PROCESAMIENTO DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS EN SECTORES RURALES POR MEDIO DE DRONE

EDWIN MAURICIO PINZÓN MONROY

TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PASANTÍA PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO TOPOGRÁFICO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA
BOGOTÁ D.C. 2019

PROCESAMIENTO DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS EN SECTORES RURALES POR MEDIO DE DRONE

EDWIN MAURICIO PINZÓN MONROY
CÓDIGO: 20162732019

TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PASANTÍA PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO TOPOGRÁFICO

DIRECTOR INTERNO
ING. MSC. WILLIAM BARRAGÁN ZAQUE

DIRECTOR EXTERNO
ING. CARLOS ARTURO RAMÍREZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA
BOGOTÁ D.C. 2019

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto de grado, con esfuerzo y dedicación, en el que directa o indirectamente participaron, varias personas que hicieron posible este proyecto. Les quiero agradecer.

Primero que todo le agradezco a Dios.

A mi familia, por el apoyo que siempre me ha brindado desde que comencé a estudiar la carrera, porque siempre me han acompañado incondicionalmente, siempre han estado allí ayudándome a salir adelante y gracias a ellos he llegado hasta esta etapa de vida.

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y en especial al Docente William Barragán Zaque por haber puesto su confianza, su dedicación, consejos, paciencia, sus orientaciones, el continuo apoyo que me brindó, su motivación que fue fundamental para llevar a cabo y realizar este trabajo de grado. Al Ing. Carlos Ramírez quien también hizo parte de éste proyecto con su aporte de conocimiento y apoyo para la realizar el presente documento.

DEDICATORIA

A todas aquellas personas que me brindaron
su colaboración, que me han ayudado a
crecer como persona, y que siempre
han estado ahí cuando las he necesitado
y especialmente a Dios por protegerme
durante todo el camino y darme esa fuerza
para superar cualquier obstáculo y dificultad
que se interpusieron en el camino, quiero
dedicarles este trabajo de grado.

“No es grande el que siempre triunfa, sino el que jamás se desalienta”

Martín Descalzo

RESUMEN

El presente documento expone una propuesta de pasantía enfocada a la obtención y procesamiento de imágenes, obtenidas por medio de DRON[1]. Debido a la alta demanda de levantamientos topográficos y teniendo en cuenta que el uso de nuevas tecnologías permite disminuir el trabajo en terreno e incrementar rendimientos, de esto se obtienen resultados más versátiles de alta calidad en tiempos cortos y costos bajos. Es ahí; en donde se desarrolla con insumos proporcionados tales como fotografías aéreas, registros fotográficos y archivos de posicionamiento GPS tomados con receptores móviles y estación base estática, en los que se utiliza software especializado, con el fin de obtener como productos: puntos con los que se realiza foto control, una ortofoto georreferenciada y ajustada, un modelo digital de terreno. De esta manera; con lo anterior generar un plano topográfico de los diferentes lugares de interés.

PALABRAS CLAVES

DRON, GPS, ortofoto, modelo digital de terreno, levantamientos topográficos.

ABSTRACT

This document presents an internship proposal focused on obtaining and processing images, obtained through DRON [1]. Due to the high demand for topographic surveys and taking into account that the use of new technologies allows to reduce work in the field and increase yields, this results in more versatile results of high quality in short times and low costs. It's there; where it is developed with inputs provided such as aerial photographs, photographic records and GPS positioning files taken with mobile receivers and static base station, in which specialized software is used, in order to obtain as products: points with which photo-control is carried out, a geo-referenced and adjusted orthophoto, a digital terrain model. In this way; with the above, generate a topographic map of the different places of interest.

KEY WORDS

DRON, GPS, orthophoto, digital land model, topographical surveys.

[1] DRON (unmanned aerial vehicle) vehículo aéreo tripulado remotamente, en topografía se utiliza para obtener fotografías aéreas de un determinado sitio.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1
2. JUSTIFICACIÓN 3
3. OBJETIVOS 4
   3.1 OBJETIVO GENERAL 4
   3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
4. MARCO TEÓRICO 5
   4.1 DRON 5
   4.2 SISTEMA DE CONTROL 11
   4.3 ORTOMOSAICO 13
   4.4 DEFINICIÓN MDT 13
   4.5 FOTOGRAMETRÍA 15
   4.6 CLASIFICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA 16
   4.7 ELEMENTOS FOTOGRAMÉTRICOS DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS . 17
   4.7 SOFTWARE DE FOTOGRAMETRÍA 21
      4.7.1 AUTOCAD 22
      4.7.2 AGISOFT PHOTOSCAN 22
      4.7.3 ARCGIS 22
      4.7.4 PHOTOMODELER SCANNER 23
      4.7.5 PHOTOSHOP 23
      4.7.6 PRECISIONES OBTENIDAS 23
   4.8 ERRORES EN SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) 25
   4.9 PRINCIPALES RECEPTORES GPS 25
   4.10 ORTOFOTOGRAMETRÍA DIGITAL 27
5. METODOLOGÍA 30
   5.1 DIAGRAMA DE FASES EN TERRENO 31
   5.2 DIAGRAMA DE FASES EN OFICINA 32
   5.3 DIAGRAMA DE FLUJO 33
6. RESULTADOS 34
7. CONCLUSIONES 42
8. BIBLIOGRAFÍA 44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Categorías de drones 6
Ilustración 2 Tipos de aeronaves no tripuladas según su estructura. 7
Ilustración 3 Aplicaciones aprobadas con drones 11
Ilustración 4 Tipos de receptores GPS 26
Ilustración 5 Diagrama de flujo 33
Ilustración 6 Nube de puntos densa 35
Ilustración 7 Modelo Digital de Terreno 36
Ilustración 8 Fichero de datos geográfico 37
Ilustración 9 Ortofoto 38
Ilustración 10 Planta general 39
Ilustración 11 Secciones captación 40
Ilustración 12 Secciones Vertimiento 41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1 Exactitud absoluta de posición 24
Tabla No. 2 Resultados GPS 34

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación No. 1 Ángulo Yaw 12
Ecuación No. 2 Ángulo Pitch 12
Ecuación No. 3 Ángulo Roll 12
Ecuación No. 4 Distancia de muestreo (Ground Sampling Distance, GSD) 17
Ecuación No. 5 Escala de la fotografía 18

Ecuación No. 6 Distancia entre dos fotografías..... 18
Ecuación No. 7 Distancia entre líneas de vuelo 19
Ecuación No. 8 Intervalo de tiempo entre fotografías..... 19
Ecuación No. 9 Número de fotografías por líneas de vuelo (NFLV)..... 20
Ecuación No. 10 Número de líneas de vuelo (NLV) 20
Ecuación No. 11 Número total de fotografías (NTF)..... 21
Ecuación No. 12 Tiempo de vuelo..... 21

1. INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta las demandas del mercado y la implementación de nuevas tecnologías en la rama de la ingeniería específicamente en la topografía. Las distintas empresas que compiten en este gremio se ven en la necesidad de generar resultados de mejor calidad disminuyendo costos en menos tiempo, una de las nuevas tecnologías utilizadas para realizar levantamientos topográficos y productos cartográficos de alta calidad, es por medio de las orto fotos que son obtenidas por un DRON. Puesto que; con ellos permiten obtener información geográfica para la creación de nubes densas de puntos, sistemas de información geográfica, Modelos Digitales de Terreno, Modelos Digitales de Elevación, modelamientos 3D, entre otros. Debido a esto; en esta línea de ideas se ha decido hacer este trabajo de grado en modalidad de pasantía.

