

Capítulo 7.

Metodología para el monitoreo preventivo de incendios forestales usando un vehículo aéreo no tripulado en los Cerros Tutelares de Cali

Mike Steeven Ortega Madroñero
Universidad Santiago de Cali
mike.ortega00@usc.edu.co

Dr. Felipe Muñoz La Rivera
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile
<https://orcid.org/0000-0002-6674-2168>
felipe.munoz@pucv.cl

Dr. Javier Ferney Castillo García
Universidad Santiago de Cali
<https://orcid.org/0000-0002-0630-3198>
javier.castillo00@usc.edu.co

Cita este capítulo:

Ortega Madroñero, M. S.; Muñoz La Rivera, F. y Castillo García, J. F. (2022). Metodología para el monitoreo preventivo de incendios forestales usando un vehículo aéreo no tripulado en los Cerros Tutelares de Cali. En: Ortiz Ayala, R.; Valencia Pérez, L. R.; Valencia Pérez, H. F.; Escobar Soto, J. F.; Flórez Zuluaga, J. A.; Quintero Quiceno, S.; Riaño Cubillos, J. S.; Falla Rubiano, A.; Barros Ochoa, A. I.; Salazar Ospina, F. A.; Morante, D.; Cárdenas, P. A.; Cajiao Pardo, L. M.; Giraldo Martínez, G. A.; Ortega Madroñero, M. S.; La Rivera Muñoz, F.; Castillo García, J. F.; Mosquera Pérez, C. M.; Cabezas Álzate, D. F.; (...) y Ordóñez-Castaño, I. A. *Gestión, tecnología y logística empresarial aplicado al sector aeroespacial y otros estudios prospectivos en tendencia* (pp. 173-212). EMAVI Sello Editorial y Editorial Universidad Santiago de Cali.

Resumen

El propósito de este artículo es brindar una metodología de vuelo con un vehículo aéreo no tripulado (VANT), específicamente con un dron mavic 2 enterprise advanced de la empresa mundialmente reconocida DJI, metodología que será propuesta para el monitoreo de los cerros tutelares de la ciudad de Cali en aras de reducir el porcentaje de incendios que en estos se presentan, principalmente en la época seca del año, estará enfocado en la prevención de principio de incendio o foco de incendio con tomas fotográficas, utilizando la cámara térmica que el VANT tiene incorporada, de esta manera determinar si las condiciones del terreno serían propicias para iniciar algún incendio. Para el procesamiento de las imágenes obtenidas se hará uso del software Agisoft Metashape Professional, con el cual se puede obtener un plano en tres dimensiones a partir de las imágenes obtenidas con el dron. Para evidenciar la metodología antes mencionada, se mostrará un ejemplo práctico, el cual, se realizará en un cerro tutelar de Cali con el VANT, obteniendo de este vuelo una serie de imágenes térmicas georreferenciadas, las cuales serán procesadas con el software antes mencionado en este apartado, en este ejemplo práctico se hará uso de los conocimientos adquirido desde una revisión bibliográfica de investigaciones relacionadas a este tema, esto, con el objetivo de obtener diversas perspectivas que puedan aportar de manera directa en el desarrollo de este documento. A partir de lo anterior se podrá mostrar una comparación de las imágenes 3d y de manera cualitativa definir qué zonas del terreno pueden ser conatos de incendio.

Palabras clave: Vehículo aéreo no tripulado (VANT); incendio forestal; cámara térmica, metodología de vuelo.

Abstract

The purpose of this article is to provide a methodology of flight with an unmanned aerial vehicle (UAV), specifically with a dron mavic 2 enterprise advanced of the world-renowned company DJI, methodology that will be proposed for monitoring the tutelary hills of the city of Cali in order to reduce the percentage of fires that occur in these, It will be focused on the prevention of the beginning of a fire or fire focus with photographic shots, using the thermal camera that the UAV has incorporated, in order

to determine if the terrain conditions would be conducive to start a fire. For the processing of the images obtained, use will be made of the Agisoft Metashape Professional software, with which a three-dimensional plan can be obtained from the images obtained with the Dron. To demonstrate the aforementioned methodology, a practical example will be shown, which will be performed in a tutelary hill of Cali with the UAV, obtaining from this flight a series of georeferenced thermal images, which will be processed with the software mentioned above in this section, in this practical example will be used the knowledge acquired from a literature review of research related to this topic, this, with the aim of obtaining various perspectives that can contribute directly in the development of this document. From the above, it will be possible to show a comparison of the 3D images and qualitatively define which areas of the terrain may be fire outbreaks.

Keywords: Unmanned aerial vehicle (UAV), forest fire, thermal camera, flight methodology.

Introducción

La orografía tan variada de los territorios, además de las cambiantes condiciones climáticas, las cuales, representan diversidad en las diferentes zonas del país. En este sentido, el monitoreo de los diferentes tipos de terreno es primordial al momento de identificar diferentes hechos y fenómenos naturales que puedan presentarse. Los fenómenos naturales se entienden como los sucesos y cambios que ocurren en la naturaleza, tales como los huracanes, erupciones volcánicas, sequías, tsunamis, entre otros, los cuales, no son causados de forma directa por los seres humanos, sin embargo, estos acontecimientos pueden llegar a influir la vida humana de forma positiva, negativa o no influir (Rodríguez, 2021). A partir de lo anterior, entender que la vida humana también hace parte de la naturaleza es fundamental, puesto que, en ocasiones han sido las prácticas y actividades de los humanos las que han generado un desequilibrio en el planeta, por ejemplo, la inundación de una llanura aluvial por el desbordamiento de un río es un fenómeno natural, sin embargo, la presencia de asentamientos en la zona es lo que crea la posibilidad de un desastre.

En relación a lo anterior, un desastre natural se define como un evento catastrófico causado por un fenómeno de la naturaleza, el cual, provoca

todo tipo de daños para la humanidad y el planeta (UNDRR, s.f.) Por eso es de gran importancia abordar uno de los desastres naturales que deja gran cantidad de secuelas tanto a nivel ambiental como el riesgo para los seres vivos que allí habitan, estos son los incendios forestales, que se entienden como fuego que se propaga de forma desenfrenada sin ser deseado, en otras palabras, Minambiente (como se citó en IDIGER, 2000) afirma que los incendios forestales son “Fuego que se extiende libremente sin control ni límites preestablecidos, destruyendo vegetación viva o muerta en terrenos de aptitud preferiblemente forestal o que sin serlo están destinados a actividades forestales y en áreas de importancia ambiental.”, aquí es donde radica la importancia de la detección temprana de este evento, debido que, lograr una detección oportuna podría prevenir el inicio o la propagación de este desastre.

A partir de lo anterior, los incendios ponen en peligro el medio ambiente, las personas, la vida natural y los diferentes tipos de bienes materiales, por lo tanto, el uso de la tecnología de drones en la prevención de incendios resulta ser de gran importancia, puesto que, los altos índices de estos eventos, que en ocasiones además suelen ser difíciles de detectar a tiempo se convierten en una gran problemática. Por consiguiente, un dron que sea capaz de capturar la información para poder analizarla en tiempo real y definir parámetros que indiquen la probabilidad de un incendio representa un aporte significativo para los entes encargados de prevenir y controlar estos desastres naturales. En otras palabras, un dispositivo capaz de cumplir con las exigencias necesarias para detectar este fenómeno representa un hecho fundamental, puesto que, existe una variedad de aspectos que ocasionan dificultades al momento de intervenir en estos eventos, “Un Incendio Prevenido, es un fuego que no hay que apagar” (Bonilla Roberto, 2001).

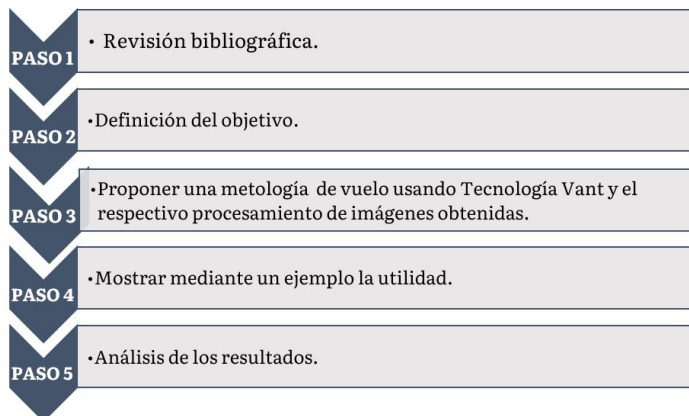
Este capítulo está organizado en secciones, donde en la sección 1 es presentada la introducción y los aspectos teóricos que enmarcan este documento. La sección 2 muestra los antecedentes y el estado del arte con relación al monitoreo preventivo de incendios usando drones. En la sección 3 es presentada la metodología propuesta para el monitoreo preventivo, la sección 4 corresponde a la implementación de la metodología propuesta en los cerros tutelares de la ciudad de Cali, Colombia y por último en la sección 5 y 6 son presentados los resultados y discusión de la solución propuesta. Finalmente, este documento tiene como alcance mostrar que las tecnologías VANT (vehículo aéreo no tripulado) son una herramienta eficaz y segura para las labores de prevención y monitoreo de terrenos

propensos a incendios, lo cual, pueda representar una ayuda significativa a los cuerpos encargados de sobrellevar estas emergencias. A partir de lo anterior, en este capítulo se tendrá en cuenta un modelo específico de dron “DJI Mavic2enterpriseadvanced”, el cual, cumple con unas especificaciones de fábrica adecuadas para la toma de fotos del espectro calórico.

Marco teórico

Para el desarrollo de la investigación se tuvo una metodología aplicada en cinco pasos, en donde, el primer paso consto de una revisión bibliográfica referente a la problemática, identificando en esta los principales causantes de inicios de incendios forestales, las referencias bibliográficas se obtuvieron de páginas web, bases de datos como Scopus, entre otras; en segundo paso, se definió el objetivo al cual se pretende llegar, dando una posible solución desde el uso de un VANT (vehículo aéreo no tripulado), debido que, la aplicación de nuevas tecnologías como los drones y la fotogrametría pueden ayudar de manera significativa a la prevención de incendios forestales; seguido de esto, en el tercer paso, se propuso una metodología para la utilización de estas tecnologías, mostrando en esta las características, planes de trabajo y diferentes procesos para realizar una inspección a terrenos propicios a incendios; en cuarto paso, se pretende mostrar mediante un ejemplo la utilidad del método propuesto y por último, se analiza los resultados obtenidos.

