

**ANALISIS COMPARATIVO DE VUELOS FOTOGRAMETRICOS DE
VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS (UAV)**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF PHOTOGRAMETRIC FLIGHTS OF
UNMANNED AIR VEHICLES**

**José Manuel Chaparro, Luis Antonio Palacios, Nicolás Steven
Amezquita Rodríguez
Tutor: Jorge Enrique Guerrero Ruiz
Universidad de Cundinamarca, Colombia
Sede Fusagasugá**

RESUMEN

El objetivo de la investigación es realizar un análisis comparativo de vehículos aéreos no tripulados que permita entender la importancia que tienen dichos vehículos para trabajos cartográficos. Por ende, este proyecto se llevó a cabo en un espacio de seis hectáreas ubicada en la finca Villa Mariana en la vereda espinalito Fusagasugá, con el fin de realizar tres vuelos fotogramétricos en el lugar de estudio, se visualizó primero el estado del clima gracias a la aplicación “OK to Fly” para ver si las condiciones climatológicas eran aptas en los días 13 y 14 de mayo del año 2021 para realizar los respectivos vuelos.

Las aeronaves utilizadas para este proyecto fueron Phantom 4, Mavic 2 Enterprise Dual, Mavic pro. Con la descripción anterior, fue necesario establecer el terreno y los días seleccionados para desarrollar la actividad, a partir del plan de vuelo creado mediante la aplicación “DroneDeploy”; su fácil manejo fue efectivo en el desarrollo de los planes de vuelo para cada uno de los drones, dando como tal un tiempo estimado del vuelo, la cantidad de baterías que se deben usar, como también la cantidad de imágenes que se tomaron en el vuelo dependiendo de cada aeronave que se usó.

Luego de la recolección de datos obtenidos en campo se procede a realizar el post-proceso con la finalidad de entender cuál de estas aeronaves tuvo mejores resultados para trabajos fotogramétricos.

Palabras clave: Cartografía, fotogramétricos, plan de vuelo, aeronave.

ABSTRACT

The objective of the research is to carry out a comparative analysis of unmanned aerial vehicles that allows us to understand the importance of said vehicles for cartographic work. Therefore, this project was carried out in an area of six hectares located in the Villa Mariana farm in the Espinalito Fusagasugá village, in order to carry out three photogrammetric flights in the study place, the state of the climate was first visualized thanks to the "OK to Fly" application to see if the weather conditions were suitable on May 13 and 14, 2021 to carry out the respective flights.

The aircraft used for this project were Phantom 4, Mavic 2 Enterprise Dual, Mavic pro. With the previous description, it was necessary to establish the terrain and the days selected to carry out the activity, based on the flight plan created using the "DroneDeploy" application; Its easy handling was effective in the development of the flight plans for each of the drones, giving as such an estimated flight time, the number of batteries to be used, as well as the number of images that were taken on the flight. depending on each aircraft that was used.

After collecting the data obtained in the field, the post-process is carried out in order to understand which of these aircraft had the best results for photogrammetric work.

Keywords: Cartography, photogrammetrics, flight plan, aircraft.

INTRODUCCIÓN

El proyecto pretende hacer una comparativa entre los diferentes resultados obtenidos de los vehículos aéreos no tripulados enfocados en fotogrametría, con el fin de complementar los conocimientos adquiridos en el diplomado (Diplomado en UAS para Catastro con fines Multipropósito). Por ello se lleva a cabo tres vuelos con tres diferentes drones (Mavic pro, Mavic 2 Enterprise y Phantom 4) con el fin de determinar cuál drone ofrece un mejor rendimiento para un adecuado trabajo fotogramétrico.

Teniendo en cuenta lo anterior se realiza un plan de vuelo utilizando el software “Drone Deploy” que proporciona la información en cuanto al tiempo y consumo de baterías del drone. Posteriormente para el trabajo de campo se realiza un post proceso donde se obtienen las descargas de las imágenes en el software “Pix4D” el cual es el encargado de generar el ortomosaico.

Para examinar de forma exitosa el trabajo tanto de oficina como en campo se tiene presente artículos encontrados en libros e internet los cuales brindan información y sirven de guía para una mejor ejecución del proyecto como por ejemplo Herrera el cual por medio de su publicación elaborada en 1987 da una iniciativa de cómo era la fotogrametría terrestre en aquel tiempo, se complementa con lo escrito por Arnulfo Escamilla el cual redacta sobre la fotogrametría a partir de un criterio más moderno en el 2018 y de esta forma hasta llegar a Arriola Valverde quien además redacta en 2018 datos acerca de la fotogrametría aérea lo que es el principio del plan que se hace.

Con la información suministrada por dichos autores se llegó al tema de la nueva tendencia que es la fotogrametría con drones, una gran fuente de información sobre esta tendencia son la página web “Aerial Insights” los cuales tienen un portal web de procesamiento que sirve para generar modelos georreferenciados.

Junto con los autores mencionados y la página web, también se recurre a solicitar información a la empresa INVIAS los cuales tienen un manual

CIENCIAS AGROPECUARIAS 2021

escrito junto con Zafra Granados sobre la reglamentación que se maneja para Aeronavegabilidad y drones.

Lo anterior da respuesta a esa realidad, donde los avances tecnológicos han otorgado en la última década a los campos de la cartografía y fotogrametría precisión, calidad de imagen y análisis en tiempo real, considerándolos como la mejor opción para trabajar las imágenes satelitales de acuerdo a la demanda actual de actualización de información geográfica.

LITERATURA

Tabla 1, autores más importantes. Elaborado por: Los autores

Autor	Año	Tema a trabajar
Arnulfo Escamilla	2017	Fotogrametría
Valverde Arriola	2018	Fotogrametría Aérea
Paulino Vásquez	2017	Sensores
Zafra Granados & INVIAS	2011	Reglamentación
Paloma Sánchez	2018	Nube de Puntos
Aerial Insights	2018	Fotogrametría con drones
ESRI	2019	ArcGIS

Fotogrametría

Frecuentemente el uso de las fotografías, especialmente las tomadas desde el aire no tienen como fin la medida, sino la investigación y la significación del contenido de las vistas constituyendo la llamada fotointerpretación.

La fotogrametría se emplea principalmente y cada vez más en la medición de la superficie terrestre y en la representación de esta mediante planos y cartas topográficas, es también, en primera línea un método de medida

geodésicos. Sus métodos se basan en el empleo de un solo fotograma o de un par de fotogramas, según el lugar desde el que hayan sido tomadas las fotografías, se dividen en fotogrametría terrestre y fotogrametría aérea.(Arnulfo, 2017)

Fotogrametría es la ciencia por medio de la cual, a partir de fotografías del terreno, se consigue deducir su planta y su alzado, llegando a formar un plano topográfico del mismo. Estas fotografías pueden tomarse desde tierra o desde el aire, dando lugar a la división en dos grandes ramas de la fotogrametría: terrestre y aérea.(Santamaria Peña, 2011)

Puede definirse también la fotogrametría como el conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuáles podemos deducir de la fotografía de un objeto, la forma y dimensiones del mismo.