Dicho lo anterior; bajo esta dirección uno de los principales alcances que tiene el proyecto es crear cartografía georreferenciada y debidamente ajustada, que permita identificar un estado actual de la topografía de los sitios en los que se desea, para esto es necesario hacer un trabajo en terreno especializado con el fin de obtener la mejor información y no tener que retornar al lugar. Además; de la información primaria se debe realizar un buen post-proceso en oficina utilizando los softwares necesarios para lograr los resultados esperados.

En el presente trabajo se evidencia la metodología en terreno y oficina que se debe realizar para alcanzar los objetivos planteados, con los respectivos diagramas que facilitan la comprensión de los procedimientos, esta información es de gran importancia ya que facilita la comprensión del lector.

La importancia de este trabajo de grado está fundamentada, en el aporte que se espera realizar al lector con respecto al proceso de: Generación de información topográfica a partir de los datos obtenidos de un dron y posicionamientos GPS, análisis del proceso de investigación y publicación científica. De otra parte, se

espera que dicho aporte logre ayudar a garantizar una mejor generación de conocimiento para las futuras generaciones.

2. JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta la importancia de aplicar los conocimientos adquiridos y aprender sobre nuevas tecnologías, ya que el entorno laboral del país exige profesionales que estén a la vanguardia de nuevas tecnologías en un campo laboral que avanza con el tiempo y nuevos métodos que cada día se hacen más eficientes y de mayor calidad, optimizando diversos factores que se hacen imprescindibles para la calidad y el reconocimiento del trabajo y de un profesional.

El uso del dron permite realizar, ampliar y potenciar múltiples temas desde el campo educativo hasta normas internacionales que no interfieran con una nueva industria en total auge y crecimiento. La industria del dron está evolucionando de una forma muy grande, lo que hace suponer que, en los próximos años, sea común verlo en nuevos perfiles laborales, lo que da lugar a que pilotos y operadores de vuelo certificados, tanto en su ensamble y construcción como en su adecuado manejo y en las aplicaciones prácticas de proyectos específicos, configuren a los drones como un punto de referencia tecnológica importante de los últimos tiempos.

A nivel mundial durante muchos años, la tecnología de artefactos no tripulados siempre ha causado bastante interés por la comunidad y toma fuerza debido a usos militares, luego pasando a ser usado por personas civiles principalmente en el gremio de la ingeniería, arquitectura y cartografía.

En Colombia cada día se hace más común el uso del drone, con fines laborales obteniendo imágenes aéreas al dársele el tratamiento con los softwares adecuados, se puede obtener topografía detallada de un lugar en óptima calidad en sitios de difícil acceso.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener un producto cartográfico georreferenciado y corregido por puntos cinemáticos en tiempo real, empleando el debido procesamiento fotogramétrico de imágenes aéreas proporcionadas por un DRON para 15 sectores rurales.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar una triangulación fotogramétrica, con el fin de obtener una nube puntos densa que satisfaga la creación de un modelo digital de terreno.
2. Elaborar un plano topográfico y un fichero que contiene datos geográficos a partir de un modelo digital de terreno y una ortomosaico.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 DRON

El dron también denominado UAV (Unmanned Aerial Vehicle), 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, tal es 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.

Anteriormente los drones, eran piloteados de forma remota, pero se ha implementado el control autónomo. Por tal motivo se conoce 2 variantes: drones que son controlados de forma remota y otros a base de programación de vuelo. (Sani, Morillo, Tierra, 2014, p. 68)

TIPOS DE DRONES

Según su estructura

La extensa variedad de drones que han aparecido en los últimos años en el mercado ha obligado a establecer clasificaciones que permitan agrupar las distintas aeronaves en función de su uso, peso, dimensiones, etc. (Arjomandi et al.,2006; Watts et al., 2012). Una primera clasificación engloba los drones en tres categorías:

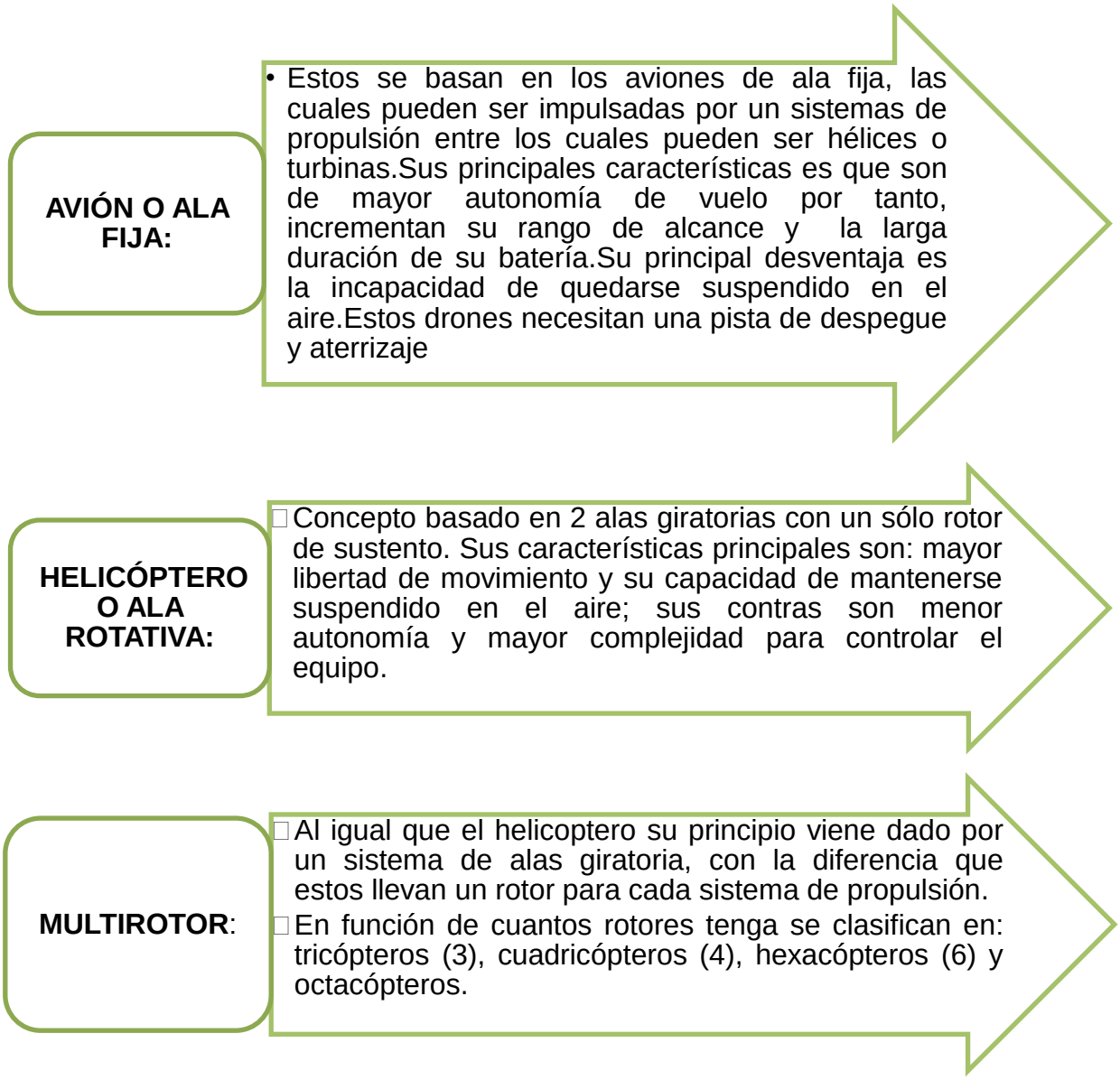


Ilustración 1 Categorías de drones

Fuente: (Lorduy, 2017)

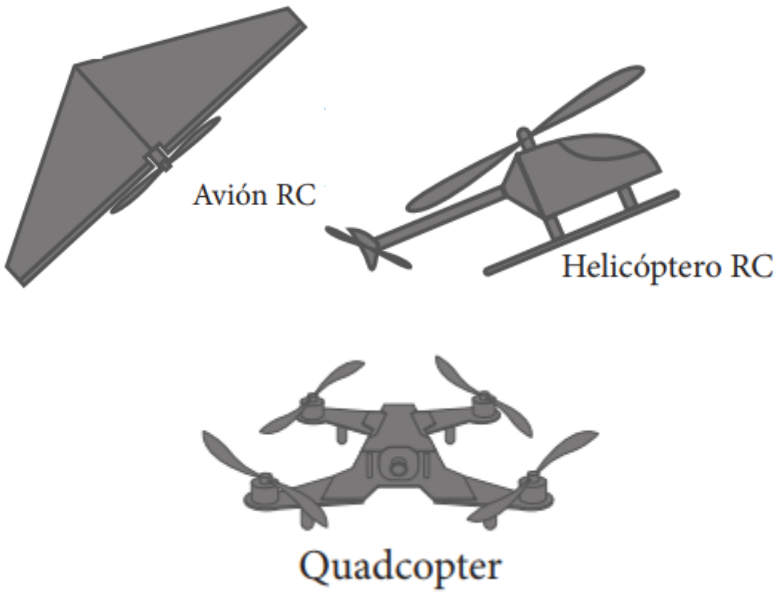


Ilustración 2 Tipos de aeronaves no tripuladas según su estructura.

Fuente: (heliceo,2019)

Según su peso

a. CLASE I (< 150 KG): DRONES MICRO, MINI O PEQUEÑOS

Los drones micro y mini, tienen dimensiones de 30 a 50 centímetros de largo, y su forma es como la de un insecto con alas, pero que también son tanto aleteadas como giratorias; son muy ligeros y son utilizados para espiar. Por mencionar unos ejemplos, el mosquito israelí IAI Malat, mide 35 cm y tiene una resistencia de cuarenta minutos; otro es el US Aurora Flight Sciences Skate mide 60 cm y una longitud de 33 cm.

Los pequeños tienen una dimensión mayor a los 50 centímetros y menor a dos metros; generalmente los drones pequeños se basan en el modelo de ala fija; y por mencionarte algunos; el RQ-11 Raven de un metro de largo, de US Aero Vironment y del Ejército de los Estados Unidos está el drone llamado La Sombra RQ-7.

b. CLASE II (150-600 KG): DRONES TÁCTICOS

La clase II de los drones tácticos, son bastante pesados llegan a medir menos que un avión, unos cinco a diez metros y se pueden utilizar como drones de cargas

útiles de 100 a 200 kg**.** Los drones medianos de ala fija son el vigilante del Reino Unido y el cazador israelí-estadounidense. Este último mide 10.2 mts y de largo 6.9 mts, con un peso de 885 kg al despegar.

c. CLASE III (>600 KG): DRONES ESTRATÉGICOS

Los drones estratégicos son de clase III y son los utilizados en las operaciones militares principalmente**,** con peso superior a los 600kg. Algunos ejemplos son el famoso Predator y el norteamericano Northrop Grumman Global Hawk. (KICKSTARTER,2019)

Otros tipos de drones

BOLT:

El Bolt cuenta con un sistema de visualización de FPV (Firts Person View o Vista en primera persona) único e innovador que permite una transición sin problemas de la visualización tradicional en el controlador a la visualización de FPV con gafas. (HELICEO, 2019)

El Bolt es un avión no tripulado de fibra de carbono que presenta el emocionante mundo de los pilotos y carreras de First Person View (FPV) para todos. Asegura estos objetivos:

- Presenta la mayor cantidad posible de personas a la experiencia de drone FPV sin romper el banco
- Riguroso proceso de diseño e ingeniería y fabricación utilizando materiales de la más alta calidad.
- Avión no tripulado seguro y fácil de pilotar para principiantes.