Figura 1
Pasos de la metodología de la investigación



Fuente: elaboración propia.

Incendios forestales: los incendios forestales son la problemática a abordar, teniendo en cuenta, que no se realizará en su fase de control sino en la prevención, es decir, se abordará desde la detección temprana del principio de incendio. El término incendios forestales se refiere a los incendios que ocurren en los ecosistemas terrestres y se propagan por la vegetación, sean bosques o de cualquier otro tipo (sabanas, matorrales, pastizales, humedales etc.), es decir, se podrían denominar incendios de monte o incendios de vegetación. Los incendios forestales se extienden y propagan sin ningún control humano, (Juli C. Pausas, 2020), el principio de incendio se define como: el primer instante de un incendio o fuego que empieza a manifestarse, por ende es un fuego fácil de extinguir antes de que este empiece a crecer.

Cámara térmica: para este caso este dispositivo es de vital importancia, puesto que, será la encargada de detectar la radiación infrarroja de los objetos calientes y convertirlos en imágenes, por lo tanto, es la que brindará información en tiempo real para la respectiva toma de decisiones. La toma de imágenes de calor usando cámaras térmicas no se afectará por las condiciones de iluminación presentes, ya sean estas condiciones, poca luz o sin luz completamente. De esta manera, las imágenes obtenidas con una cámara térmica se ven menos afectadas por condiciones climáticas adversas, como, por ejemplo: nieve, niebla y lluvia, gracias a esto, este tipo de cámaras puede funcionar de manera óptima en cualquier momento y lugar. En relación a lo anterior, este dispositivo electrónico tiene la capacidad de medir la radiación térmica de los cuerpos y la transforma en imágenes visibles de diversos colores, que están ordenados por su temperatura. Usualmente, estos dispositivos electrónicos perciben longitudes de ondas entre 8 μm y 15 μm . Además, las imágenes obtenidas de estos dispositivos se pueden medir de manera cualitativa y cuantitativa, como se explica a continuación:

Medidas Cualitativas: son imágenes que evidencian diversos colores, los cuales, sirven para identificar los puntos más calientes.

Medidas Cuantitativas: son valores numéricos y exactos de temperatura de los puntos calientes. (Olarde W., 2011).

Drone Mavic2 enterprise advanced: este VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) será usado por el ponente de este trabajo para la toma de imágenes de un cerro tutelar de Cali. Este dispositivo cuenta con

características óptimas para realizar misiones de manera profesional, para este caso, se mencionará las más importantes para el trabajo a realizar, como se evidencian en la Tabla 1:

Tabla 1
Características del dron mavic2 enterprise advanced

mavic 2 enterprise advanced		
dimensión	alas plegadas	214 * 91 * 84 mm
	alas abiertas	322 * 342 * 84 mm
	longitud de diagonal	354mm
peso		895 grs
batería		lipo 3850 mAh
altitud máxima de vuelo		6000 m sobre el nivel del mar
distancia máxima de vuelo		30 km
cámara térmica radiométrica	640 x 512 Px	
resolución del sensor	120x160	
tamaño del pixel	12 micras	
tamaño de imagen	640 x 480(4:3)	
	640 x 360(16:9)	
longitud focal	equivalente al formato 9mm y 35mm	
cámara visual	48 megapíxeles	

Fuente: Adaptado de (DJI, s.f) <https://www.dji.com/mavic-2-enterprise-advanced>.

Antecedentes

Existen diferentes tipos de tecnologías que se utilizan para el control y detección de incendios, las cuales se pueden discriminar según la fase en que este se encuentre, ya sea en su inicio, durante o después. En relación al inicio las más empleadas son las terrenas, consisten en una red de torres equipadas de cámaras térmicas y ópticas ubicadas estratégicamente a lo largo de un terreno, que brindan información en tiempo real, teniendo en cuenta, que su alcance es de 20 km con un ángulo de 360°. Por otro lado, existen las plataformas satelitales que tienen como función detectar los puntos calientes, mediante la detección de energía liberada en el infrarrojo lejano, infrarrojo medio e infrarrojo cercano. Es de resaltar que este tipo de tecnologías presentan limitaciones en la moderada resolución espacial, lo cual, afecta principalmente a la detección de inicio de focos de incendios. A partir de lo anterior, para

mitigar esas limitaciones se optó por usar la tecnología de vehículos aéreos no tripulados (VANT), los cuales brindan una mejor resolución de la imagen (Lencinas, Parodi, Van den Heede, Heitzmann, 2016).

Madridano, Á., Campos, S., Al-Kaff, A., García, F., Martín, D., Escalera, A. presentan un estudio en el 2020, el cual, tiene como temática poner en marcha el uso de la tecnología presente en la robótica, es decir, mediante un dron poder realizar tareas de vigilancia y monitorización de incendios de manera autónoma, gracias a sensores y dispositivos inmersos en el mismo dispositivo. Además, los autores realizaron una interfaz gráfica, que les permitirá el intercambio de información entre la aeronave y el usuario en tierra. Se debe tener en cuenta, que los autores realizaron este proyecto con la ayuda de la empresa Telefónica Digital España, ya que, esta empresa fue la que les facilito el dron para la realización de la investigación.

En este orden de ideas, los autores implementaron el proyecto en un lapso de tiempo de 6 meses. Este proyecto se centró en presentar una herramienta capaz de brindar información en tiempo real a la estación en tierra, mediante el alcance de datos 4 G. Asimismo, logran evidenciar la importancia de la relación que tienen las universidades con las empresas, pues los proyectos e investigaciones realizados desde el ámbito educativo brinda en diversas ocasiones herramientas novedosas que puedan complementar la labor de ciertas empresas.

Asimismo, los autores lograron llegar a dos conclusiones primordiales, en primer lugar, la importancia de que el dron se encuentre dotado de un carenado, el cual, pueda mejorar la resistencia de este a diversos aspectos, ya sean, al mismo vuelo o a la intemperie, enfocando la resistencia al agua, que pueda hacer que el vehículo esté preparado para volar sin riesgo a condiciones meteorológicas como lluvia o niebla. En segundo lugar, los autores establecen la prioridad en dotar al dron de sensores y algoritmos que le permitan reconocer y evitar así los obstáculos que puedan presentarse en el ambiente, tales como, arboles, animales o infraestructuras realizada por el hombre.

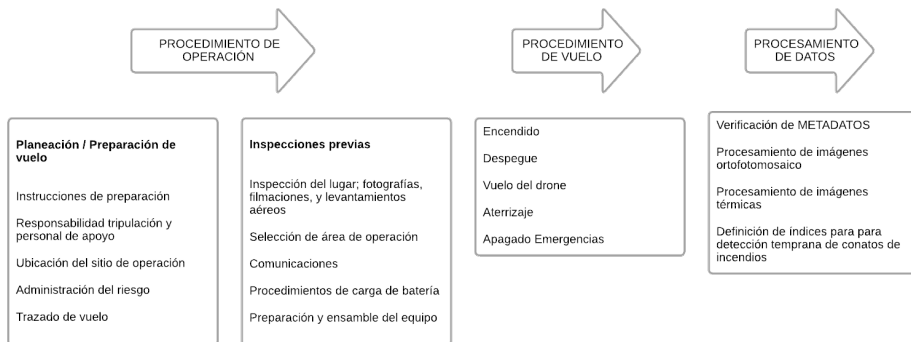
Otra investigación relacionada con el tema del uso de drones en el control y prevención de incendios es la realizada por Jaime Ferrándiz San José en el 2021, la cual, tiene como finalidad el diseño y creación de un entorno de simulación en la plataforma Unity, en donde, se presenten drones que sobrevuelen en un terreno realista y logren tomar fotografías desde

el aire, las cuales, los autores puedan unir las en una sola, para así, analizarlas en base de la cantidad de vegetación y la inclinación del terreno. Los autores programaron una serie de scripts en C#, además, de un script en Python para el tratamiento de las fotografías y la creación de imágenes con información útil. Recalcan la importancia del uso de Python en el desarrollo de este proyecto, pues gracias a las bibliotecas existentes para el tratamiento de imágenes que existen para este lenguaje de programación.

Para este trabajo, se realizó una revisión teórica que plantea ciertos puntos a tener en cuenta para la planeación de una metodología de vuelo, en la cual, se presentan aspectos relacionados con: una preparación previa del vuelo, alistamiento para dar inicio, en donde, se encuentran los sondeos y verificaciones de los elementos necesarios para un vuelo seguro (verificación de hélices, batería, control, identificación de terreno, registro climatológico, entre otros). También, se muestra una serie de pasos a seguir durante el vuelo y la toma de evidencia fotográfica y la finalización del vuelo, es decir, el aterrizaje.

Solución propuesta

Figura 2
Metodología propuesta



Fuente: elaboración propia.

Procedimientos de Operación

En este apartado las tareas se anexan, estas tienen como objetivo el estudio de las circunstancias que convergen en el procedimiento, para alcanzar unas medidas adecuadas y se subdividen en:

- Planeación/preparación del vuelo.
- Inspecciones previas.

Planeación/ preparación del vuelo

Instrucciones preparación de vuelo

Es el proceso mediante el cual se analiza y revisa los datos e información que tienen relación en la realización de un vuelo:

- Análisis de la información básica. (Cartografía, NOTAMs)
- Elección de la ruta o espacio donde se desarrolla la operación de vuelo.
- Determinación de la altura de vuelo.
- Elección de Overlap y Sidelap.
- Cálculo y almacenamiento de batería.
- Elección de procesos de despegue, aproximación y aterrizaje.
- Verificación del equipo mínimo necesario para realizar el vuelo.
- Formalización del plan de vuelo con ATS.