Clasificación de la fotogrametría

Fotogrametría terrestre

La fotografía es usada en una posición tal que el eje de la cámara fotográfica resulta horizontal y paralelo al terreno o corteza terrestre. Tiene su principal aplicación en la arquitectura y la arqueología y se basa en el principio de la toma de fotografías desde la tierra, como la hacemos habitualmente; donde la posición de la cámara y el objeto es perfectamente conocida. (Herrera, 1987b)

Fotogrametría analógica

Si se entiende por fotogrametría, como se ha comentado, la determinación precisa de un objeto en el espacio, mediante la utilización de fotografías aéreas, la fotogrametría analógica lo consigue mediante la utilización directa de dichas 10 fotografías (formando modelos estereoscópicos), reconstruyendo el modelo espacial con sistemas ópticos o mecánicos. Se basa en la utilización de aparatos de restitución ópticos o mecánicos, donde el operador realizaba la alineación de las imágenes para crear un

modelo estereoscópico debidamente nivelado y escalado. Por otro lado, la confección de mapas, con información plani-altimétrica, se realizaba con el principio de la marca flotante o graficadoras basadas en este principio. (Otero, 2005b)

Fotogrametría analítica

En este caso el modelo espacial se reconstruye exclusivamente mediante programas informáticos que simulan dicha geometría. Con la utilización de los restituidores analógicos y la incorporación de las computadoras se da inicio a la fotogrametría analítica. Se crea al restituidor analítico agilizando los tiempos y logrando niveles de detalle a diferentes escalas. Se posibilita el vuelco de la información a programas de tipo CAD. (Lerma J.L, 1999)

Fotogrametría digital

Fotogrametría que utiliza como dato de entrada las fotografías aéreas previamente transformadas a formato digital, reconstruyendo así mismo el modelo espacial de forma numérica o digital; en este caso los conceptos relativos a tratamiento digital de imágenes cobran gran importancia. Finalmente, el avance tecnológico hizo posible llegar a la fotogrametría digital. El uso de las computadoras y los programas o software aplicados dan origen a los modelos digitales del terreno 3D, etc.(Gómez M, 1989)

Fotogrametría aérea

La fotogrametría aérea permite obtener imágenes de zonas muy amplias sin que produzcan como en el caso de la fotogrametría terrestre la ocultación de elementos (a excepción de aquellas que están tapadas por elementos como árboles, cornisas, balcones) además al mantenerse la altura de vuelo constante en todos los puntos, el levantamiento resulta homogéneo, El caso fotogramétrico aéreo se caracteriza por ser el único procedimiento posible para el levantamiento de grandes extensiones, características que pueden compartir en un futuro próximo con nuevas técnicas de medición.(Pozuelo & Nuñez, 2003)

Como una extensión de la fotografía aérea, la fotogrametría terrestre es una técnica que permite estudiar zonas geográficas a partir de imágenes y diversos sensores, con el fin de extraer información útil en aplicaciones tales como agricultura de precisión, inspección de estructuras y ordenamiento urbano y vial, entre muchas otras.(Arriola Valverde, 2018a)

La fotogrametría aérea se presenta libre de ambos inconvenientes en casi todos los casos. Desde el avión se tiene una visión eminente del terreno, y las distancias a que pertenecen los objetos quedan siempre dentro del mismo orden de alejamiento, mientras las vistas se tomen bien por encima de las montañas y con el eje de la cámara próximamente vertical. Por este motivo siempre que la extensión del terreno compense el coste del vuelo, las fotografías que se efectúen con objeto de confeccionar cartas topográficas se harán para la aerofotogrametría.(Lehmann, 1975)

Fotografías obtenidas desde vehículos aéreos; el eje óptico de la cámara fotográfica resulta sensiblemente perpendicular al terreno o corteza terrestre. Es la que utiliza fotografías aéreas tomadas desde una cámara de toma de vistas, ubicada en una plataforma especial (avión). (Herrera, 1987a)

Fotogrametría con drones

Uno de los campos de mayor impacto es en el de la topografía, donde gracias a ellos es posible realizar levantamientos topográficos de gran precisión en poco tiempo, suministrando a los procesos de Ingeniería información completa y confiable. La escala de trabajo de los drones los convierte en una herramienta ideal para cubrir la brecha existente entre los levantamientos con aerofotografía y los levantamientos convencionales por tierra. (Insights, 2018)

Distancia de muestreo (Ground Sampling Distance GSD)

Hace referencia a la distancia entre el centro de píxeles adyacentes medido desde tierra. Debido a que un píxel es cuadrado, el área que cubrirá cada píxel se puede representar mediante la ecuación:

$$\text{Área} = \text{GSD} * \text{GSD} [\text{m}/\text{pixel}^2]$$

Para la generación de ortoimagen generalmente se utiliza un valor promedio de GSD. (Lorduy, 2017)

Tipos de drones

Drones de ala fija

Los drones de ala fija son aeronaves que poseen un perfil alar que permite que la aeronave pueda moverse a través del aire y sea capaz de generar fuerzas sustentadoras para mantenerse en el aire. Este tipo de drones tienen una estética muy similar a los aeromodelos de radiocontrol.

La principal característica de este tipo de drones es la gran autonomía que nos ofrecen ya que pueden estar volando varias horas gracias a su eficiencia aerodinámica. Los drones de ala fija son ideales para mapear grandes superficies de terreno ya que con una única batería se cubren grandes extensiones de terreno. Por este motivo son drones muy utilizados en trabajos de agricultura de precisión y de fotogrametría.

Drones de ala rotatoria (Multirrotor)

Los drones de ala rotatoria, o más conocidos como multirrotores, son los tipos de dron más extendidos y más utilizados por los profesionales del sector. Si bien es cierto que existen otros tipos de drones de ala rotatoria, solamente vamos a analizar los multirrotores por ser los drones más comunes del mercado.

La principal diferencia de los multirrotores con respecto a los drones de ala fija radica en la forma en la que consiguen mantenerse en el aire. Mientras que los drones de ala fija consiguen la sustentación a través de

su perfil alar, los multirrotores generan la sustentación a través de las fuerzas que generan las hélices de sus rotores.

Según el número rotores que monte el drone existen: tricópteros (3 motores), cuadricópteros (4 motores), hexacópteros (6 motores) y octacópteros (8 motores). (Insights, 2020)

Sensores

Conforme los drones han ido evolucionando en tamaño, forma, capacidades y sobretodo en aplicación, sus componentes básicos también lo han hecho, de esta manera, se les han ido incorporando opciones que cubren requerimientos específicos de datos, por ejemplo, giroscopios, acelerómetros, magnetómetros y altímetros⁵. Y como complementos secundarios se han añadido equipos de geolocalización (GPS), sonar, sensor laser, cámaras de video o fotografía; cabe señalar que el conjunto de sensores es más importante que el mismo dron, debido a que son los componentes que capturan todo el cumulo de datos requeridos para determinado proyecto. (Paulino Vazquez & Pohls, 2017)

Campo de visión (FOV)

El campo de visión (FOV) define la distancia y el ángulo que el sensor de proximidad puede detectar mientras que la función de proximidad está activada. Incluye dos ángulos de rango de piezas y distancia de alcance. Para garantizar la mejor experiencia, la distancia recomendada entre usted y la pantalla del portátil debe ser de 70 cm. (Dell, 2021)