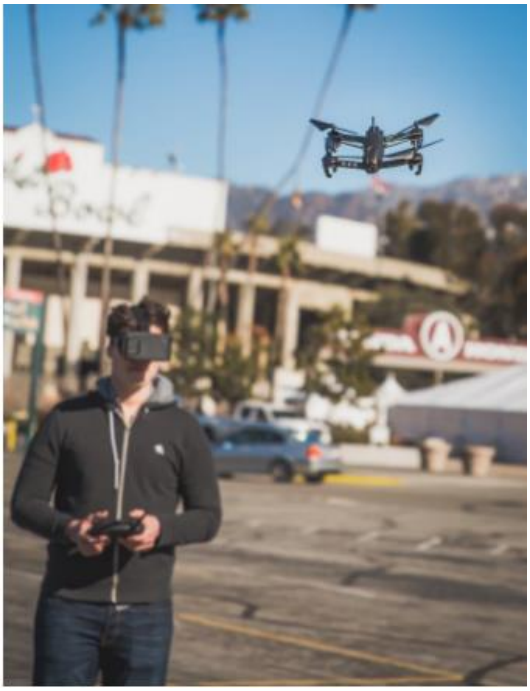


Ilustración 3 Drone Bolt FPV

Fuente: kickstarter.com

VTOL: (Vertical Take Off and Landing)

Su innovador sistema de despegue vertical (VTOL) le permite despegar y aterrizar en cualquier tipo de terreno. Gracias a su peso ligero y a su estructura que aprovecha al máximo la energía, tiene la capacidad de escanear hasta 725 ha en un solo vuelo. Completamente automática, efectúa despegues verticales, sigue su plan de vuelo, toma fotografías y aterriza de forma vertical. Esto reduce el costo de operación del vehículo, así como el riesgo de sufrir daños.

<u>Características:</u>

- Precisión de datos: Gracias a la tecnología RTK y a un sensor de 24 megapíxeles, es posible georreferenciar cada fotografía con precisión, lo cual permite obtener una adquisición de alta densidad de millones de puntos.
- Despegue y aterrizaje vertical (VTOL): Una innovación importante en la durabilidad UAV, que consiste en que no requiere de una pista, ya que

puede despegar en una superficie con espacio limitado y aterrizar con seguridad en un entorno adverso.

USOS Y APLICACIONES DE DRONES

El uso de los drones se dio inicialmente por objetivos militares, tal era el caso que estos pequeños dispositivos funcionaban de espías e incluso portaban misiles con fines netamente bélicos.

Actualmente, los usos de los drones tienen otros fines ya que con los bajos costos de producción el acceso a estos dispositivos se fue popularizando por todo el mundo. En este sentido; ante el fácil acceso los usos recreativos y de toda índole son altamente desarrolladas, sin mencionar que para usos topográficos, cartográficos o más profesionales un dron proporciona una ventaja económica al reducir costos de levantamientos aéreos.

En zonas rurales: Los agricultores vienen sacando mucho provecho a los drones ya que se utilizan en diferentes funciones: las fotos y videos de alta definición que permite que la cámara incorporada posibilite el monitoreo de grandes dimensiones que de otra manera seria imposible transitar. Este equipo puede recorrer más de mil hectáreas en sólo una hora permitiendo la localización temprana de plagas o malezas.

Por otro lado, se utilizan estas naves sin tripulación para el control del rebaño. También se usa con fines inmobiliarios, les da a los agricultores la posibilidad de mostrar con exactitud las características de un predio en pocos minutos.

Otros usos de drones son descritos a continuación:

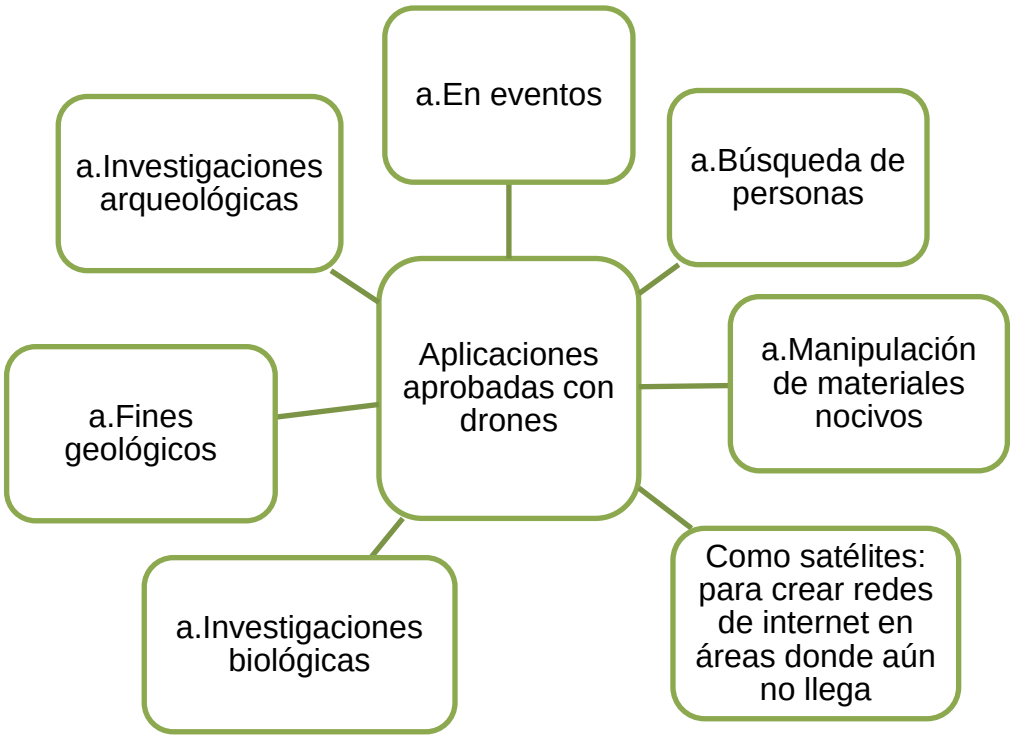


Ilustración 4 Aplicaciones aprobadas con drones

Fuente: (Lorduy, 2017)

4.2 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control de un UAV se divide en dos controladores:

a. Controlador de estabilidad: Quien se encarga de la posición e inclinación del dispositivo de acuerdo a los valores recibidos de Yaw, Pitch y Roll como orientación deseada.
b. Los movimientos de rotación son generalmente ángulos Eulerianos expresados en radianes sobre los tres ejes de coordenadas se utilizan para controlar el dispositivo los cuales son:

• Roll (ϕ): Rotación sobre el eje X, permitiendo desplazamiento hacia la derecha o izquierda, por lo general son el giro de las alas.

• Pitch (θ): Rotación sobre el eje Y, permitiendo desplazamiento hacia adelante o hacia atrás. Este ángulo se encarga de la inclinación del UAV.

• Yaw (ψ): Rotación sobre el eje Z, permitiendo rotal hacia la derecha o izquierda.