Responsabilidades tripulación y personal de apoyo

- El equipo de apoyo tiene la responsabilidad de guiar las tareas de la institución para cumplir con las metas propuestas, acorde con las normativas, objetivos, reglas e instrucciones avaladas.
- Le corresponde a la tripulación la ejecución del número de tareas operacionales requeridas en los vuelos para todas sus etapas. Reunirá, examinará y estudiará la información básica requerida para la planificación del procedimiento. De igual manera, de ser necesario, se expondrá el plan de vuelo a ATC.
- El equipo reunirá datos necesarios para la planeación del vuelo
- Condición atmosférica del sector donde se realizará el vuelo.

- Comprobación de herramientas de navegación y del equipo de apoyo.
- Restricciones y limitaciones de los estados.
- Reglamentaciones particulares de los estados.
- Cartografía de la zona de vuelo y NOTAMs.

La ubicación del sitio de operación y evaluación

Se debe completar la encuesta de evaluación previa al sitio

- El personal experimentado de Drones puede completar el formulario utilizando las siguientes fuentes de información:
- Cartas aeronáuticas relevantes actuales
- Vectores de vuelo - Cartas Aeronáuticas en línea
- Google Earth
- Google Maps
- Servicios de información aeronáutica

Item	Acción (usando Google Earth o Google Maps)	Encontrado
Espacio Aéreo	¿Cuál es el espacio aéreo? (A,B,C,D,E,F,G) ¿Necesita permisos ATC?	
Terreno	¿Qué tipo de terreno es? (Plano, montañoso, pantanoso).	
Proximidades	Otras aeronaves (aeródromos helipuertos).	
Peligros	Disparo en vivo, transmisiones de radio de alta densidad, ventilación de gas.	
Restricciones	Centrales nucleares, cárceles, bases militares bases áreas, estaciones de policía, entidades estatales.	
Población	¿Necesitamos permisos?	
Ganado	Granjas locales.	
Permiso	Autoridad local, propietario de la tierra, espacio militar.	
Acceso	Vías de acceso público, puertas y caminos.	
Senderos	Senderos de acceso público, caminos de herradura.	
Alternos	Sitios alternativos de operación/ despegue.	

Item	Acción (usando Google Earth o Google Maps)	Encontrado
Reducción del riesgo	¿Se puede hacer el trabajo en otro momento para evitar horarios escolares etc.?	
Clima	24 horas de previsión	
Notam	Cualquier aviso a los aviadores que puedan afectar operaciones.	

Fuente: elaboración propia.

Administración del riesgo

En nuestro sistema de evaluación consideraremos: Medios, Entorno Y Personas

- Infraestructura de la zona de vuelo
- Obstáculos
- Prestaciones de la aeronave
- Trayectoria de despegue para eludir los obstáculos
- Procedimientos de vuelo
- Comunicaciones y zona de sobrevuelo
- Transmisión de datos “LINK” de mando y control
- Documentación
- Entrenamientos
- Pilotos
- Personas de seguridad operacional en tierra

Trazado del vuelo

Se definen las coordenadas donde se realizará el vuelo identificando cual es el área de recolección de datos, presentando cuanto es el solapamiento de las imágenes en el margen vertical y horizontal, realizando los ajustes de la relación píxel y área en tierra.

Inspecciones previas

Inspección del lugar Fotografía, filmaciones y levantamientos aéreos

El principal medio de operaciones de la entidad se basa en la geomática, la topografía y los desarrollos que puedan presentar en el sector de la ingeniería civil. De esta manera, esta clase de procedimiento será el más frecuente y, además, guiará los vuelos de entrenamiento de los pilotos y vuelos de presentación a las empresas. Asimismo, en la descripción de la operación de levantamientos topográficos e inspección a infraestructuras se debe tener en cuenta, que todo procedimiento aéreo realizado por esta organización necesita de sondeo previo, en el cual, obtenga información sobre el sector donde se realizará el vuelo, en otras palabras, se requiere de la cartografía del lugar, esta brindará información valiosa sobre la topografía del terreno y de las demandas de la operación, esto es importante, pues permitirá hacerse una idea previa de la zona de levantamiento. A partir de lo anterior, ya en el lugar de trabajo se deberá realizar un reconocimiento detallado del terreno, esta inspección debe ser a pie, observando y detallando con atención los aspectos que puedan interferir con el adecuado desarrollo del proceso de vuelo. De igual manera, los puntos de control/apoyo se determinarán con el instrumental topográfico antes de iniciar los vuelos, dicho procedimiento no se debe realizar en el reconocimiento detallado del terreno, sino en otra inspección. Seguido de esto, se determinará la ubicación de la RPS conjuntamente con las zonas de despegue y aterrizaje con sus respectivas zonas alternativas para casos de emergencia. Se debe tener en cuenta, que los aspectos que establecen dicha ubicación son la elevación del terreno y visibilidad de la aeronave, logrando observar desde este punto la mayor parte del terreno a recorrer por la RPA. En relación a lo anterior, en el caso de que no sea posible observar toda el área de trabajo, se deberá determinar la cantidad de ubicaciones necesarias, para que en todas las fases del vuelo la aeronave siempre sea visible. Ya establecidas las ubicaciones necesarias, se establecerá un perímetro de seguridad alrededor de estas, dicho perímetro no podrá ser sobrepasado por personas externas a la operación. Para finalizar, con toda la información recogida necesaria para el vuelo, el equipo deberá realizar el plan de vuelo.

- Análisis de la información básica. (Cartografía, NOTAMs).
- Elección de la ruta o espacio donde se desarrolla la operación de vuelo.
- Determinación de la altura de vuelo.

- Elección de Overlap y Sidelap.
- Cálculo y almacenamiento de batería.
- Elección de procesos de despegue, aproximación y aterrizaje.
- Verificación del equipo mínimo necesario para realizar el vuelo.
- Se procederá al despegue y realización de la misión.
- Una vez la aeronave aterrice en tierra y se finalice operaciones, se realizará con todo el equipo de vuelo, un Debriefing de todo el proceso.

Selección del área de operación

El piloto debe seleccionar un área de Operación o Despegue, sin embargo, también debe de señalar y verificar una zona de aterrizaje alternativa o de emergencia también debe discutirse con el observador y seleccionarse, esta área debe estar disponible para aterrizar si la primera ubicación se vuelve inaccesible, con la aclaración realizada se procede de acuerdo a los siguientes criterios:

- Cobertura visual completa del sitio operativo.
- Posición en relación con el sol para evitar la discapacidad visual.
- Obstáculos físicos como árboles colgantes, rocas, edificios, líneas eléctricas, etc.
- Topografía del terreno, evitar pendientes pronunciadas o terrenos desiguales.
- Considere efectos tales como la cizalladura del viento de árboles cercanos, edificios, etc.
- Todos los edificios y personas que no están bajo el control del piloto al mando deben permanecer a 30 metros, fuera de la aeronave para el despegue y 50 metros en vuelo.

Comunicaciones

Como parte de la encuesta de evaluación en el sitio, el piloto verificará la disponibilidad Cobertura satelital utilizando la aplicación de señal GPS móvil GPS TEST. Consideración de la 'dilución de la precisión', se requieren siete satélites sobre una buena distribución (no todos juntos) para que las operaciones de vuelo previstas puedan proceder. Se debe tener en cuenta los edificios y estructuras que podría bloquear o distorsionar la señal

GPS / GNSS. Cabe señalar que, si la cobertura del satélite no es suficiente para que la aeronave alcance una solución 3D, la función de seguridad no funcionará. El enlace audiovisual debe ser probado tan pronto como sea posible y si se observa alguna interferencia en la frecuencia de 2.400 GHz, no se puede realizar la operación. 2.6. Chequeos de clima El piloto para la operación debe evaluar las condiciones climáticas locales. La velocidad del viento en nudos y la temperatura del aire exterior en grados Celsius se obtendrá usando una mano anemómetro. La dirección del viento se puede obtener utilizando la función de brújula del dispositivo móvil. La prueba de GPS, la aplicación UAV ForeCast, esto da la información sobre el camino que ha tomado la lluvia y las predicciones se pueden hacer a partir de esto. El clima en el sitio La información debe ser registrada en el formulario de la encuesta en el sitio. <https://www.uavforecast.com/#/>.

Tabla 2.
UAV ForeCast

Condiciones Actuales a partir de martes 2022-06-28 12:53 -05											
Hora	Viento	Ráfagas	Temp	Precip Prob	Cubier. Nubes	Visibilidad	Sat Visibles	Kp	Sat Est Bloq	Bueno Para Volar?	
12:53 ☼	10 km/h↔	22 km/h↔	29°C	-	40%	16 km	13	2	12,3	sí	
Martes 2022-06-28: Salida del Sol 05:59, Puesta de Sol 18:19											
Hora	Viento	Ráfagas	Temp	Precip Prob	Cubier. Nubes	Visibilidad	Sat Visibles	Kp	Sat Est Bloq	Bueno Para Volar?	
13:00 ☼	10 km/h↔	22 km/h↔	29°C	-	42%	16 km	13	3	12,3	sí	
14:00 ☼	10 km/h↔	22 km/h↔	30°C	-	32%	16 km	17	3	15,9	sí	
15:00 ☼	5 km/h↔	17 km/h↔	30°C	-	34%	16 km	16	3	15,3	sí	
16:00 ☼	6 km/h↘	18 km/h↘	30°C	-	85%	16 km	15	3	14,5	sí	
17:00 ☼	10 km/h↘	19 km/h↘	29°C	13%	100%	16 km	16	3	15,5	sí	
18:00 ☼	9 km/h↘	18 km/h↘	27°C	17%	100%	16 km	16	3	15,2	sí	
19:00 ☼	9 km/h↘	18 km/h↘	25°C	36%	100%	16 km	14	3	13,0	sí	
20:00 ☼	6 km/h↘	12 km/h↘	23°C	43%	100%	16 km	14	3	12,4	no	
21:00 ☼	2 km/h→	5 km/h→	23°C	37%	98%	16 km	14	3	11,8	no	
22:00 ☼	3 km/h→	6 km/h→	22°C	21%	88%	16 km	13	3	10,6	no	
23:00 ☼	4 km/h→	7 km/h→	22°C	16%	97%	16 km	11	3	9,3	no	

Nota. Registro tomado de la aplicación UAV Forecast (2022).