Proyecto de vuelo

Cuando se requiere realizar vuelos con el fin de obtener tomas fotográficas aéreas se debe tomar en cuenta una serie características principales, para evitar retrasos e inconvenientes posteriores, tales como:

CIENCIAS AGROPECUARIAS 2021

1. Adquisición de datos: Planificación y ejecución de vuelo: Cuando se trata de realizar una planificación de vuelo mediante aparatos UAV, una de las soluciones más rápidas y fáciles es realizar este plan de vuelo con ayuda de aplicaciones que sean capaces de obtener datos de mapeo óptimos, con el fin de encontrar una aplicación idea
2. Ubicación de los puntos “GCP”: Los puntos de control terrestres están ubicados en lugares de fácil acceso, de tal forma que puedan coincidir y se encuentren organizados, estos puntos deben ser colocados para relacionar el terreno con las fotografías, esto quiere decir que se usa para georreferenciar el proyecto a realizar.
3. Procedimiento para planificar Plan de Vuelo.(Dayana, 2016)

Reglamentación

En Colombia la reglamentación sobre Aeronavegabilidad y Drones (RPA) está a cargo de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC), la cual tiene como objetivo coordinar, formular, dirigir, organizar, y regular técnicamente el transporte aéreo. Controlar, supervisar, y asistir la operación y navegación aérea que se realice en el espacio aéreo sometido a la soberanía nacional. Además de fijar, establecer y desarrollar políticas de reglamentación, sanciones, y tarifas en materias del transporte aéreo. La Circular Reglamentaria No. 002, tiene como propósito ampliar la información e impartir instrucciones de cumplimiento en referencia los requisitos de Aeronavegabilidad y Operaciones necesarios para solicitar permiso de acuerdo con lo establecido en el numeral 4.25.8.2 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC), en lo relacionado con la realización de operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia -RPAS en Colombia. (AEROCIVIL, 2015)

Ninguna persona operara en Colombia un RPA a menos de que reúna las siguientes condiciones:

Sus hélices o rotores no podrán ser metálicas.

Debe estar equipado mínimamente con: Sistema de piloto automático, sistema GPS, sistema de lanzamiento y recuperación, sistemas para la seguridad en vuelo.

Su estación de pilotaje a distancia permite el control vía radio.

Sistemas de radiocontrol, transmisión y recepción de datos o imágenes.

Su sistema de moto propulsar no debe generar ruido excesivo o contaminación.

Contar con instructivos o manuales técnicos y de operación.

Los colores exteriores de la aeronave lo hacen claramente visible y detectable a distancia. (Zafra & INVIAS, 2011)

Planeación de Vuelo y adquisición de imágenes

El rol del dron en el trabajo de levantamientos topográficos es el de adquirir la data del campo mediante la toma georreferenciada de fotografías aéreas verticales consecutivas y homogéneas que se traslapan entre ellas a fin de crear pares estereoscópicos entre las fotos.

La fotogrametría se sirve en la actualidad de plataformas UAV, comúnmente conocidos como drones, para la toma de esas imágenes. Con el vuelo fotogramétrico con dron han crecido las posibilidades de explotación de las imágenes. La fotogrametría con drones ha permitido acelerar los procesos, reducir los costes, minimizar los riesgos operativos y proporcionar imágenes de alta calidad. Pero para que la restitución de las imágenes en 3D con drones sea precisa necesitamos, además de un gran conocimiento del terreno y de la fotogrametría, una correcta planificación del vuelo.

Eso significa volar el dron correctamente para obtener las imágenes precisas en número y calidad.(Pedro, 2015)

Toma de imágenes

El vuelo fotogramétrico con dron debe ser estable y constante para obtener elementos de la imagen anterior, posterior y laterales. Las fotografías captadas deben tener una cantidad elevada de solapamiento entre imágenes. Esto es necesario para capturar los suficientes ángulos de cada activo. Y modelarlo posteriormente en 3D. La mejor forma de conseguir un buen solapamiento de imágenes y contar con una buena planificación de vuelo es programar el software y calcular las secuencias de disparos a partir de la posición del dron, la altura y el solape deseado.(Geomatica, 2020)

Una vez hechas las fotografías, se crea una nube de puntos georeferenciada. Esa nube de puntos se exporta en los formatos estándares para su procesamiento. Esto hace posible la creación de MDT (modelos digitales del terreno) y MDS (modelos digitales de superficie). Basándonos en ellos, podemos efectuar distintos tipos de mediciones.(ACG DRONE, 2020)

Nube de puntos

Una nube de puntos 3D es el primer producto resultante del escaneo láser o la fotogrametría digital. Se compone por millones de puntos posicionados tridimensionalmente en el espacio, formando con exactitud milimétrica una entidad física y representando su superficie externa. La nube de puntos 3D contiene una amplia información métrica sobre las superficies escaneadas, así como la relativa a su color y reflectividad del material.(Ingeniería, 2019)

El objetivo principal de obtener una nube de puntos 3D es facilitar el trabajo a empresas de diferentes sectores, así como obtener productos rápidos, reducir costes, reducir tiempos de elaboración de proyecto y obtener resultados de mejor calidad, con gran nivel de detalle.(Sanchez, 2018)

¿Qué productos se generan a partir de las nubes de puntos 3D?

- **Mallas 3D:** Esta malla se considera como un proceso secundario tras la nube de puntos, nos permite pasar de un modelo 3D formado únicamente por puntos, a un modelo 3D de malla formado por pequeños planos poligonales (triángulos). Esta malla se trata de un objeto cerrado que se adapta a la forma real del objeto medida en la nube de puntos.
- **Ortoimagen:** Se trata de una representación bidimensional de imagen (jpg, png, bmp, etc.) de una vista ortogonal del entorno escaneado, donde cada elemento representado se encuentra en verdadera magnitud, teniendo la misma validez que una medida en un plano clásico. Por tanto, podemos tomar medidas reales sin estar en el lugar in situ. Además, podemos generar ortoimágenes por cada plano de interés, ya sean, alzados o secciones, éstas últimas muy utilizadas para análisis geométricos o de deformaciones.
- **Mapas de deformaciones:** con la aplicación de patrones cromáticos a las nubes de puntos mediante software específicos, podemos detectar o resaltar deformaciones de las superficies escaneadas. Además, podemos comparar las discrepancias morfológicas entre el modelo escaneado y un modelo teórico. Estos mapas son esencial para realizar análisis de planitud, pendientes, deformaciones estructurales, desplomes, etc.(Dronica, 2018)

Puntos de control

Para un mejor entendimiento, un punto de apoyo, punto de control terrestre o punto topográfico, no es más que un lugar, una parte que es fácilmente observable en la tierra, del que se conoce su localización bajo un sistema de coordenadas; los mismos que están en sitios específicos dentro del área que se desea estudiar.