Para cada ángulo de giro tiene asociada una matriz de rotación, estos ángulos son proporcionados por sensores inerciales a bordo del UAV:

Ecuación No. 1 Ángulo Yaw

$$R\psi = \begin{bmatrix} Cos\,\psi & Sen\,\psi & 0 \\ -Sen\,\psi & Cos\,\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación No. 2 Ángulo Pitch

$$R\theta = \begin{bmatrix} Cos\,\theta & 0 & Sen\,\theta \\ 0 & Cos\,1 & 0 \\ -Sen\,\theta & 0 & Cos\,\theta \end{bmatrix}$$

Ecuación No. 3 Ángulo Roll

$$R\phi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & Cos\,\phi & Sen\,\phi \\ 0 & -Sen\,\phi & Cos\,\phi \end{bmatrix}$$

Luego calcula los nuevos valores los cuales son transmitidos a los actuadores de los motores en señales PWM que representan la velocidad angular.

c. Controlador de posición: Quien recibe la posición actual del UAV gracias al uso del GPS y otros sensores de altitud, la posición deseada es calculada por el sistema de navegación que puede funcionar de forma de misión programada o desde el sistema de comunicación.

Estos dos controladores mencionados anteriormente son interconectados entre sí para formar parte del sistema de control. La conexión se hace en forma de cascada dentro de un mismo lazo cerrado.

Los UAV proveen unidades de posicionamiento global (GPS) y tecnología de comunicación con el propósito de georreferenciar las imágenes que son capturadas por una cámara integrada al sistema. (J.J. Ruiz, 2013).

4.3 ORTOMOSAICO

Un mosaico corresponde al conjunto de imágenes tomadas de una o varias maneras que presentan áreas de traslape entre sí y que son unidas o combinadas en una sola imagen para ampliar el rango de visión de la escena. Cuando el mosaico es corregido de distorsiones causadas por el relieve y los objetos en él, se denomina Ortomosaico (W. y. Z. Y. Chen, 2011, pp. 197-200).

Para la generación de ortomosaicos, las imágenes individuales son rectificadas a partir de modelos de elevación, eliminando la distorsión asociada al relieve. Este proceso consiste en proyectar cada pixel de la imagen sobre el modelo de elevación para determinar el valor de altura el cual es reproyectado sobre la imagen. La proyección y la reproyección de lo pixeles de la imagen se realiza con las ecuaciones de colinealidad que finalmente son rectificadas y unidas formando un mosaico (J. J. C. J. H. P. D., 2016, p. 23).

4.4 DEFINICIÓN MDT

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.

Esta definición, comprende tanto los detalles planimétricos (naturales y artificiales del terreno), como sus alturas o elevaciones. Ahora bien, la diferente problemática, tanto en la captura como en la explotación de estos elementos (planimétricos y altimétricos) ha dado lugar a denominaciones más específicas y de entre ellas las más difundidas son: DEM (Digital Elevation Model); DHW (Digital Height Model). Estos son generalmente modelos altimétricos digitales, generalmente referenciados a mallas regulares y en cuyos vértices se asigna el valor de la coordenada altimétrica Z. Estos modelos se crean generalmente por procedimientos fotogramétricos.

Un MDT debe cumplir dos condiciones adicionales, la primera es que debe existir una estructura interna de los datos que represente las relaciones espaciales entre los mismos y, por otro lado, es que la variable a representar debe de ser variable continua y de tipo cuantitativo. Por tanto, las variables a representar son extraordinariamente diversas, aunque la más frecuente sin duda es la representación de la cota o altitud de los puntos que definen la superficie de terreno que da lugar a los Modelos Digitales de Elevaciones (término que a menudo se emplea como sinónimo de MDT) y la representación de las pendientes denominados Modelos Digitales de Pendientes.

La definición general de MDT no hace referencia explícita a la variable representada que, por tanto, puede ser cualquiera que cumpla con los requisitos de la misma. Este aspecto, aunque en principio pueda parecer evidente, debe ser destacado ya que es habitual identificar los MDT con los MDE (modelos digitales de elevaciones) cuando, en realidad pueden ser representadas muchas otras propiedades del terreno. (Pérez J. A. ,2001).

4.5 FOTOGRAMETRÍA

Las técnicas más empleadas para la generación de los modelos digitales de elevaciones son las Fotogramétricas. La fotogrametría puede definirse como la técnica para obtener información cuantitativa y cualitativamente válida, a partir de fotografías. La fotogrametría puede dividirse en dos áreas, métricas e interpretativa.

La métrica es de especial interés para los topógrafos, ya que se aplica a la determinación de distancias, elevaciones, áreas, volúmenes, secciones transversales y en la elaboración de mapas ortográficos con base en mediciones hechas en fotografías. En esta aplicación se utiliza, principalmente, la fotografía aérea (realizada a bordo de vehículos aeronáuticos), pero en casos especiales se emplea también la fotografía terrestre (realizada por cámaras emplazadas en la tierra). (Paul R.,1994).

FUNDAMENTO DE LA FOTOGRAMETRÍA

El principio en el que se basa la fotogrametría consiste en proyectar en forma ortogonal sobre un plano de referencia, la imagen registrada en una fotografía, la cual ha sido proyectada sobre el negativo mediante la proyección central, que es la usada por las lentes.

En fotogrametría se asume que la proyección central es perfecta, lo cual implica que:

• No existe desviación de los rayos de luz que atraviesan los lentes de la cámara.

• La imagen se proyecta sobre una superficie perfectamente plana.

• La relación matemática que relaciona el objeto y su imagen se conoce con el nombre de principio de colinealidad

4.6 CLASIFICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA

a. 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, 1987).

b. FOTOGRAMETRÍA AEREA

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, 1987).

c. 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. (I. Otero, 2005).

d. 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. (I. Otero, 2005).

e. 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. (I. Otero, 2005).

4.7 ELEMENTOS FOTOGRAMÉTRICOS DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS

A. Distancia de muestreo (Ground Sampling Distance, GSD)

Hace referencia a la distancia entre el centro de pixeles adyacentes medido desde tierra. Debido a que un pixel es cuadrado, el área que cubrirá cada pixel se puede representar mediante la ecuación (4):

Ecuación No. 4 Distancia de muestreo (Ground Sampling Distance, GSD)

$$Área = GSD * GSD\ [m/pixel^2]$$

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

B. Escala de la fotografía

Una fotografía aérea es la una imagen reducida de un terreno, donde los objetos fotográficos aparecen disminuidos en una proporción dada denominada escala.