El procedimiento para cargar la batería del vuelo

- Mida el % de carga residual de la batería e ingrese el valor en el cuadro de registro de carga correspondiente.

- Conecte la batería al cable de carga del cargador y al cable de equilibrio.
- Seleccione la configuración apropiada en el cargador para la batería.
- Coloque la batería en la bolsa Lipo-Safe y comience el ciclo de carga.
- Permanezca en el área de carga de la batería, nunca la deje desatendido.
- Cuando la batería está cargada, registre la entrada de carga mAh en el libro de registro de carga.
- Apague el cargador y desconecte la batería.
- Coloque la clavija “Cargada” en el cable de la batería para confirmar que esta batería está lista para su uso.

Carga del equipo

El operador de carga útil es responsable de garantizar que la carga útil esté lista para usar. Si la carga útil es una cámara, la tarjeta de memoria debe estar vacía y la batería debe estar completamente cargada. El piloto al mando de los drones es responsable de garantizar que la carga útil se ajuste de forma segura al fuselaje. Todas las cargas útiles requieren dos fijaciones mecánicas como un perno de retención y un cordón de seguridad antes de que puedan comenzar las operaciones de vuelo. El piloto al mando debe asegurarse de que la aeronave se equilibre correctamente con la carga útil seleccionada instalada, se deben hacer ajustes en la posición para garantizar que este sea el caso y en ningún caso la aeronave debe volar si el balance no está dentro de los límites. El centro de gravedad está marcado con una pegatina en la parte inferior del cardán. El piloto al mando es responsable de garantizar que la aeronave no opere en exceso de la masa máxima de despegue indicada.

Preparación y correcto ensamble del dron multirroto

EQUIPO

- Retirar la abrazadera de la cámara (Gimbal).
- Instalación de las hélices: Hélices con anillos negros en motores con puntos negros; Hélices con anillos grises en motores sin puntos negros.
- Pulsar la hélice hacia abajo sobre la placa de montaje y girar en la dirección de bloqueo hasta que se asegura en su posición.
- Comprobar si todas las hélices están seguras antes de iniciar el vuelo.

- Instalación de la batería: Inserte la batería en el compartimento y asegúrese de que escucha un sonido tipo clic al colocar la batería, este sonido significa que la batería quedó firme e instalada. De no hacerlo, puede afectar a la seguridad de vuelo de la aeronave.

Control remoto

- Ajustar las antenas para que queden orientadas hacia fuera con el equipo inclinado a su posición.
- Ajustar la abrazadera al tamaño del dispositivo móvil.
- Conectar el dispositivo móvil al control remoto mediante un cable USB o bluetooth.

Procedimientos de vuelo

Encendido del dron

Procedimiento de puesta en marcha El siguiente procedimiento debe ser completado por el piloto al mando:

- Compruebe el nivel de la batería de vuelo presionando el botón de la batería de vuelo inteligente y Seguro que al menos cuatro luces están iluminadas.
- Coloque la batería de vuelo en la aeronave y colóquela en la plataforma de calibración orientada hacia viento.
- Asegúrese de que todos los interruptores en el transmisor de control de la aeronave estén configurados correctamente.
- Encienda el transmisor de control de la aeronave y asegúrese de que el nivel de la batería sea superior al 80 %.
- Conecte la batería de vuelo.
- Dejar que la aeronave ejecute el programa de diagnóstico del sistema.
- Pruebe el funcionamiento del cardán de la cámara y muévelo a la posición de despegue (lente de la cámara paralela al nivel del suelo).
- Encender la estación de tierra y cargar el software.
- Confirmar la posición de GPS / GNSS fijo.
- Cargue el plan de vuelo del punto de referencia si es necesario.

Despegue del dron

El siguiente procedimiento debe ser completado por el piloto al mando:

- Realice un barrido visual de 360 ° del área (preste especial atención al espacio aéreo y al público invasiones).
- Confirmar con el observador que está claro para despegar.
- Verificar y anotar la hora.
- “Despegue” y arranque los motores (Mueva el palo izquierdo del transmisor a la parte inferior derecha).
- Eche un vistazo final por encima de la aeronave y encienda la potencia $\frac{3}{4}$ (utilice un movimiento progresivo constante).
- Subir a aproximadamente 2 metros y reducir la potencia para flotar.
- Controles de guiñada y cíclicos de prueba (utilice movimientos suaves pequeños y asegúrese de que la aeronave reaccione correctamente).
- Enganche la posición y la altitud para probar la función (la aeronave debe mantener la posición y la altitud).
- Comprobar el estado de la batería.
- Confirme con el observador que la operación de vuelo planificada sigue siendo buena para seguir adelante.

Vuelo del dron

Las misiones realizadas con RPAS no son determinadas, en otras palabras, no son rutas peculiares, así que, es necesario realizar una revisión a los vuelos de prueba exigidos por UAEAC. Los cuales, determinan tipos de vuelo generales, este tipo de vuelos, brindan confiabilidad y seguridad a la entidad, asimismo, respaldan los trabajos aéreos al momento de su realización. A continuación, se presenta un método para ser completado por el piloto y el observador.

- Piloto al mando para mantener el avión dentro de la burbuja de 500 metros de ancho y 400 pies de altura.
- Piloto al mando para mantener el enfoque principal en la aeronave y los alrededores inmediatos.
- Piloto al mando para monitorear la telemetría básica desde aeronaves cuando sea seguro y apropiado.

- Piloto al mando para mantener las comunicaciones con el observador en todo momento.
- Piloto al mando para seguir las instrucciones del operador de carga útil si es seguro hacerlo.
- Observador para monitorear telemetría, voltaje de la batería de vuelo, satélites rastreados, altitud, etc.
- El observador proporcionará a Pilot-In-Command retroalimentación continua del voltaje de la batería de vuelo.
- El observador debe mantener la vigilancia visual de las invasiones públicas y el espacio aéreo.

La puesta en práctica de vuelos de prueba facilita la detección de riesgos y amenazas propias de su ejecución, así como tener en cuenta, la capacidad de reducir estos riesgos al momento de ejecutar una misión, asimismo, el piloto podrá desarrollar, evaluar y elaborar adecuadamente los procesos cotidianos de esta actividad propuestos en el manual de operaciones, de igual manera, los procesos de emergencia a aplicar en caso de ser necesarios.

Las misiones de vuelo se ejecutarán en un sitio lejano, con el fin, de proteger la aeronave, los bienes y personas de los diversos riesgos que puedan presentarse en el terreno, durante el proceso de vuelo, obedeciendo la legislación vigente que rige la zona. Estos vuelos antes mencionados, no deben ejecutarse en sector de la ciudad, aglomeraciones de personas en espacio abierto, en zonas restringidas o de advertencia, respetando el límite de distancia de 8 km respecto a algún aeropuerto o aeródromo. En la situación en que algún vuelo de prueba se ejecutó fuera de la visión del piloto, el espacio deberá estar sometido a cambios, asimismo, deberá efectuarse a un límite mínimo de distancia de 15 km desde el algún aeropuerto o aeródromo, esto si la institución cuenta con procesos de vuelo instrumental, de lo contrario, la distancia será de 8 km.

• Vuelo

Sondeos a implementar

El VANT cumpla con la estabilidad requerida y la posición al momento de activar el vuelo automático.

Asistencias eléctricas:

Estabilización.

Sistema de posicionamiento global (GPS):	Sí.
Conformación del RPA:	La misión de prueba se ejecuta con los parámetros necesarios para constatar un óptimo desempeño con su peso máximo.
Durabilidad de la misión de vuelo:	Siete minutos.
Condiciones de vuelo:	Velocidad de viento menor o igual al que aparece en las especificaciones de fabricante de la aeronave. sin precipitaciones (lluvia, llovizna).

Fuente: elaboración propia.

Desarrollo de vuelo: con el proceso de verificación del pre-vuelo terminado, se procede al correcto despegue del VANT elevándolo a una altura de 5 m sobre el suelo, continuando a trasladarlo 10 m al frente respecto al punto de origen. En esta ubicación se debe dejar que el VANT se mantenga estable, con las condiciones climáticas presentes, verificado siempre que dichas condiciones climáticas no sobrepasen los umbrales que el equipo tenga predeterminadas. Seguido de esto, se procederá a bajar el VANT a una altura de 2 m, un integrante del personal de apoyo se desplazará con el equipo de seguridad necesario hasta este, con la mano tirará de él para modificar su posición y así estudiar las reacciones que puedan presentarse a partir de las acciones realizadas por él. Por último, será necesario regresar a la ubicación establecida para el tiempo y vuelo controlado, ya terminadas las pruebas se continua a realizar un correcto aterrizaje del equipo.

Aterrizaje de la RPA

Consideraciones previas al aterrizaje:

- El piloto establecerá que plataforma es la que brinda mejores condiciones de seguridad.
- Estas plataformas, deberán estar establecidas en la planificación de vuelo, tanto la principal como las alternas para el caso de emergencia.