Estos puntos topográficos se utilizan con el objetivo de georreferenciar con la más alta precisión el relieve de la tierra, también se logra obtener información acerca de las ciertas irregularidades topográficas, ya sean de origen natural o artificial, independiente por la vía en que se desea hacer, por vía terrestre o aérea. Cabe resaltar que una de sus peculiaridades más asombrosas es que se obtienen de una forma más rápida, sencilla y precisa los procesos de captura de datos, almacenamientos de los mismos, cálculos y la emisión de la información recogida en el campo; de igual manera la representación gráfica de los mismos, mostrando al usuario un resultado final con precisión y rapidez inigualable. (ACRE, 2020)

Procesado de imágenes

Las imágenes constituyen un tipo particular de dato a partir del cual puede derivarse abundante información. Ya sea como elementos meramente visuales cuyo único fin es la representación junto a otras capas de información, o bien como base para análisis más complejos, las imágenes son uno de los componentes más importantes del uso habitual de un SIG. Sus particularidades las hacen merecedoras de un capítulo propio dentro del cual tratar aquellos análisis desarrollados especialmente para este tipo de datos, que comparten, no obstante, cierto número de sus principios fundamentales con otros de los análisis ya vistos. (Olaya, 2020)

Modelo digital del terreno (DTM)

Los Modelos Digitales de Terreno (MDT) son un tipo de modelos simbólicos en los que se intenta representar mediante un conjunto de datos numéricos la distribución espacial de una característica del territorio.

Un modelo digital del terreno constituye una representación numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Esta variable por lo general representa las características topográficas de éste y expresadas mediante las coordenadas X, Y, Z de

los puntos que las definen. Codificadas en forma y función y almacenadas en un soporte estable tal, que, en procesos posteriores, permita, hasta en su caso más general, conocer su configuración, cuantificando y cualificando cada elemento, puntual, lineal, superficial y volumétrico, en cualquier orden o estructura geométrica, y que además aporte la adecuada metodología para actuar sobre él. (Perez, 2001)

Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados. En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos y para el caso de los que son generados con tecnología LIDAR se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud.(INEGI, 2020)

Modelo digital de elevación (DSM)

El procesamiento de imágenes tomadas con sistemas UAV o fotogrametría UAV consiste en generar un modelo digital de elevaciones o de superficie (DSM) de la escena registrada. Para la generación de estos modelos la nube de puntos debe pasar por una triangulación y rasterización, en la que se genera una red irregular de triángulos (TIN) de la que son interpoladas los valores de altura para la generación de un archivo raster. (Torrado, 2016)

Los modelos digitales de elevación implican una representación de las elevaciones del terreno mediante valores numéricos, generalmente esta representación es una forma simplificada de la geometría de la superficie del terreno. Consiste en una serie de puntos con coordenadas conocidas,

referenciadas a un sistema de coordenadas bidimensionales a las que se le asocia un valor de elevación. (INEGI, 1999)

Los Modelos Digitales de Elevación responden a archivos cartográficos que identifican la superficie territorial mediante datos de elevación. A partir de estos valores podremos explotar la información para generar otros Modelos Digitales de Terreno secundarios que ofrezcan información que, a simple vista, nuestros ojos no perciban. Así, por ejemplo, un análisis de valores de altitud a través de matrices de 3x3 píxels nos puede ayudar a construir un nuevo modelo basado en valores de pendientes. O un análisis de las variaciones de altitud puede identificar los lugares por los que discurrir una red de drenaje. Cualquier aspecto de la morfología terrestre puede ser analizado a través de un sencillo DEM y sus valores altitudinales. (Matallanes Ferreras, 2016)

Los modelos digitales de elevación (DEM) son necesarios para mapear y modelar los peligros y riesgos naturales que están influenciados por la topografía, por ejemplo, las inundaciones y deslizamientos de tierra.

Como el agua sólo corre hacia aguas abajo, el flujo es canalizado por objetos que están más altos que el nivel del agua, la información de elevación es utilizada para modelar el flujo de agua y determinar en caso de inundaciones posibles áreas de inundación. (UNOOSA, 2014)

Pix4D Mapper

Pix4Dmapper convierte sus imágenes en mapas 2D y modelos 3D georreferenciados y altamente precisos. Son editables, funcionales y complementan una amplia gama de aplicaciones y software.

Clasifica la nube de puntos de color en cinco grupos:

- Suelo
- Superficies de la carretera (cubiertas de asfalto)
- Vegetación elevada
- Edificios
- Edificaciones realizadas por el hombre

La nube de puntos 3D derivada de imágenes superpuestas le proporciona la ubicación precisa en el espacio de los objetos reconstruidos, se muestran en colores RGB o en los colores originales.(ACRE, 2018)

Procesamiento de imágenes mediante el software Pix4d

El software pix4D es un software que permite realizar el proceso fotogramétrico de una serie de imágenes, con el fin de obtener una serie de productos cartográficos los cuales nos permiten realizar diferentes tipos de mediciones lineales y volumétricas con alta precisión. La máxima aportación de este software es la gran capacidad de absorción de datos e interpretarlos simultáneamente para, completar un ortomosaico de altísima resolución y modelos digitales de elevaciones con una precisión muchísimo más que admisible para la obtención de cartografía que es, uno de los aspectos que más nos interesan en este manual. Además, nos permite obtener los siguientes resultados.

Triangulación fotogramétrica.

Construcción de una nube densa de puntos.

Modelos digitales de elevación (MDE).

Exportación de ortomosaico georreferenciado.

Modelos digitales de terreno (MDT).

MATERIALES

GPS

El sistema de posicionamiento global (GPS) es un sistema de satélites usado en navegación que permite determinar la posición las 24 horas del día, en cualquier lugar del globo terráqueo y en cualquier condición climatológica. Consiste en un conjunto de 24 satélites que circundan la

CIENCIAS AGROPECUARIAS 2021

tierra y envían señales de radio a su superficie. Un receptor GPS es un aparato electrónico pequeño, utilizando por aquellos que viajan por tierra, aire y mar que permite recibir señales de los satélites. (Letham, 2001)

El Sistema de Posicionamiento Global, es un sistema de radionavegación desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para uso militar y civil, basado en 24 satélites que se encuentran orbitando la Tierra a una altura promedio aproximada de 20.200 Km, con un ángulo de inclinación de 55° y un periodo de 12 horas. Estos satélites actúan como puntos de referencia porque sus órbitas se conocen con gran exactitud, debido a que son constantemente monitoreadas desde estaciones localizadas en Tierra cuya estación principal se encuentra en la base aérea Falcon en Colorado. Las coordenadas de esta estación en un principio fueron referidas al sistema geodésico mundial 1972(W GS-72) pero desde 1987 están referidas al sistema WGS-84. (Banda & Unal, 1997)

Drones

Los drones se manejan con control remoto (tipo joystick) o a través de aplicaciones para smartphon eso tablets. Actualmente hay diferentes apps desarrolladas para iOS, Android y hasta Linux para pilotear un drone, sacar 50 fotos y filmar.