La escala es una función representativa en que se designa la escala de un mapa y está dada por la relación entre la distancia focal y la altura de vuelo como se muestra en la ecuación (5):

Ecuación No. 5 Escala de la fotografía

$$\frac{1}{E} = \frac{f}{h}$$

Donde:
f: Distancia focal
h: Altura del vuelo
E: Escala de la fotografía

C. Distancia entre dos fotografías

También llamada base o avance útil sobre el terreno, consiste en la distancia que existe entre dos puntos de toma de dos fotografías consecutivas correspondiente a la relación de superposición longitudinal de las vistas y se puede expresar así, ecuación (6)

Ecuación No. 6 Distancia entre dos fotografías

$$\mathcal{B} = l * (1 - u\,100)$$

Donde:
B: Base o avance útil sobre el terreno
l: Longitudinal de las vistas
u: es el porcentaje de solapamiento longitudinal y l es el tamaño que mide el lado vertical de la fotografía.

D. Distancia entre líneas de vuelo

Consisten en la distancia de separación entre líneas de vuelo en función a la superposición lateral como se expresa en la Ecuación (7):

Ecuación No. 7 Distancia entre líneas de vuelo

$$A = l * (1 - v100)$$

Donde:

v: Porcentaje de solapamiento lateral

l: Tamaño que mide el lado horizontal de la fotografía

A: Distancia de separación entre líneas de vuelo

E. Intervalo de tiempo entre fotografías

Es el tiempo que debe transcurrir entre la toma de una fotografía y la siguiente para que se produzca el solapamiento longitudinal requerido. Teniendo en cuenta que la velocidad es la razón de cambio en la posición de un objeto en un determinado tiempo, el intervalo de tiempo entre toma de fotografías está definido por la ecuación (8):

Ecuación No. 8 Intervalo de tiempo entre fotografías

$$I = \frac{B}{V}$$

Donde:

v: Corresponde a la velocidad de vuelo [m/s].

B: Base o avance útil sobre el terreno

I: Intervalo de tiempo entre fotografías

F. Número de fotografías por líneas de vuelo (NFLV)

El número de fotografías por línea de vuelo se obtiene al dividir la longitud de ésta

entre la base (B) como se muestra en la Ecuación (9). Generalmente al resultado se le suma 4 fotografías que se toman al principio y al final del recorrido para cerciorarse de que la cámara esté funcionando de manera correcta sobre la zona de interés.

Ecuación No. 9 Número de fotografías por líneas de vuelo (NFLV)

$$NFLV = \frac{Logitud\ de\ la\ línea}{B} + 4$$

Donde:

NFLV: Número de fotografías por línea de vuelo

B: Base o avance útil sobre el terreno

I: Intervalo de tiempo entre fotografías

G. Número de líneas de vuelo (NLV)

Es la cantidad de líneas de vuelo necesarias para cubrir el área de interés correspondiente al solapamiento lateral. Se agrega una línea adicional con el fin de compensar un posible error como se muestra en la Ecuación (10):

Ecuación No. 10 Número de líneas de vuelo (NLV)

$$NLV = \frac{Ancho\ del\ terreno}{A} + 1$$

Dónde

NLV: Número de líneas de vuelo

A: Área del terreno

H. Número total de fotografías (NTF)

Es el producto del número de fotografías por líneas de vuelo y el número de líneas de vuelo, donde finalmente se obtiene el número de imágenes de todo el recorrido

del UAV necesarias para cubrir el área de interés.

Ecuación No. 11 Número total de fotografías (NTF)

$$NTF = NFLV * NLV$$

Donde:

NTF: Número total de fotografías
NLV: Número de líneas de vuelo
NFLV: Número de fotografías por línea de vuelo

A. Tiempo de vuelo:

Se calcula teniendo en cuenta el intervalo de tiempo entre fotografías (I) y el número total de fotografías (NTF). Este es el tiempo que se demora el UAV en realizar el plan de vuelo sobre la zona de interés.

Ecuación No. 12 Tiempo de vuelo

$$t = I * NTF$$

Donde:

NTF: Número total de fotografías
t: Tiempo de vuelo

4.7 SOFTWARE DE FOTOGRAMETRÍA

Actualmente existen una gran variedad de programas o software adecuados para el procesamiento o post procesamiento de información obtenida en campo, de los cuales varían de acuerdo a su ubicación y consentimiento según el fabricante, de los cuales se pueden mencionar los siguientes sin desmerecer su grado de importancia ni costo:

4.7.1 AUTOCAD

Es un software CAD utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. El nombre AutoCAD surge como creación de la compañía Autodesk, en que Auto hace referencia a la empresa creadora del software y CAD a Diseño Asistido por Computadora (por sus siglas en inglés "Computer Aided Design"), teniendo su primera aparición en 1982. AutoCAD es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D; es uno de los programas más usados por arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales y otros. (Autodesk,2019).

4.7.2 AGISOFT PHOTOSCAN

Es un software de escritorio para procesar imágenes digitales y, mediante la combinación de técnicas de fotogrametría digital y visión por computador, generar una reconstrucción 3D del entorno. Existen dos versiones diferentes. La versión estándar está pensada para usuarios casuales que desean generar nubes de puntos a partir de múltiples imágenes. La versión profesional incluye funcionalidades específicas para la generación de productos geomáticos. (Agisoft,2019).

4.7.3 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).

4.7.4 PHOTOMODELER SCANNER

Photomodeler es un software de reconstrucción 3D a partir de fotografías de un objeto o edificio. Se basa en el modelo de malla de polígonos, por el cual se designan puntos manualmente en las fotografías (normalmente vértices), y el programa calcula el punto de vista de cada fotografía y sitúa el objeto en un espacio de tres dimensiones virtual mediante triangulación. El programa es capaz de orientar las fotografías, crear puntos, rectas y planos y extraer texturas de las fotografías. El resultado se puede exportar después a otros programas como AutoCAD, Image Model, Rhino, Google SketchUp, etc. (Photomodeler,2018).

4.7.5 PHOTOSHOP

Es un editor de gráficos rasterizados desarrollado por Adobe Systems Incorporated. Usado principalmente para el retoque de fotografías y gráficos, su nombre en español significa literalmente "taller de fotos". Es líder mundial del mercado de las aplicaciones de edición de imágenes y domina este sector de tal manera que su nombre es ampliamente empleado como sinónimo para la edición de imágenes en general. (Photoshop,2017).

4.7.6 PRECISIONES OBTENIDAS

Para la correcta precisión de un modelo fotogramétrico se debe tomar puntos de apoyo con GPS de doble o mono frecuencia, lo cual determinaría una precisión óptima, estos puntos permiten corregir el modelo y ajustarlo a proporciones reales (Yuste, Vargas y Moya, 2013).