- Además, se aconseja delimitar un perímetro para la realización de maniobras en caso de emergencia, dónde el VANT por cualquier motivo de precipitación al suelo, caiga en una zona menos destructiva y cause así, la menor pérdida material y a personas.
- Ya definida la zona de plataforma se informará al resto de la tripulación.
- Terminada la aprobación se leerá la parte de la lista de chequeos relacionada al vuelo. Se debe corroborar que la zona de la plataforma este despajada de cualquier objeto, persona o animal y las condiciones climáticas permitan un aterrizaje seguro. Se debe tener en cuenta, la cantidad de combustible o batería, pues debe verificarse y preverse para las situaciones que puedan presentarse, en donde, se deban realizar esperas de lapsos de tiempos.
- El piloto debe estar al tanto en todo momento de la situación existente, y tener suma precaución. Criterio general:
- Zona despejada de obstáculos en 25 metros para evitar turbulencias de superficie.
- Zona libre de palos, rocas y obstáculos. 3.5 m para el aterrizaje del dron

El siguiente procedimiento debe ser completado por el piloto al mando, el observador y el operador de carga útil:

- Piloto al mando para avisar al observador de la intención de aterrizar.
- El observador debe verificar visualmente el área de aterrizaje para asegurarse de que es seguro aterrizar.
- Piloto al mando para volar directamente al lugar de aterrizaje y flotar a aproximadamente 2 metros de cara al viento.
- Operador de carga útil para garantizar que la carga útil se almacene para el aterrizaje y llame a “Camera Safe”.
- Piloto al mando para echar un vistazo final debajo de la aeronave y llamar “Aterrizaje”.
- Piloto al mando para reducir la potencia y aterrizar la aeronave (tenga en cuenta el efecto en tierra).

Apagado del RPA

El siguiente procedimiento debe ser completado por el piloto al mando:

- Al momento del aterrizaje, detenga los motores (mueva la palanca izquierda del transmisor a la esquina inferior izquierda).
- Acercarse a la aeronave, desconectar el paquete de baterías de vuelo y llamar a “Aircraft Safe”.
- Verificar y anotar la hora.
- Apagar el transmisor de control de la aeronave.
- Verifique el nivel de la batería de vuelo con Battery Checker.
- Rellene las horas de piloto / avión y los registros de batería.

En caso de emergencia

- En caso de emergencia el piloto planeará el aterrizaje de manera que en caso de pérdida de control del VANT, no impacte en los alrededores de personas o bienes materiales.
- En caso de presentarse deficiencias en el sistema de posicionamiento global (GPS), se verá reflejado un aviso en la pantalla del control que está al mando del piloto. De esta manera, este sabrá que perdió la cobertura GPS, tomará la decisión de maniobrar de manera manual hasta finalizar la misión. Se debe tener en cuenta, que cuando se habla de sistema GPS, hace referencia a todo el sistema global de navegación por satélite (GNSS), ya sea: GPS, Glonass, Galileo u otros.
- Error en sistemas electrónicos: Si se presentan errores en la electrónica se procederá al aterrizaje manual lo más rápido posible.
- Error estructural del VANT: En cualquier situación que se encuentre cualquier tipo de falencia de este tipo, se aterrizará de la manera más suave posible, tratando de no cargar mayormente a los componentes del VANT.
- Avería en uno o más motores: En cualquier situación que un motor no funcione correctamente, el piloto realizará maniobras de aterrizaje forzoso de manera manual. Frente a esta anomalía se presentan dos comportamientos del VANT:

- El Multirotor puede soportar la falla de un motor y mantenerse en vuelo, para esta situación el aterrizaje será sencillo y no se volará hasta reparar el daño.
- El Multirotor no puede sostenerse en vuelo con el fallo de un motor. Se perderá por completo el control del VANT, haciendo que el aterrizaje sea casi imposible. En esta situación la meta principal será, salvaguardar la vida e integridad física del personal y además, los daños del VANT y bienes materiales sean los menores posibles.

(UAEAC, *Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil*. 2022).

Procesamiento de datos

Verificación de metadatos

- **Procesamiento de imágenes – ortofotomosaico.**

El ortofotomosaico, corresponde a la unión de fotografías posterior a un vuelo y realizando el respectivo ajuste de la ubicación espacial de las fotos (fotocontrol).

- **Procesamiento de imágenes - térmicas.**

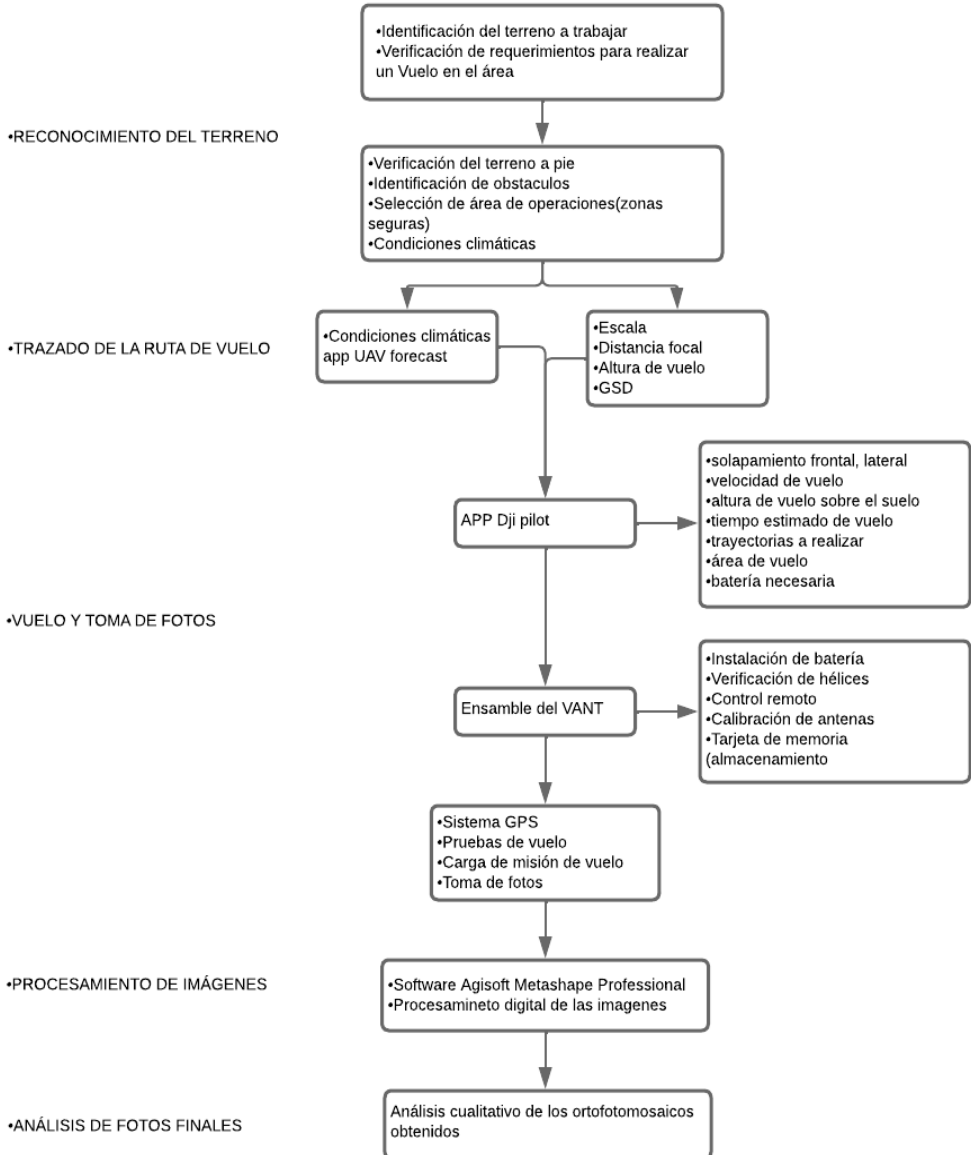
Metodología de vuelo para un VANT (vehículo aéreo no tripulado) Mavic 2 Enterprise Advanced ejemplo práctico

En este apartado, los ponentes de este trabajo presentarán un ejemplo con un paso a paso de una metodología de vuelo para un dron, caso de uso en un cerro tutelar de Cali, con un dron Mavic 2 Enterprise Advanced Dual, este se encuentra equipado con una cámara térmica, lo cual, permitirá mostrar con claridad los focos de calor presentes en el terreno. Además, con la aeronave podrán obtener fotos secuenciales del terreno, que permitirán obtener el “modelo digital de elevaciones” y el plano 3D, mediante la aplicación Agisoft Metashape Professional.

Para el desarrollo de este trabajo les fue necesario conocer la topografía del terreno donde se trabajará, entendiéndola como el conjunto de características que presenta la superficie o el relieve de un terreno, para así,

minimizar posibles riesgos que pongan en peligro la aeronave al momento del vuelo, además, los distintos seres que interactúan en este entorno y la infraestructura que se puede encontrar en este, asimismo, identificar y aprovechar al máximo las ventajas del terreno. Es importante resaltar, que de ante mano se debe saber que ciertas áreas de uso aéreo son de uso especial y crean limitaciones, como, por ejemplo: las áreas prohibidas, las áreas restringidas, de advertencia, áreas de operaciones militares (MOA), entre otras (APD profesionales en drones, s.f). Con esta información y de ser necesario se debe tramitar el respectivo permiso para el vuelo con la entidad encargada, siendo en Colombia la Aeronáutica Civil. Asimismo, es primordial identificar un punto lo más llano y despejado posible con poco tránsito de personas, animales y vehículos, el cual, pueda servir como zona de despegue y aterrizaje del VANT, siendo así, en este artículo harán referencia a los cerros tutelares de Cali, los cuales, están a una altura entre los 1400 y 1600 metros sobre el nivel del mar, estos son muy afectados por incendios en la época seca del año, además, cada cierto número de años el fenómeno del niño, el cual se da por el calentamiento del océano Pacífico, afecta directamente estas zonas. A continuación, aplicarán teoría plasmada en este documento con el ejemplo práctico.

Figura 3
Metodología de vuelo para un dron



Fuente: elaboración propia.