Las empresas que se dedican al desarrollo de este producto tienen como objetivo hacerlo cada vez más intuitivo y fácil de usar para todos los públicos.(TACCA QUELCA, 2015)

Las tecnologías de sistemas aéreos no tripulados (UAV, del inglés Unmanned Aerial Vehicle), popularmente conocidas como drones, se han diversificado y populariza-do masivamente en la última década con un amplio espectro de aplicaciones, desde recreativas hasta científicas. Como muestra, los drones para agricultura de precisión fueron catalogados como una de las diez tecnologías emergentes más importantes en el año 2014.(Arriola Valverde, 2018)

El dron también denominado UAV, su traducción es vehículo aéreo no tripulado, que tiene la capacidad de mantener un mismo nivel de vuelo controlado y sostenido, propulsado por un motor de explosión o de reacción, son usados en aplicaciones militares y también de uso civil. En pocos años los drones han revolucionado el sector audiovisual, tales así que habría sido imposible capturar imágenes con métodos tradicionales, análogamente ha demostrado ser un gran auxiliar en topografía. Un dron topográfico estándar tiene la capacidad de cubrir durante un día 100 hectáreas de terreno, sin embargo, existen drones más avanzados que pueden cubrir sin problemas hasta 5.000 hectáreas diarias. (Monroy Pinzon, 2019)

Drones utilizados en el proyecto

Mavic Pro (Multirotor)

El Mavic Pro es una aeronave ultra portátil gracias a su revolucionario diseño plegable. Cámara y estabilizador: Con el Mavic Pro puede grabar vídeo 4K de hasta 30 fotogramas por segundo y tomar fotografías de 12 megapíxeles con una claridad sin precedentes, todo ello estabilizado gracias al estabilizador compacto integrado. Controlador de vuelo: El controlador de vuelo de nueva generación se ha actualizado para ofrecer una experiencia de vuelo más segura y fiable. La aeronave puede regresar automáticamente a su punto de origen cuando se pierda la señal de transmisión o cuando el nivel de batería esté bajo. Aparte de poder volar en modo estacionario en interiores a bajas altitudes, la aeronave también puede detectar y evitar obstáculos que se interpongan en su camino, aumentando la seguridad. Transmisión de vídeo HD: El Control Remoto integra la tecnología de transmisión de largo alcance OCUSYNCTM más reciente de DJI, que ofrece un alcance de transmisión máximo de 7 km (4,3 mi) y permite controlar la aeronave y transmitir vídeo a su dispositivo móvil a 1080 p. (DJI, 2017)

Mavic 2 Enterprise Dual (Multirotor)

CIENCIAS AGROPECUARIAS 2021

Desarrollado en asociación con FLIR Systems, Mavic 2 Enterprise Dual presenta un diseño compacto basado en la serie Mavic 2 con la misma variedad de controles y accesorios avanzados que se encuentran disponibles en la versión Mavic 2 Enterprise. El Mavic 2 Enterprise Dual permite a los usuarios medir temperaturas y almacenar de manera conveniente imágenes y datos de temperatura para generar informes y análisis eficientes, ampliando la gama de operaciones industriales; desde inspecciones de servicios públicos hasta operaciones de rescate y salvamento.

Mavic 2 Enterprise Dual cuenta con una cámara estabilizada de con un gimbal de tres ejes que dispone de un sensor de imagen real con una resolución 4K para capturar la luz visible y una microcámara térmica FLIR Lepton® para capturar datos térmicos. Juntos, estos sensores permiten a los pilotos realizar vuelos nocturnos, así como volar en condiciones diurnas complejas como niebla y humo. (ACRE, 2018)

Phantom 4 (Multirotor)

Mavic 2 Enterprise Dual cuenta con una cámara estabilizada de con un gimbal de tres ejes que dispone de un sensor de imagen real con una resolución 4K para capturar la luz visible y una microcámara térmica FLIR Lepton® para capturar datos térmicos. Juntos, estos sensores permiten a los pilotos realizar vuelos nocturnos, así como volar en condiciones diurnas complejas como niebla y humo. (DJI, 2018)

Radio control

Un sistema de radio control, es un dispositivo electrónico que permite controlar un objeto a distancia de manera inalámbrica, por medio de ondas de radio. (Desenfunda, 2018)

Control remoto

Este potente control remoto permite manejar el Phantom 4 hasta a 6 km (3,1 mi)*, e incluye botones y selectores para exposición, inclinación de la cámara, captura de fotos y grabación de vídeo.

El control remoto lleva incorporado el sistema DJI Lightbridge que, al emparejarse con un teléfono móvil compatible, proporciona una vista HD en directo de la cámara integrada en el Phantom. Una batería interna garantiza una larga vida de la batería y facilidad de uso.

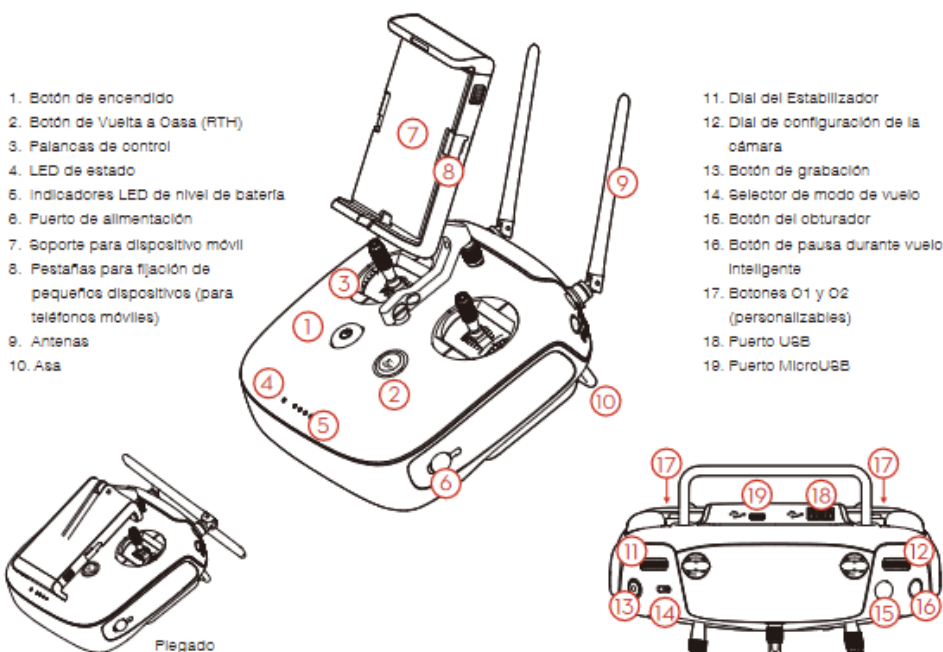


Ilustración 1, Control remoto Phantom 4. Fuente: DJI, 2018

Drone Deploy

Es un software basado en la nube compatible con drones phantom 4 que utiliza Google Maps y GPS para construir un plan de vuelo. Una vez que se calibra un dron con la aplicación, se puede crear un plan de vuelo en la aplicación DroneDeploy en cualquier lugar, siempre que el dispositivo tenga wi-fi o se cargue un vuelo sin wi-fi si los vuelos se sincronizaron previamente. Usando la pantalla táctil permite al usuario tocar y arrastrar

CIENCIAS AGROPECUARIAS 2021

los límites de la zona de vuelo superpuestos sobre la región deseada que se muestra en los mapas de Google. (Pajares, 2017)

DJI GO

La aplicación de DJI GO te permite controlar el vuelo de tu dron, filmar y compartir los contenidos impresionantes que registras desde tu dispositivo móvil. Simplemente conecta tu dispositivo, abre la aplicación y sincroniza la red de tu equipo con la de tu móvil. (DNG, 2018)