Una vez tomadas las fotografías, mediante un software fotogramétrico se procede a orientarlas, colocando coordenadas de vuelo de cada fotografía y mediante la restitución fotogramétrica se obtienen modelos digitales de superficie. La distribución de puntos de control en el área de estudio reducirá los errores de

levantamiento, sin eliminar la naturaleza sistemática *(Yuste, Vargas y Moya, 2013).*

Robson y James (2014), indican que una solución práctica para problemas en las imágenes de los DRONE cuando estos no pueden regular el ángulo de la cámara durante el vuelo y no es posible obtener imágenes durante los giros del DRONE, se debe colocar la cámara con un ángulo de visión de 5° e incrementar las líneas de vuelo.

En el contexto local para productos cartográficos procedente de imágenes tomadas con técnicas fotogramétricas se tiene:

- Exactitud absoluta de posición:
  La base cartográfica garantizará la exactitud posicional absoluta al 95% de confianza de acuerdo con la tabla mostrada a continuación, para lo cual se establece el indicador raíz del error medio cuadrático para cada una de las componentes norte, este y altura. (IGAC,2016).

Tabla No. 1 Exactitud absoluta de posición

Escala	Horizontal (m) RMSEr	Vertical (m) RMSEz	Exactitud vertical confianza (95%)	Exactitud Horizontal confianza (95%)
1:1.000	0,30m	0,30m	0,59m	0,73m
1:2.000	0,60m	0,60m	1,18m	1,47m
1:5.000	1,50m	1,50m	2,94m	3,67m
1:10.000	3,00m	3,00m	5,88m	7,34m
1:25.000	7,50m	7,50m	14,70m	18,36m

Fuente: Especificaciones técnicas cartografía básica IGAC, 2016.

- Exactitud de posición horizontal:
  Raíz del error medio cuadrático (RMSE) lineal; es decir, para cada una de las componentes de la posición horizontal Norte y Este. (IGAC,2016).
- Exactitud de posición vertical:
  Raíz del error medio cuadrático (RMSE) lineal; es decir, para cada una de las componentes de la posición vertical. (IGAC,2016).

4.8 ERRORES EN SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

Existen muchos factores que pueden afectar la señal del GPS lo cual la hace matemáticamente imperfecta. Se debe tomar en cuenta que la distancia a los satélites, que se calcula en base al tiempo y viaje de su señal por la velocidad de la luz, sin embargo, existe un error de precisión porque la señal pierde velocidad en la ionosfera por sus partículas cargadas positivamente y en la troposfera por el vapor de agua.

La manera de minimizar el error es comparar la velocidad relativa de dos señales diferentes, a esto se denomina medición de doble frecuencia, es sofisticada y solo es posible con receptores GPS avanzados. Además, la señal de GPS puede rebotar varias veces antes de ser captada por el receptor GPS, por lo cual algunos receptores utilizan sofisticados sistemas de rechazo para minimizar la recepción de estas señales erróneas, contando con un sistema denominado Dilatación Geométrica de la Precisión (DGDP), la cual toma algunas señales e ignora otras (Quintanilla, Gallegos, Irimia y Pérez, 2005).

4.9 PRINCIPALES RECEPTORES GPS

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2007), asegura que en la actualidad existen un sinnúmero de equipos GPS, además se los puede clasificar por múltiples criterios, existiendo muchas marcas dentro de las cuales sobre salen Leica, TRIMBLE, GeoExplorer, MC-GPS, eTrex, Hi Target entre otros. Para aplicaciones GIS se pueden clasificar en los siguientes tipos de receptores:

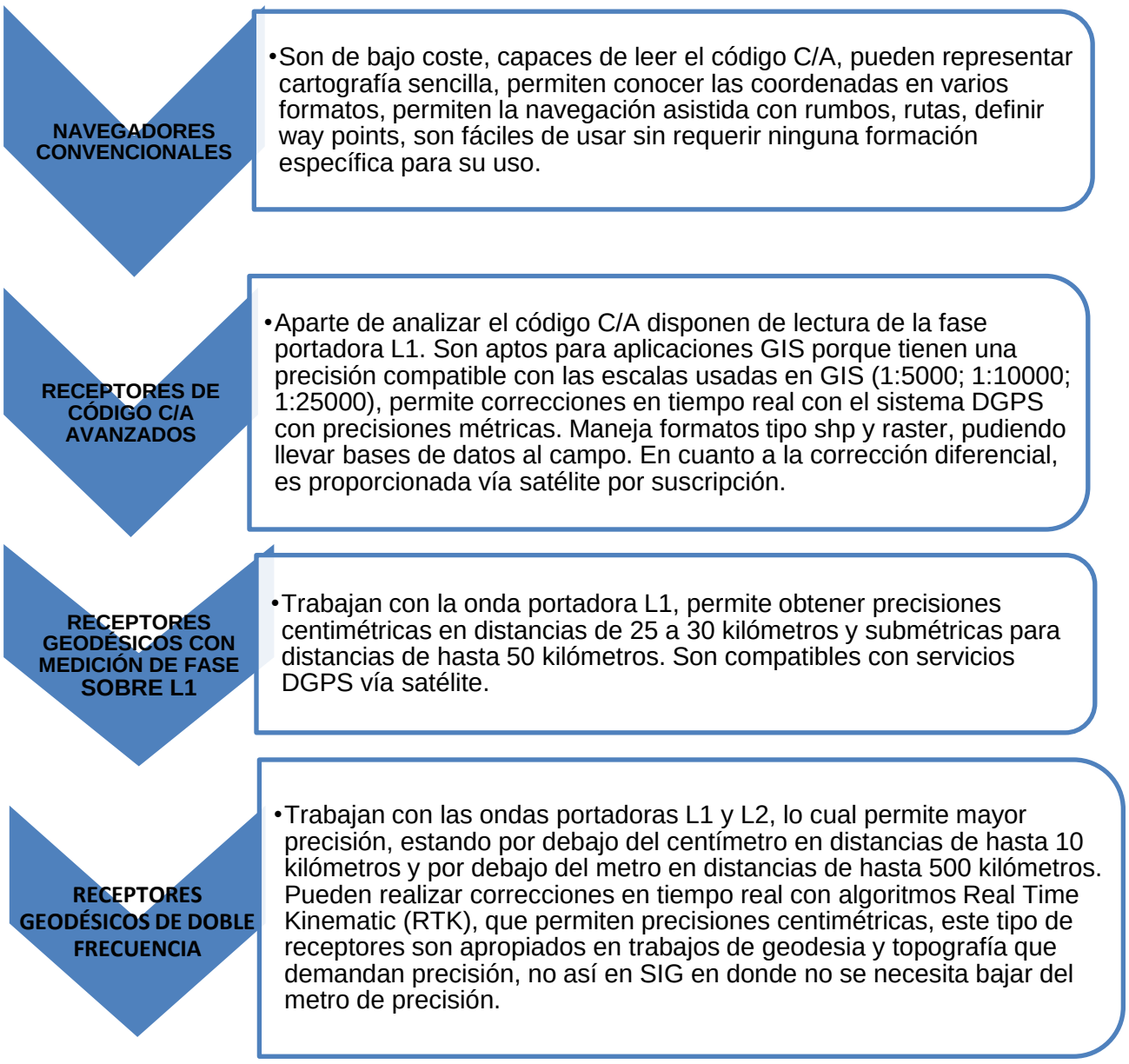


Ilustración 5 Tipos de receptores GPS

Fuente: (Lourdy,2017)