Reconocimiento del terreno

Los autores realizaron un recorrido hasta llegar a un cerro aledaño a la ciudad de Cali, donde realizarán el vuelo, este recorrido a pie lo hicieron para reconocer los probables obstáculos, irregularidades del terreno, condiciones climáticas y otros aspectos que puedan interferir en la correcta ejecución del vuelo, asimismo, realizaron el reconocimiento del terreno ubicando la zona de despeje y aterrizaje de la aeronave con sus respectivas alternativas en caso de emergencia, además, decidieron el desplazamiento que tendrá el VANT respetando siempre las especificaciones de visibilidad y amplitud del terreno con una posición en relación con el sol, sin obstáculos físicos como árboles y rocas. Para un mejor reconocimiento del terreno completaron la encuesta de evaluación previa al sitio con la ayuda de la herramienta Google Maps como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Encuesta de evaluación previa al sitio de vuelo

Item	Acción (usando Google Earth o Google Maps)	Encontrado
Espacio Aéreo	¿Cuál es el espacio aéreo? (A, B, C, D, E, F, G) ¿Necesita permisos ATC?	A
Terreno	¿Qué tipo de terreno es? (Plano, montañoso, pantanoso).	Montañoso
Proximidades	Otras aeronaves (aeródromos helipuertos).	Ninguno
Peligros	Disparo en vivo, transmisiones de radio de alta densidad, ventilación de gas.	Ninguno
Restricciones	Centrales nucleares, cárceles, bases militares bases áreas, estaciones de policía, entidades estatales.	Ninguno
Población	¿Necesitamos permisos?	No
Ganado	Granjas locales.	5 colindantes
Permiso	Autoridad local, propietario de la tierra, espacio militar.	Oscar René Trejos (propietario terreno).

Cap. 7: Metodología para el monitoreo preventivo de incendios forestales usando un vehículo aéreo no tripulado en los Cerros Tutelares de Cali

Item	Acción (usando Google Earth o Google Maps)	Encontrado
Acceso	Vías de acceso público, puertas y caminos.	1 vía principal, 2 caminos alternos, 1 puerta
Senderos	Senderos de acceso público, caminos de herradura.	Tramo de Carrilera
Alternos	Sitios alternativos de operación/ despegue.	2 sitios alternativos de operación
Reducción del riesgo	¿Se puede hacer el trabajo en otro momento para evitar horarios escolares etc.?	Sí
Clima	24 horas de previsión	Sí
Notam	Cualquier aviso a los aviadores que puedan afectar operaciones.	No

Fuente: (UAEAC, Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2022).

Determinación de altura de vuelo

Determinaron la altura de vuelo teniendo en cuenta la altitud de los árboles presentes en el terreno, los cuales no superan los 20 metros de altura aproximadamente, asimismo, tuvieron en cuenta la escala a trabajar. En otras palabras, la escala es la relación del tamaño de una imagen con el tamaño real del objeto, así, en fotografía con VANT la distancia focal del sensor y la altura de vuelo proporciona la escala de trabajo. Lo anterior, se rige por la siguiente ecuación:

$$1/Et = f/H \text{ de donde } H = Et * f$$

Et = escala que se desea trabajar

f = distancia focal del sensor

H = altitud que se realizara el vuelo

Tabla 4

Parámetros de vuelo

Escala	Distancia focal	Altura de vuelo	GSD
Et	f	H	
1/2000	4.5 mm	90 m	1,22cm/píxel

Fuente: elaboración propia.

Trazado de la ruta de vuelo

Ya determinada la altura en la que la aeronave realizará el vuelo, es necesario conocer las condiciones climáticas, la dirección y velocidad del viento, condiciones de luz y visibilidad. Para esto, usaron la aplicación móvil UAV Forecast, la cual, brinda la información requerida y suministra una condición para volar (bueno para volar-malo para volar), como se evidencia en la Figura 4.

Figura 4

Condiciones climáticas previas al vuelo APP UAV Forecast



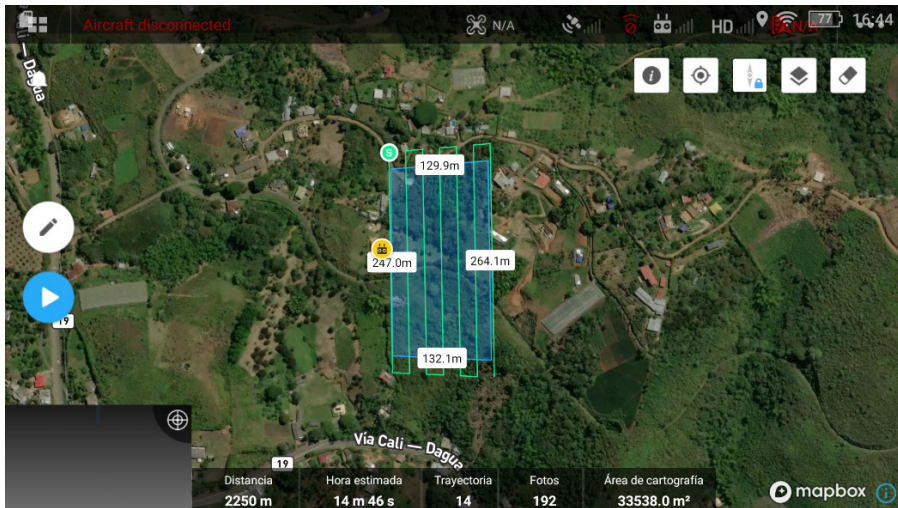
Seguido de esto, para trazar la ruta de vuelo utilizaron la app móvil de dji pilot, con esta app lograron realizar un vuelo tipo mapping con los siguientes parámetros, los cuales, ingresaron en la app, solapamiento frontal 80 % y lateral 75 % de las imágenes tomadas, velocidad de vuelo 2,5 m/s, altura de vuelo a 90 mts sobre el suelo, la app brinda la información de un tiempo estimado de vuelo de 14m 46s, con una distancia a recorrer por la aeronave de 2250 mts, una área de 33538 metros cuadrados, 192 fotos y 14 trayectorias, en este tipo de vuelo

Fuente: Adaptado de (aplicación de dispositivo móvil-creación propia).

automático, tuvieron en cuenta el estado de carga de la batería, aunque, para este caso, la batería fue cargada hasta un 98 %, lo cual, brindará una autonomía de vuelo de 30 minutos, es decir, se tendrá suficiente batería para un vuelo de 15 minutos aproximadamente.

Figura 5

Ruta de vuelo con app DJI Pilot



Fuente: Adaptado de (aplicación de dispositivo móvil-creación propia).

Vuelo y toma de fotos

Ya con la ruta de vuelo, el operador de la aeronave, en este caso los ponentes de este artículo, procedieron a preparar el ensamble del VANT, como primer paso retiraron la protección de la cámara, comprobaron que las hélices estén seguras y bien instaladas antes de iniciar, e instalaron la batería en la aeronave. Continuaron con el control remoto, ajustando las antenas de tal manera que queden hacia el frente, no fue necesario un dispositivo móvil para este control, ya que, dicho control tiene la pantalla integrada, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6
Control remoto



Fuente: Adaptado de (cámara dispositivo móvil Huawei psmart – creación propia).

El siguiente paso por seguir, es el encendido del dron, con la batería ya instalada en la aeronave, el piloto presionó el botón de encendido por una vez comprobando que las cuatro luces enciendan, esto lo realizó para comprobar el estado de la batería, seguido de esto, comprobó que los transmisores del control estén funcionando correctamente.

En este orden de ideas, el piloto inició, con encender el control pulsando 2 veces el botón “power”, teniendo en cuenta, que el primer pulso debe ser de 1 seg y el segundo pulso de 3 seg. Continuando, encendió la aeronave, pulsando el botón “power” del dron, de la misma forma que lo hizo con el control remoto. Cuando el dron enciende, el piloto permite que ejecute el diagnóstico del sistema. También, verifica que el sistema GPS esté funcionando correctamente, realiza pruebas de respuesta de la aeronave, iniciando con elevarla hasta una altura de 3 metros aproximadamente, verifica que responda de manera adecuada a las órdenes emitidas, las cuales son las siguiente, alabeo, cabeceo y guiñada, seguido a esto, eleva la aeronave hasta una altura de 20 metros y se lleva hasta 30 metros al frente, por último, verifica que el retorno a casa funcione de manera óptima. Asimismo, comprueba el funcionamiento de la cámara y su lente, carga la ruta de vuelo y se da inicio a la operación, la aeronave

realiza las tomas fotográficas automáticas y las almacena en la memoria micro SD (configurada), este proceso le brinda libertad al piloto para estar pendiente de otros parámetros, como: el nivel de carga de la batería, la seguridad del dron y aspectos relacionados con el entorno.

Figura 7

Pre vuelo y vuelo dron Mavic 2 Enterprise Advanced



Fuente: Adaptado de (cámara dispositivo móvil Huawei P smart. Fuente: elaboración propia.

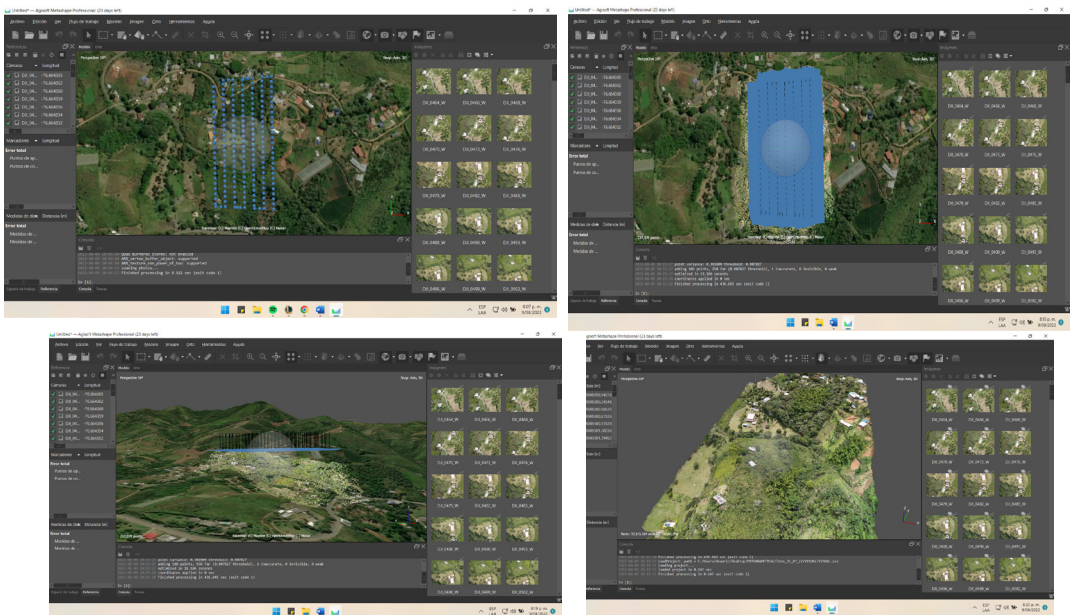
Procesamiento de imágenes

Para el procesamiento de las imágenes obtenidas optaron por utilizar el software Agisoft Metashape Professional, el cual, permite realizar fotogrametría, una técnica que se utiliza para recrear un modelo 3D. Como primer paso, el operador carga en el programa las imágenes obtenidas por el dron, en este paso, verifica que la cantidad de imágenes planificadas correspondan al número de las imágenes tomadas, estas imágenes contienen la información de posicionamiento GPS, el dron guarda la información de coordenadas con el sistema WGS 84(EPGS::4326). Para este caso de uso se convirtieron a sistema de MAGNA – SIRGAS/ Colombia West zone (EPGS::3115), este último sistema de coordenadas brinda la información de posicionamiento del este, el norte y la altitud de cada