ArcGIS

Es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI, bajo el nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. Estas aplicaciones se engloban en familias temáticas como ArcGIS Server, para la publicación y gestión web, o ArcGIS Móvil para la captura y gestión de información en campo. (Esri, 2019)

Ortomosaico

Un ortomosaico es un producto de imagen fotogramétricamente ortorrectificado organizado como mosaico a partir de una colección de imágenes, donde la distorsión geométrica se ha corregido y donde se ha realizado un balance de color de las imágenes para producir un dataset de mosaico continuo. (Esri, 2017)

Para la generación del orto mosaico, las imágenes individuales son rectificadas a partir del modelo de elevaciones, eliminando la distorsión asociada al relieve. Este proceso consiste en proyectar cada píxel de la imagen sobre el modelo de elevación para determinar el valor de altura, este valor es empleado para reproyectar sobre la imagen la nueva posición del píxel. La proyección y reproyección de los píxeles de la

imagen se realiza con las ecuaciones de colinealidad. Finalmente, todas las imágenes rectificadas son unidas formando un ortomosaico. (Porras, 2016)

METODOS

Se realiza un estudio de meteorología para determinar qué día y hora son más óptimos para volar, dicho estudio se lleva a cabo mediante la página web “Ok to Fly” gracias a su precisión. Una vez seleccionado el día y la hora se procede a hacer un reconocimiento de las aeronaves para obtener información y así implementarla en los planes de vuelo los cuales se realizan mediante la aplicación “Drone Deploy”. Teniendo listos los respectivos planes de vuelo para cada uno de los drones se procede a ir a campo, allí se va a ubicar y marcar los puntos de referencia a través del GPS y se ejecuta un vuelo de reconocimiento para verificar que las aeronaves estén en óptimas condiciones. A continuación, se procede a realizar los respectivos vuelos mediante la aplicación “DJI GO”, los vuelos se realizan de forma automática y luego de que los drones terminen su vuelo se descarga la información obtenida para luego cargar los datos al software “Pix4D” y realizar su debido post proceso. Por último, se obtiene los fotomosaicos de cada vuelo y se cargan al software “ArcGIS” en el cual se realiza una salida grafica para una mejor presentación.

RESULTADOS

En el proceso de los resultados se obtuvo un fotomosaico y con él se generó un modelo digital de terreno (DTM) y un modelo digital de elevación (DSM) los cuales se darán a conocer en las siguientes ilustraciones.

Los resultados del **fotomosaico** de los vuelos 1, 2 y 3 se muestran a continuación en la **Ilustración 2**, junto con sus respectivas especificaciones.



VUELO 1

Vuelo realizado con: Mavic Pro

GSD: 1,89 cm / 0,74 in*px

Imágenes totales: 389

Tiempo de vuelo: 22 minutos

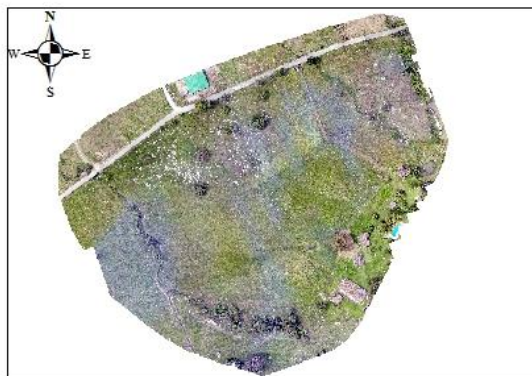
VUELO 2

Vuelo realizado con:
Mavic 2 Enterprise Dual

GSD: 2,31 cm / 0,91 in*px

Imágenes totales: 448

Tiempo de vuelo: 22 minutos



VUELO 3

Vuelo realizado con: Phantom 4

GSD: 1,96 cm / 0,77 in*px

Imágenes totales: 292

Tiempo de vuelo: 15 Minutos

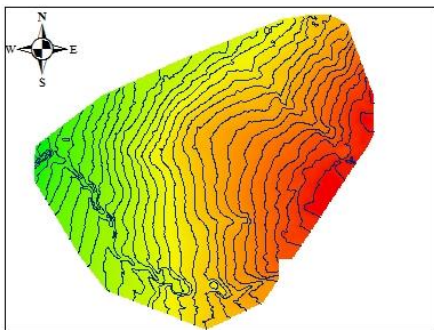


**ANALISIS COMPARATIVO DE VUELOS FOTOGRAMETRICOS
DE VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS (UAV)**

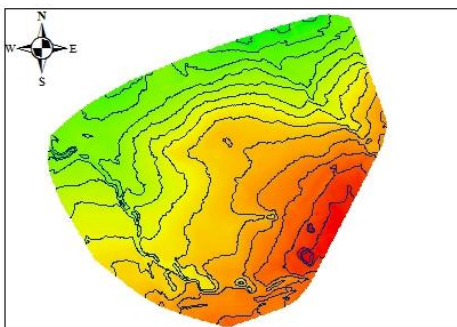
ESCALA
1:5.000

Ilustración 2, Vuelos de drone. Elaborado por: Los autores

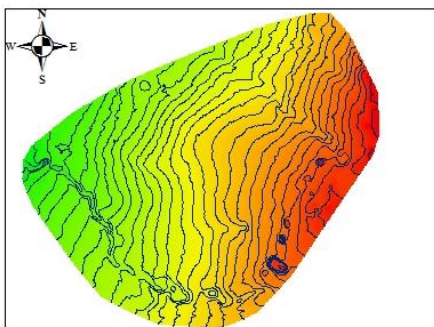
Los resultados del **Modelo digital de terreno (DTM)** de los vuelos 1,2 y 3 se muestran a continuación en la **Ilustración 3**, junto con sus respectivas curvas de nivel.



VUELO 1 - DTM - CURVAS DE NIVEL



VUELO 2 - DTM - CURVAS DE NIVEL



VUELO 3 - DTM - CURVAS DE NIVEL

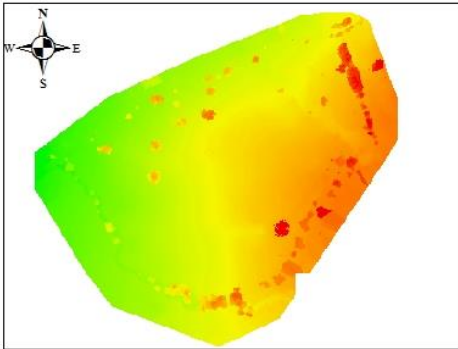
**ANALISIS COMPARATIVO DE VUELOS FOTOGRAMETRICOS
DE VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS (UAV)**

ESCALA
1:5.000

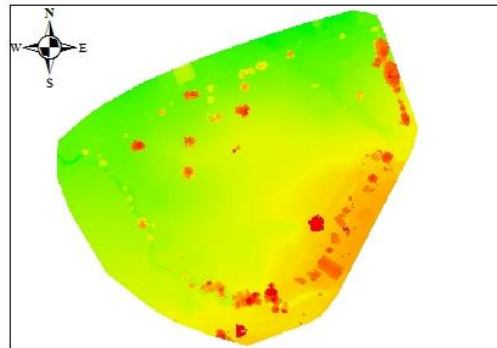
Ilustración 3, Vuelos de drone - DTM. Elaborado por: Los autores

Como se puede observar en la Ilustración 3, el vuelo 2 es diferente a los demás vuelos esto debido a que este dron al ser un poco más pesado que los demás debe volar a una altura más baja. También se puede observar que gracias a su resolución el vuelo 1 capta más diferencias en la elevación del terreno que el vuelo 3.

