring greenhouse gas emissions from forests in developing countries. *Forests* 2017, *8*. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- Morales, J. & Estévez, J. (2006). El páramo: ¿Ecosistema en vía de extinción? *Revista Luna Azul* (22), 1.

- Muchiri, N., & Kimathi, S. (2016). A review of applications and potential applications of UAV. In Proceedings of Sustainable Research and Innovation Conference (pp. 280–283).
- Mulero-Pázmány, M.; Barasona, J.Á.; Acevedo, P.; Vicente, J.; Negro, J.J. Unmanned Aircraft Systems complement biologging in spatial ecology studies. *Ecol. Evol.* 2015, 5, 4808–4818. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed][Green Version]
- Müllerová, J.; Bartaloš, T.; Brůna, J.; Dvořák, P.; Vítková, M. Unmanned aircraft in nature conservation: an example from plant invasions. *Int. J. Remote Sens.* 2017, 38, 2177–2198. [Google Scholar] [CrossRef]
- Müllerová, J.; Brůna, J.; Dvořák, P.; Bartaloš, T.; Vítková, M. Does the data resolution/origin matter? Satellite, airborne and UAV imagery to tackle plant invasions. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2016, 41, 903–908. [Google Scholar] [CrossRef]
- Neumann, W., Martinuzzi, S., Estes, A. B., Pidgeon, A. M., Dettki, H., Ericsson, G., & Radeloff, V. C. (2015). Opportunities for the application of advanced remotely-sensed data in ecological studies of terrestrial animal movement. *Movement ecology*, 3(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40462-015-0036-7>.
- Newcome, LR *Unmanned Aviation: Breve historia de los vehículos aéreos no tripulados*; Instituto Americano de Aeronáutica y Astronáutica, Inc .: Reston, VA, EE. UU., 2004.
- Ortiz Galvis, E. A., & Laguna Urbina, J. d. (2018). Identificación de variables consideradas para la delimitación de paramos en Colombia. *Revistas Dinámica Ambiental Unilibre*, 71-82.
- Otero, J., Figueroa, A., Muñoz, F. y Peña, M. (2011). Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area. *Ecological Engineering*, 37(12), 2035- 2043. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.08.001>
- OVIEDO, Julio Cesar. USO DE LOS DRONES EN LA SEGURIDAD PRIVADA. Bogotá, 2016, 22p. Trabajo de especialización (Administración de la seguridad). Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de relaciones internacionales, estrategia y seguridad. {En línea} disponible en:

<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/7785/1/OviedoOviedoJulioCesar2016.pdf>).

Paramo.org., “Mecanismo de información de páramos”, 2010.

P. Adler y J. Morales, “Influence of environmental factors and sheep grazing on an Andean grassland”, *Journal of Range Management*, vol. 52, pp. 471-480, 1999.

Padierna, I. P. (2015). Disputas y conflictos en torno a la delimitación de los complejos de páramos en Colombia. *Scielo*, 257-275.

Paneque-Gálvez, J.; McCall, M.K.; Napoletano, B.M.; Wich, S.A.; Koh, L.P. Small drones for community-based forest monitoring: An assessment of their feasibility and potential in tropical areas. *Forests* 2014, 5, 1481–1507. [Google Scholar] [CrossRef]

Perroy, R.L.; Sullivan, T.; Stephenson, N. Assessing the impacts of canopy openness and flight parameters on detecting a sub-canopy tropical invasive plant using a small unmanned aerial system. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2017, 125, 174–183. [Google Scholar] [CrossRef]

Pino, E. (2019). Drones a tool for efficient agriculture: A high-tech future. *Idesia*, 37(1), 75–84.

Pinzón, C. S. (2013). *Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.

PNGIBSE. (2012). Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos. Bogotá D. C., Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de http://humboldt.org.co/images/pdf/PNGIBSE_espa%C3%B1ol_web.pdf

Pombo. (1989). *MADS*. Obtenido de páramos:

<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/410-plantilla-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos-12#imagenes>.