imagen respectivamente. De esta manera, el software crea una imagen que se traslapa con el mapa, seguido a esto, el operador debe realizar la calibración de la cámara y alinear las imágenes ayudándose de los puntos georreferenciados de cada fotografía, para un óptimo resultado debe tener un adecuado solapamiento de cada imagen. Con la alineación obtenida, crea la nube densa de puntos, la cual, es un conjunto de vértices, es decir, un conjunto de puntos de las superficies más altas, que brinda coordenadas en los tres ejes del plano X, Y y Z. Seguido de esto, crea la malla, la cual, da cabida para generar la textura y así obtener el modelo 3D. Así pues, genera el modelo digital de elevaciones, fundamental para este trabajo porque permite identificar la altura de la vegetación del terreno. Por último, genera el ortofotomosaico, el cual, es una nueva imagen compuesta por el emparejamiento de todas las fotos obtenidas, este es de vital importancia porque de aquí se puede observar que tan densa y árida se encuentra la vegetación del lugar. Es importante tener en cuenta, que este mismo procedimiento se aplica a las fotos térmicas, obteniendo con este, un mapa de calor en 3 dimensiones del terreno. Lo anterior, se puede evidenciar en las Figuras 8 y 9, presentadas a continuación.

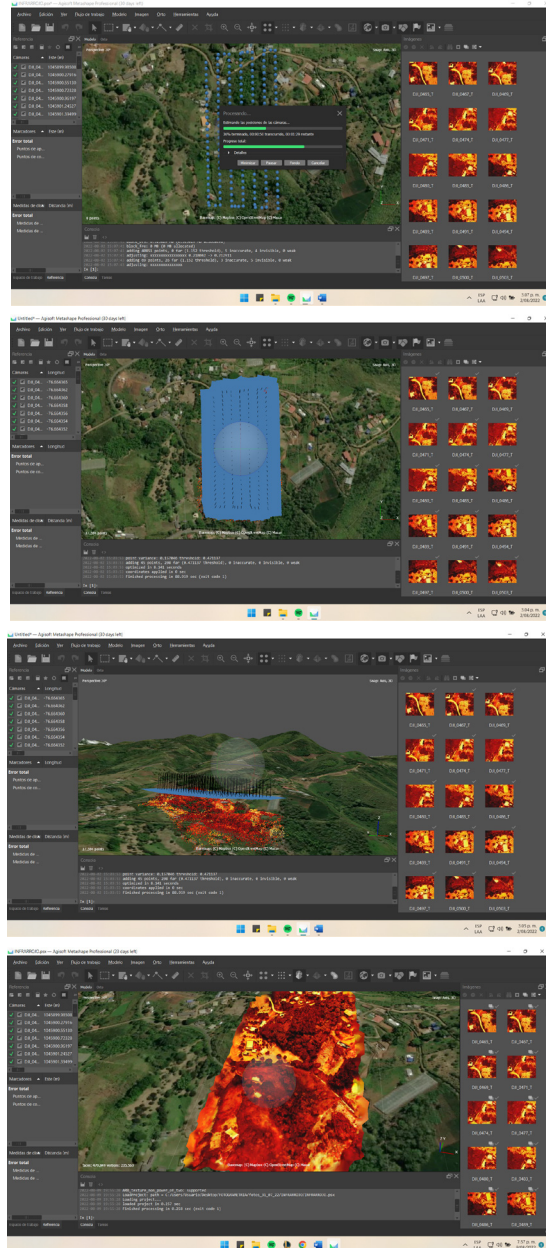
Figura 8

Procesamiento de imágenes software Agisoft Metashape Professional



Fuente: elaboración propia.

Figura 9
Procesamiento de imágenes térmicas software Agisoft Metashape professional



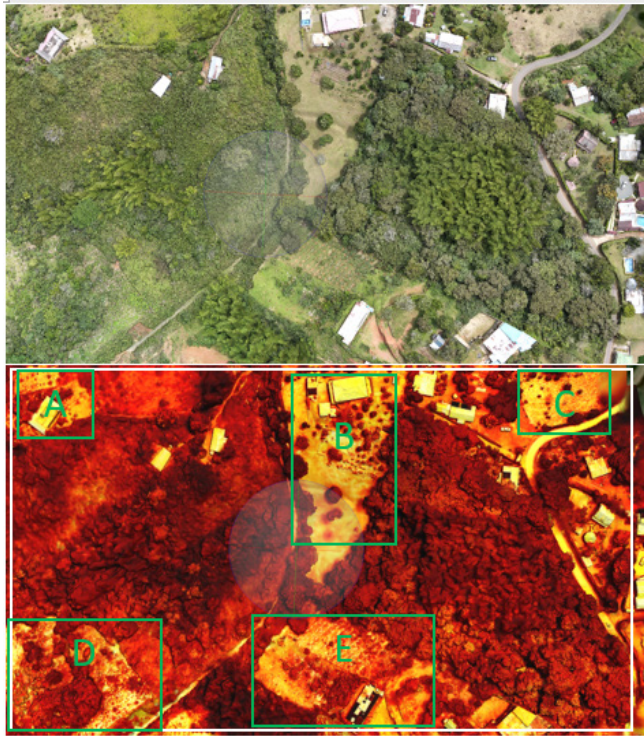
Fuente: elaboración propia.

4.6 Análisis de las fotos finales

Para llegar al objetivo propuesto en este trabajo los autores realizaron un análisis cualitativo, partiendo de la observación de los mapas obtenidos en el procesamiento de las imágenes como se muestra en la Figura 10.

Figura 10

Imágenes a comparar para el análisis



Fuente: elaboración propia.

Con la imagen anterior los autores comparan los mapas de calor y normal (tradicional), procesados por el software Agisoft Metashape professional. En el mapa térmico, pueden identificar zonas entre colores rojizos y amarillentos, los cuales, representan cambios de temperatura presentes en el terreno, es importante entender que entre más amarillo se torne una zona, es porque más caliente está, en base a esto, demarcaron en rectán-

gulos verdes las zonas que evidencian mayor temperatura, hicieron una aproximación de área compuesta por estas zonas calientes, sumando las áreas de cuadros verdes (A, B, C, D, E), dando como resultado que dichas zonas representan aproximadamente el 29,20 % respecto a la zona demarcada por el cuadro blanco. Al comparar las zonas demarcadas por los rectángulos verdes en la imagen térmica con la imagen normal, evidenciaron, que estas zonas presentan mayor temperatura porque en la superficie se observa vegetación seca. Siendo así, como análisis final de la observación a los mapas, concluyeron de manera cualitativa que las zonas demarcadas por los rectángulos verdes son posibles focos de incendio, ya que, cumplen con condiciones del triángulo del fuego, las cuales son, la vegetación seca (combustible) evidenciada en el mapa normal, en estas mismas zonas se muestra aumento de temperatura, evidenciado en el mapa de calor y, como tercer componente del triángulo, el oxígeno presente en el ambiente.

DISCUSIÓN

Con el fin de lograr el objetivo planteado al inicio de este capítulo, se desarrolló una revisión bibliográfica de textos relacionados con el tema, esta se basó principalmente en artículos y trabajos de investigación donde el uso de tecnología VANT fue el asunto a desarrollar en estos documentos. Además, se realizó una misión de vuelo con un dron “DJI Mavic 2 Enterprise advanced” en un cerro tutelar de Cali, esto, con el fin de obtener resultados basados en la práctica y así, lograr una perspectiva más realista de la teoría revisada. En relación a lo anterior, los resultados hallados presentan que el uso de drones para el monitoreo preventivo de incendios forestales representa menores costos y ejecuciones más rápidas, además, logra mayores alcances de monitoreo, pues el tema de la infraestructura del terreno deja de ser un aspecto de impedimento para el desarrollo de esta labor. Asimismo, representa para el personal encargado del control de incendios menores índices de peligro, es decir, resulta ser un proceso más seguro, pues el encargado realiza el vuelo y es el dron el que se interna a los terrenos que puedan ser propensos a focos de incendios.

En este orden de ideas, una de las investigaciones que sirvió de base para la realización de este documento, fue la realizada por Madridano, Á., Campos, S., Al-Kaff, A., García, F., Martín, D. y Escalera, A. en el 2020, en donde, implementaron un dron para la vigilancia y monitoreo de incendios de manera autónoma, esto, mediante el uso de sensores

y accesorios incluidos en el dispositivo. Esta investigación, brinda una comparación y enriquecimiento a este artículo, pues los autores realizaron una interfaz gráfica con el objetivo de brindar e intercambiar información entre la aeronave y el personal en tierra. En este orden de ideas, ambas investigaciones tienen el mismo objetivo, de monitorear y vigilar los principios de incendios mediante el uso de la tecnología VANT, sin embargo, en esta investigación los autores buscan, además, realizar una interfaz que permita el intercambio de información en tiempo real con el personal en tierra. Lo anterior, representará mayor cantidad de hallazgos relacionados con el momento exacto de “la misión de vuelo” y lo que ocurre cuando la aeronave se encuentra en el aire.