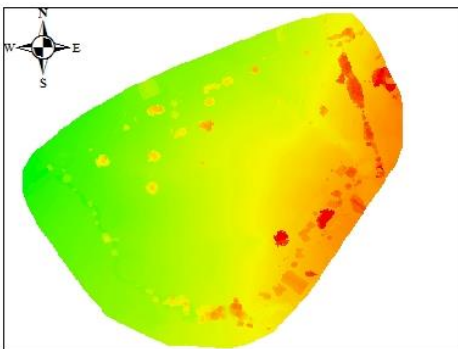
Los resultados del **Modelo digital de elevación (DSM)** de los vuelos 1,2 y 3 se muestran a continuación en la **Ilustración 4**.



VUELO 1 - DSM



VUELO 2 - DSM



VUELO 3 - DSM

**ANALISIS COMPARATIVO DE VUELOS FOTOGRAMETRICOS
DE VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS (UAV)**

ESCALA
1:5.000

Ilustración 4, Vuelos de drone – DSM. Elaborado por: Los autores

Como se mencionaba anteriormente el vuelo 1 capta mejor las diferencias de elevación, se puede observar gracias a la gama de colores que se observan en la Ilustración 4.

DISCUSION

Mediante los resultados de los vuelos realizados con UAV se tomaron 3 características específicas para comparar los diferentes resultados de los drones (cámaras) los cuales son, **Resolución de las imágenes** (ortomosaico y DTM), **margen de error por pixel** y **errores en los puntos de control**.

Tabla 2, Comparativa resolución de imágenes y margen de error por pixel.
Elaborado por: Los autores

Drone	Resolución del DSM y Ortomosaico	Resolución del DTM	Margen de error por pixel
Mavic Pro	1 x GSD (1,89[cm/pixel])	5 x GSD (1,89[cm/pixel])	0,244
Mavic 2 Enterprise Dual	1 x GSD (2,31[cm/pixel])	5 x GSD (2,31[cm/pixel])	0,175
Phantom 4	1 x GSD (1,96[cm/pixel])	7 x GSD (1,96[cm/pixel])	0,188

A partir de los datos de GSD analizados, se puede concluir que las imágenes con mejor resultado fueron las obtenidas en el vuelo 1, debido que, para el fotomosaico, el modelo digital de elevación (DSM) y modelo digital de terreno (DTM) obtiene un mejor GSD, la cual fue de 1,89cm/pixel a diferencia de los demás vuelos, los cuales obtuvieron un GSD de

2.31cm/pixel y 1.96cm/pixel para el vuelo 2 y 3 respectivamente. El error medio de proyección es inversamente proporcional al GSD de los diferentes vuelos, como se observa en la tabla número 1, entre menor GSD mayor es el margen de error por pixel.

Tabla 3, Comparativa del error de proyección de los puntos de amarre.
Elaborado por: Los autores

Drone	# Punto	Error de proyección de los puntos de amarre
Mavic Pro	#1	1.535cm
	#2	0.99cm
	#3	0.481cm
	#4	0.835cm
	#5	1.039cm
Promedio: 0.976		
Mavic 2 Enterprise Dual	#1	1.539cm
	#2	0.98cm
	#3	0.480cm
	#4	0.835cm
	#5	1.079cm
Promedio: 0.982		
Phantom 4	#1	1.095cm
	#2	0.486cm
	#3	0.678cm
	#4	1.398cm
	#5	1.439cm
Promedio: 1.019		

Como se puede observar en la tabla 3, en promedio el drone que más error tiene respecto a la proyección de los puntos de amarre es el Phantom 4.

Otra de las características que se tuvo en cuenta a analizar es la del sistema de sensores, las cuales encontraremos a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 4, Comparativa de los sensores. Elaborado por: Los autores

Sistema de sensores				
	Mavic Pro	Mavic 2 Enterprise Dual		Phantom 4
Delantero				
Rango de precisión	0,5 - 20m	0,5 - 20m	Rango de precisión	0,17 - 15m
Rango detectable	20 - 40m	20 - 40m	Rango detectable	0,7 - 30m
Velocidad de detección	≤14m/s	≤14m/s	Velocidad de detección	≤14m/s
FOV	Horizontal 40°, Vertical 70°	Horizontal 40°, Vertical 70°	FOV	Horizontal 60°, Vertical ± 27°
Trasero				
Rango de precisión	0,5 - 16m	0,5m - 16m	Rango de precisión	0,7 - 15m
Rango detectable	16 - 32m	16m - 32m	Rango detectable	0,7 - 30m
Velocidad de detección	≤12m/s	≤12m- s	Velocidad de detección	≤14m/s
FOV	Horizontal 60°, Vertical 77°	Horizontal 60°- 77°	FOV	Horizontal 60°, Vertical ± 27°
Superior				
Rango de precisión	0,1 - 8m	0,1 - 8m	Rango de precisión	NA
Inferior				
Rango de precisión	0,5 - 11m	0,5 - 11m	Rango de altitud	0 - 10m

Rango detectable	11 - 22m	11 - 22m	Alcance	0 - 10 m
Laterales				
Rango de precisión	0,5 - 10m	0,5 - 10m	Rango de precisión	NA
Velocidad de detección	≤8m/s	≤8m/s	Velocidad de detección	
FOV	Horizontal 80°, Vertical 65°	Horizontal 80°, Vertical 65°	FOV	

CONCLUSIONES

- De acuerdo a los post-procesos realizados mediante Pix4d para cada uno de vuelos, se obtiene que la mejor resolución por pixel encontrada es la del vuelo 1, porque cuenta con un GSD de 1,89/0,74 cm/pixel, es decir, cuenta con un valor menor a los otros vuelos.
- Al comparar las imágenes desarrolladas mediante Pix4d sobre los vuelos de cada dron se puede concluir que visualmente el vuelo 3 es más agradable a la vista, esto debido a la viveza de sus colores, pero esto no influye en su resolución.
- Como se puede observar en la tabla 4 el Phantom 4 tiene una pequeña desventaja respecto a los dos Mavic y esta es porque no posee sensores laterales ni sensor superior, esto afectara su capacidad de percibir información.