- Puliti, S., Ørka, H.O., Gobakken, T., & Næsset, E. (2015). Inventory of small forest areas using an unmanned aerial system. *Remote Sensing*, 7, 9632–9654.
- Rangel, J. (2000). *Colombia diversidad biótica III, la región de vida paramuna*. Bogotá D. C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Unilibros. <https://doi.org/10.18273/revsal.v49n2-2017006>
- Recuperado de: Drones para: conservación y protección ambiental. (s. f.). UAVSensefly. 2017 <https://www.uavsensefly.cl/aplicaciones-proteccion-ambiental/>
- REVISTA SEMANA, 2016 “Los drones se unen a las filas de la Fuerza Aérea”. {En línea}. disponible en: (<http://www.semana.com/nacion/articulo/militares-comienzan-usar-drones-en-operaciones/464063>).
- Rivera Ospina, D., & Rodríguez, C. (2011). Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia. In *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*.
- Sarmiento, C., Cadena, C., Sarmiento, M., Zapata, J. y León, O. (2013). Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia: Actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000. Bogotá D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- 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.
- S. Arriola-Valverde, A. Ferenz-Appel y R. Rimolo-Donadio, «Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos autó-nomos no tripulados,» *InvestigaTEC*, n° 31, pp. 09-12, 2018.
- Sierra, C. A., Mahecha, M., Poveda, G. et al. (2017). Monitoring ecological change during rapid socio-economic and political transitions: Colombian ecosystems in the post-conflict era. *Environmental Science and Policy*, 76, 40-49.rapid socio-economic and political transitions: Colombian ecosystems in the post-con□ict

- T. Banu, G. Borlea y C. Banu, «The use of drones in Forestry,» *Journal of Environmental Science and Engineering*, pp. 557-562, 2016.
- Tomlins, G. Algunas consideraciones en el diseño de aeronaves de bajo costo pilotadas a distancia para aplicaciones civiles de percepción remota. *Lata. Surv.* **1983** , 37 , 157-167.
- Tremblay, J.A.; Desrochers, A.; Aubry, Y.; Pace, P.; Bird, D.M. A Low-Cost Technique for Radio-Tracking Wildlife Using a Small Standard Unmanned Aerial Vehicle. *J. Unmanned Veh. Syst.* 2016, juvs-2016-0021. [Google Scholar] [CrossRef]
- 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
- Vallejo, M. I. y Gómez, D. I. (2017). Marco conceptual para el monitoreo de la biodiversidad en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 2(1), 1-47
- Ventura, D.; Bruno, M.; Jona Lasinio, G.; Belluscio, A.; Ardizzone, G. A low-cost drone based application for identifying and mapping of coastal fish nursery grounds. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2016, 171. [Google Scholar] [CrossRef]
- Vergara-Buitrago, P. A. (2020). Estrategias implementadas por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia para conservar los páramos. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 167–176. <https://doi.org/10.15359/rca.54-1.9>
- Vihervaara, P.; Auvinen, A.P.; Mononen, L.; Törmä, M.; Ahlroth, P.; Anttila, S.; Böttcher, K.; Forsius, M.; Heino, J.; Heliölä, J.; et al. How Essential Biodiversity Variables and remote sensing can help national biodiversity monitoring. *Glob. Ecol. Conserv.* 2017, 10, 43–59. [Google Scholar] [CrossRef]
- Wang, D.; Xin, X.; Shao, Q.; Broly, M.; Zhu, Z.; Chen, J. Modeling aboveground biomass in Hulunber grassland ecosystem by using unmanned aerial vehicle discrete lidar. *Sensors* 2017, 17, 180. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]

- Watts, A.C., Kobziar, L.N., & Percival, H.F. (2010). Unmanned aircraft systems for fire and natural resource monitoring: Technology overview and future trends. In K.M. Robertson, K.E.M. Galley, & R.E. Masters (eds.), *Proceedings of the 24th tall timbers fire ecology conference: The future of prescribed fire: Public awareness, health, and safety* (pp. 86–89). Tallahassee, Florida, USA: Tall Timbers Research Station.
- Whitehead, K., & Hugenholtz, C. H. (2014). Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (Uass), part 1: A review of progress and challenges. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 2(3), 69–85. <https://doi.org/10.1139/juvs-2014-0006>
- Wilson, A.M.; Silander, J.A.; Gelfand, A.; Glenn, J.H. Scaling up: Linking field data and remote sensing with a hierarchical model. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 2011, 25, 509–521. [Google Scholar] [CrossRef]
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.J. (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80.
- Woodget, A.S.; Austrums, R.; Maddock, I.P.; Habit, E. Drones and digital photogrammetry: from classifications to continuums for monitoring river habitat and hydromorphology4. *Wiley Interdiscip. Rev. Water* 2017, 4, e1222. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]
- Yuan, C., Zhang, Y., & Liu, Z. (2015). A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection, and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques. *Canadian Journal of Forest Research*, 45, 783–792.
- Zapata, P.A. (2020). Estado actual de la delimitación de páramos en Colombia y su relación con la protección y conservación de estos ecosistemas estratégicos. UDCA.Bogotá.