A partir de lo anterior, se evidencian aspectos relevantes a tener en cuenta en próximas investigaciones, las cuales, tienen relación con la estructura que presenta el VANT para la ejecución de las misiones de vuelo. Es decir, próximas investigaciones podrían implementar sensores de humedad en el dron para así lograr determinar el dato de la humedad del terreno donde se desarrollará el vuelo. Asimismo, la aeronave podría contar con materias y partes que representen mayor resistencia y durabilidad frente a posibles riesgos que pueda presentar en dichas misiones, además, instaurar en el dispositivo sensores o algoritmos que permitan que este reconozca y evite posibles obstáculos que puedan aparecer en el terreno.

CONCLUSIONES

A continuación, se exponen las conclusiones que surgieron al presentar la metodología de vuelo para un VANT, con el objetivo de prevenir y controlar posibles focos de incendios. En este orden de ideas, para el análisis se debe tener en cuenta el triángulo del fuego, es decir, para que haya fuego deben existir tres elementos, si uno de los tres no está presente el fuego no existe, dichos elementos son: el combustible o carburante que no es más que materiales vivos o muertos que pueden arder en la naturaleza, el oxígeno y el calor. Seguidamente, en este trabajo se realizó la inspección a un terreno, el cual, se caracteriza por ser propenso a presentar focos de incendios. Gracias a la fotogrametría y la observación del terreno, por medio de las imágenes obtenidas con el VANT se puede determinar si dicho terreno presenta vegetación seca en alto porcentaje o bajo porcentaje, asimismo, con la ayuda de la cámara térmica integrada en el dron se puede evidenciar si el terreno está presentado focos de calor.

A partir de lo anterior, para controlar un incendio forestal el ente encargado del control y prevención de incendios puede optar por disminuir la cantidad de combustible (materia viva o muerta, presente en el terreno) o por disminuir el calor del terreno, ya que, disminuir la cantidad de oxígeno en campo abierto es algo imposible. En base a esto este trabajo brindará una herramienta de ayuda al momento de decidir qué parte del terreno podría ser más propicia a incendios por su vegetación y su radiación de calor emitida.

Asimismo, el uso de tecnología VANT y los softwares de procesamientos de imágenes en la identificación de inicios de incendios son de gran ayuda, pues brindan una visión y perspectiva más amplia y precisa de los focos de calor presentes en los terrenos, que pueden analizarse de forma cualitativa y cuantitativa, este tipo de procedimiento les brindará a los entes encargados del control y prevención de incendios una herramienta más completa para optimizar la labor que estos realizan, que en la ciudad de Cali son, el cuerpo de bomberos y la defensa civil.

REFERENCIAS

- APD - Profesionales en drones. (s.f). RAC 91: Regulación dron en Colombia. <https://idc.apddrones.com/regulacion/rac-91-regulacion-drone-en-colombia/>
- Aber, J.; Aber, S.; Buster, L.; Jensen, W. y Sleezer, R. (2009). Challenge of Infrared Kite Aerial Photography: A Digital Update. Transactions of The Kansas Academy of Science. 112. 31-39. 10.1660/062.112.0205.
- Albaladejo Meca, P. (2020). *Programación de rutas para la navegación aérea de un dron repetidor/recolector de datos como ayuda en la lucha contra incendios forestales*. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/148554>.
- Bonilla, R. (2001). *Guía Técnica en Control y Prevención de Incendios Forestales*. Propeten Conservación Internacional Guatemala. www.camafu.org.mx/wp-content/uploads/2017/12/guia_incendios_Guat.pdf.
- Bonilla Yoza, M. M., Maldonado Zuñiga, K., Zambrano Zambrano, S. M., y Cevallos Pionce, W. R. (2021). El uso de los drones en el ámbito profesio-

- nal: el uso de los drones en el ámbito profesional. UNESUM-Ciencias. *Revista Científica Multidisciplinaria*. ISSN 2602-8166, 5(4), 75-82. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v5.n6.2021.516>.
- Bordón, M. O. (2008). Los Desastres Naturales y la Sociedad. Volumen (30), pp. 4. *Revista Médica Electrónica*. Disponible en: <http://www.revmedicaelectronica.sld.cu/index.php/rme/article/view/529>.
- Botero A, M., Cañon Zabaleta, B., Olarte C., W. (2011). *Aplicación de la Termografía en el Mantenimiento Predictivo*. Obtenido de: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/1303/875>.
- Camisay, S. (2021). *Drones bomberos: combate automatizado de incendios forestales con drones*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires– ITBA Escuela de ingeniería y gestión. DOI: <http://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/3673>.
- Centro Nacional de Comunicaciones. (2015). Universidad Nacional Autónoma de México. *Incendios* Obtenido de: <https://www.unam.mx/medidas-de-emergencia/incendios>.
- Chaves Pabon, S. B. (2021). *Uso de drones y sensores remotos para el monitoreo de laderas: una revisión*. *Ingenierías USBMed*, 12(2), 65–73. <https://doi.org/10.21500/20275846.5158>.
- Cirugeda Pablos, A. (2021). *Entrenamiento de drones para la monitorización de incendios mediante aprendizaje por refuerzo*. Universidad Autónoma de Madrid Escuela Politécnica Superior. DOI: <http://hdl.handle.net/10486/698151>.
- Cruz Carrillo, M. de C.. H. (2021). *El control y detección de incendios forestales para las fuerzas militares y organismos de gestión de riesgos en el Ecuador apoyado en la visión artificial*. *Revista de la Academia del Ejército del Ecuador*, 11(1), 5. Obtenido de: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/Academia-de-guerra/article/view/V11N1ART17>.
- Digital Box. (2019). *14 usos de drons que seguro no conocías*. obtenido de: https://digitalbox.com.ec/blogs/25_14-usos-de-drones-que-seguro-no-conoc%C3%ADas.html.
- Escalante Torrado, J. O., Cáceres Jiménez, J. J., y Porras Díaz, H. (2017). *Orthomosaics and digital elevation models generated from ima-*

ges taken with UAV systems. *Tecnura*, 20(50), 119–140. <https://doi.org/10.14483/22487638.11566>.

Ferrándiz San José, J. (2021). *Enjambres de drones aplicados al mapeo de áreas rurales y la prevención de incendios*. UAM Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Ingeniería Informática. <http://hdl.handle.net/10486/698220>.

García C. B., Calle C. G., Castillo J. F. y Muñoz F.,(2022) “Methodology for Infrastructure Site Monitoring using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA)*, 13(3), 2022. <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0130342>.

IDIGER, Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (2022). *Caracterización General del Escenario de Riesgo por Incendio Forestal*. Obtenido de: <https://www.idiger.gov.co/rincendiof>.

Lencinas, J.D., Parodi, E., Van den Heede, B. y Heitzmann, L. (2016). Desarrollo y construcción de un vehículo aéreo no tripulado aplicado a los incendios forestales. *Revista: 3C Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 5(4), 27-35. DOI: <https://www.3ciencias.com/articulos/articulo/desarrollo-construccion-vehiculo-aereo-no-tripulado-aplicado-los-incendios-forestales/>.

Londoño, J. A., Rivera Erazo, J. E., Díaz Franco, E. A. (2019). *Propuesta de alerta temprana ante incendios forestales mediante dron*. IUE Institución universitaria de envigado. <http://bibliotecadigital.iue.edu.co//jspui/handle/20.500.12717/449>.

Madridano, Á., Campos, S., Al-Kaff, A., García, F., Martín, D., Escalera, A. (2020). Unmanned aerial vehicle for fire surveillance and monitoring. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial* 17, 254-263. <https://doi.org/10.4995/riai.2020.11806>.

Martín-Borregón Domènech, D. (2012, April 20). *Sistema de detección de incendios forestales utilizando técnicas de procesamiento de imagen (Proyecto/Treball Final de Carrera)*. UPC, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona, Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2099.1/15216>.

- Pausas J. G. (2012). Incendios Forestales una vision desde la ecologia.[En línea] Madrid. <https://digital.csic.es/handle/10261/56575>
- Rodríguez, D. (2021). “Fenómeno natural”.Concepto definición.de. Obtenido de: <https://conceptodefinicion.de/fenomeno-natural/>.
- RSE, Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad. (s.f). *Desastres naturales: que son, definición, tipos, características y prevención*. Obtenido de: https://www.responsabilidadsocial.net/desastres-naturales-que-son-definicion-tipos-caracteristicas-y-prevencion/#Que_son_los_desastres_naturales.
- Toriz P., A., Raygoza B., M., Martínez N, D. (2017). Modelo de inclusión tecnológica UAV para la prevención de trabajos de alto riesgo, en industrias de la construcción basado en la metodología IVAS. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2016.09.004>.
- Torres-Sánchez, Jorge y Peña-Barragán, José M y De Castro, Ana y López-Granados, Francisca. (2014). Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*. 103. 104–113. DOI: 0.1016/j.compag.2014.02.009.
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. (2022). *Reglas generales de vuelo y de operación*. [online] Available at: <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/reglamentacion/rac>.
- UNDRR, Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres. (s.f). *Los Fenómenos naturales y los desastres*. Obtenido de: <https://www.eird.org/fulltext/ABCDesastres/teoria/desastres.htm>.
- Watts, A. C. Ambrosia, VG y Hinkley, E.A. (2012). Sistemas de aeronaves no tripuladas en teledetección e investigación científica: clasificación y consideraciones de uso. *Detección remota* , 4 (6), 1671–1692. <https://doi.org/10.3390/rs4061671>.
- Zhang, C., Kovacs, J. M. (2012). La aplicación de pequeños sistemas aéreos no tripulados para la agricultura de precisión: una revisión. *Precision Agric* 13, 693–712 . <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>.
- Z. A. Memon, M. Z. Abd. Majid y M. Mustaffar (2012). “The Use Of Photogrammetry Techniques To Evaluate The Construction Project Progress”, *J. Teknol.* Junio. doi: <https://doi.org/10.11113/jt.v44.358>.