Bibliografía

- Acgdrone.com, Fotogrametría aérea con drones [sede web]. Acgdrone.com; 2020 [actualizada el 19 de mayo de 2020; acceso el 14 de julio de 2021]. Disponible en: <https://acgdrone.com/fotogrametria-aerea-con-drones/>
- aerial-insights.co, Topografía con drones: más rápida, más precisa, más barata [sede web], aerial-insights.co, 2018 [acceso el 13 de julio de 2021]. Disponible en: https://www.aerial-insights.co/?gclid=Cj0KCQjwub-HBhCyARIsAPctr7wwMPxzFhhYZH9SF3P8N_6EKyo_Kek9Pz_jeNWi3Fh1uN9Qq4UCZngaAoQzEALw_wcB
- aerial-insights.co, ¿Cuántos tipos de drones existen en el mercado? [sede web], aerial-insights.co, 2018 [acceso el 14 de julio de 2021]. Disponible en: <https://www.aerial-insights.co/blog/tipos-de-drones/>
- Andrade Escamilla, Arnulfo; La fotogrametría y su aplicación a la ingeniería [sede web]. ri.uaq.mx; 1980 [acceso el 12 de julio de 2021]. Disponible en: <http://ri.uaq.mx/xmlui/handle/123456789/4846>
- Arriola Valverde, Sergio; Fotogrametría Terrestre con sistemas aéreos no tripulados. Aferencz, 2018, Pag. 2
- Arriola Valverde, Sergio; Fotogrametría Terrestre con sistemas aéreos no tripulados. Aferencz, 2018, Pag. 4
- Banda Alexandro, Barrera William, Cuevas Oscar, Garzón José, Gómez Amelia, González Janeth, Martínez Julieta, Mendoza Norma, Berneth Peña, Sarmiento Iván. Acerca del sistema de posicionamiento global (GPS). Unal, 1997, Pag. 1
- Cabezas Dayana. Post proceso de imágenes a partir de una aeronave tripulada remotamente (drone). ArcGIS, 2016, Pag 2
- dell.com, ¿Qué es el campo de visión (FOV)? [sede web]. dell.com [acceso el 19 de julio de 2021]. Disponible en: <https://www.dell.com/support/kbdoc/es-co/000144663/dell-expresssign-qu%c3%a9-es-el-campo-de-visi%c3%b3n-fov>
- desenfunda.com, El funcionamiento de los sistemas de radio control [sede web]. desenfunda.com [acceso el 22 de julio de 2021]. Disponible en: <https://www.desenfunda.com/blog/los-sistemas-radio-control/>
- Dronica.es, Nube de puntos: que es y para qué sirve [sede web]. Sánchez Paloma, 2018 [acceso el 9 de julio de 2021]. Disponible en: <https://dronica.es/blog-de-escaneo-3d/nube-de-puntos-que-es-y-para-que-sirve/>
- Escalante T., J.O.; Cáceres J., J.J. y Porras D., H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Revista Tecnura*, 20(50), 119-140. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a09

- Esri.co, ¿Qué es ArcGIS? [sede web]. esri.co, 2019 [acceso el 11 de julio de 2021]. Disponible en: <https://esri.co/arcgis/>
- globalmediterranea.es, Vuelo fotogramétrico con dron: definición y como hacer el plan de vuelo [sede web]. globalmediterranea.es, 2020 [acceso el 14 de julio de 2021]. Disponible en: <https://www.globalmediterranea.es/vuelo-fotogrametrico-con-dron/>
- Gómez Molina, Aerotriangulación analítica, Universidad politécnica de Madrid, 1989
- Grijalba Pedro, Informe: fotogrametría aérea con drones, Robotic Air Systems, San Isidro – Lima, 2010
- Grupoacre.pe, Pix4DMapper Pro: Software de procesamiento de imágenes [sede web]. Grupoacre.pe; 2018 [acceso el 13 de julio de 2021]. Disponible en: <https://grupoacre.pe/catalogo-productos/pix4dmapper/>
- Grupoacre.pe, Puntos topográficos como apoyo y control para mediciones topográficas [sede web]. Grupoacre.pe; 2020 [acceso el 14 de julio de 2021]. Disponible en: <https://grupoacre.pe/puntos-topograficos-como-apoyo-y-control-para-mediciones-topograficas/>
- Herrera Herrar, Bernard; Elementos de fotogrametría uso de materiales aerofotográficos. 1ª ed, México Limusina Universidad Autónoma Chapingo, 1987.
- Inegi.org.mx, Modelos digitales de elevación, INEGI, 2020, Pag 1
- Inegi.org.mx, Modelos digitales de elevación, INEGI, 2020, Pag 3
- ideaingenieria.es, ¿Qué es una nube de puntos? (Parte I) [sede web], ideaingenieria.es, 2020 [acceso el 14 de julio de 2021]. Disponible en: <https://ideaingenieria.es/nube-de-puntos/que-es-nube-de-puntos/>
- Lehmann Gerhard, Fotogrametria, Barcelona, España, Editorial: Técnicos Asociados, 1975
- Letham Lawrence, GPS fácil uso del sistema de posicionamiento global, Barcelona, España, Editorial: Paidotribo, 2002
- Lerma, J.L, Problemas de fotogrametría III, servicio de publicaciones de la universidad Politécnica de Valencia, 1999.
- Lorduy Sara, Generacion de ortoimagenes usando vehículos aéreos no tripulados aplicado a la agricultura, EAFIT, 2017, Pag 74
- Matellanes Roberto, Modelos digitales de elevación: Lo que el ojo no ve, Geo innova, 2016, vol 1, Pag 1
- Otero J, Fotogrametria analítica, Curso de geodesia superior: Fotogrametria y posicionamiento GPS, Realigraf S.A, Madrid, 1990
- Pinzon Monroy Edwin, Procesamiento de levantamientos topográficos en sectores rurales por medio de drone, Udistrital, 2019, Pag 5
- Olaya Victor, Sistemas de información geográfica, HDSheldon, 2020, Pag 319

CIENCIAS AGROPECUARIAS 2021

- Pajares Gonzalo, Image Processing in Agriculture and Forestry, 2018
- Peña Santamaria, Sanz Teofilo, Fundamentos de fotogrametría, Universidad de la Rioja, 2011
- Perez Juan, Apuntes de fotogrametría III, Mérida, 2001, Pag 5
- Pozuelo, B., & Nuñez, Fotogrametria analitica, UPC, 2003
- Pro.arcgis.com, Generar un ortomosaico usando el asistente ortomosaico [sede web]. pro.arcgis.com, 2017 [acceso el 11 de julio de 2021]. Disponible en: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/imagery/generate-an-orthomosaics-using-the-orthomosaic-wizard.htm>
- Sanchez P, NUBE DE PUNTOS: Qué es y para qué sirve, 2019
- Tacca Qquelca Hilario, COMPARACION DE RESULTADOS OBTENIDOS DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO UTILIZANDO LA FOTOGAMETRIA CON DRONES AL METODO TRADICIONAL, UNAP, 2015
- Torrado Jesus, Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV, Udistrital, vol 20, 2016
- un-spider.org, Aplicación de datos del mes: Modelos digitales de elevación [sede web], UNOOSA, 2014 [acceso el 10 de julio de 2021] . Disponible en: <https://www.un-spider.org/es/enlaces-y-recursos/fuentes-de-datos/daotm-modelos-digitales-elevacion>
- Vasquez Paulin, Procesamiento geo-informático de datos generados mediante drones para la gestión de infraestructura del transporte, TRB, 2017
- Zafra G, Manual para el postproceso de imágenes obtenidas a partir de una aeronave tripulada remotamente (drone) en los softwares Agisoft Photoscan y Pix4d, INVIAS, 2011
- Zhizhuo, W., Principles of Photogrammetry, (1990). ISBN