4.10 ORTOFOTOGRAMETRÍA DIGITAL

La representación fotográfica del terreno debido a su mayor riqueza informativa resulta ventajosa en numerosas aplicaciones respecto a los mapas gráficos. La ortofotografía es un documento fotográfico que permite aprovechar el contenido informativo de la fotografía aérea y realizar las mismas medidas que en un plano gráfico.

En el caso ideal teórico de ser el eje de la toma rigurosamente vertical y el terreno llano y horizontal, la fotografía aérea coincidirá con la ortofotografía. Sí el terreno es llano y horizontal y el eje de la toma forma un pequeño ángulo con la vertical, se corrigen las deformaciones de la imagen original a través de la rectificación fotográfica convencional. En el caso general de disponer de una imagen correspondiente a una zona de terreno con relieve y tomada con el eje inclinado, para obtener una ortofotografía es preciso aplicar la técnica de la rectificación diferencial.

TÉCNICA DE LA RECTIFICACIÓN DIFERENCIAL

Esta técnica corrige las deformaciones de la imagen, causadas, tanto por los desniveles del terreno como por la falta de verticalidad del eje óptico de la cámara en el momento de la toma, transformando geométricamente zonas elementales de la fotografía aérea en ortofotografía.

Podemos definir ortoproyección como el método fotogramétrico de obtener fotomapas precisos, corregidos de las deformaciones producidas en la imagen fotográfica por el relieve y la inclinación de la fotografía, mediante la rectificación diferencial de la fotografía original. (Pérez J. A., 2001).

Podemos diferenciar dos tipos de ortofotografías:

- **ORTOFOTOGRAFÍA ÓPTICA:** A partir de la diapositiva de la fotografía original se transmite la imagen ópticamente, en pequeñas unidades geométricas, al negativo final. El producto final es una imagen fotográfica.

- **ORTOFOTOGRAFÍA DIGITAL**: Se parte de imágenes generadas en forma digital o imágenes fotográficas que previamente se han escaneado. Estas imágenes están divididas en elementos rectangulares denominados pixeles. La corrección de los errores debidos al relieve y a la falta de verticalidad del eje de torna, hasta obtener una nueva imagen digital se realizan analíticamente. El resultado es una nueva imagen digital corregida, que puede ser reproducida fotográficamente.

CALIDAD DE LA IMAGEN ORTOFOTOGRÁFICA

Una vez obtenida la imagen ortorectificada es fundamental la supervisión de la calidad de la misma, los efectos fundamentales que es necesario localizar son los siguientes:

- Comprobación de que la imagen esté completa. Si el área que cubre la imagen no está cubierta adecuadamente por un MDE se pueden producir errores en la ortoimagen final.

- Presencia de arrastres en la imagen. Las causas más frecuentes de aparición de arrastres (la imagen aparece movida) es, la presencia de errores en el modelo digital de elevaciones (puntos anómalos) o bien, la presencia de valores de desplazamiento debido al relieve muy elevados al encontrarnos en el borde de la imagen.

  Esta última causa es muy frecuente cuando se intenta la rectificación de una cumbre montañosa, en la que la cara orientada hacia la cámara aparece adecuadamente rectificada, pero en la cara contraria existen arrastres debido a que una pequeña porción de la imagen original debe “estirarse" para cubrir el área correspondiente en la ortoimagen.

- Aparición de dobles imágenes. Este problema era especialmente importante en los primeros sistemas fotogramétricos digitales que,

trabajaban a nivel de modelo en el que errores debidos a la orientación de las imágenes (los parámetros de la orientación externa de la imagen derecha del primer modelo presentan ligeras diferencias con respecto a los calculados con la misma imagen cuando hace de imagen izquierda del segundo modelo) o bien, falta de continuidad en el modelo digital de elevaciones.

- Aparición de porciones de ortoimagen no cubiertas. Este hecho tiene el mismo origen que la aparición de dobles imágenes, pero con el resultado contrario, no existe continuidad en la ortoimagen final por un problema de orientación o del MDE empleado en la ortorectificación.

- Errores planimétricos. Se comprueban mediante la medida directa de puntos sobre el terreno que sean perfectamente distinguibles en la imagen, comparando posteriormente sus coordenadas planimétricas.

Los principales problemas que afectan a la calidad de las ortoimágenes generadas mediante rectificación diferencial son los debidos a los errores o falta de precisión del modelo digital de elevaciones, dejando a un lado los problemas de ajuste radiométrico que se compensan mediante correcciones. (Agisoft, 2018).

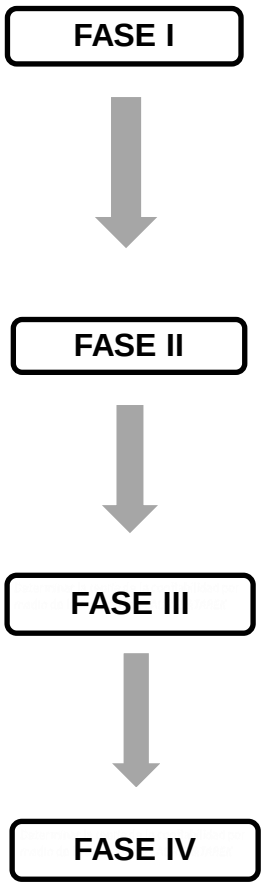
5. METODOLOGÍA

En primer lugar, se deben realizar levantamientos topograficos de zonas rurales para los cuales se dedica un dia de la semana y se debe capturar toda la información de campo correspondiente a los archivos crudos GPS, fotografias aereas, registro fotografico y en caso que se requiera realizar un levantamiento convencional en las zonas que no se observen por obstaculos en las fotografias, registro fotografico el cual es indispensable para ubicación de puntos de foto-control.

El procesamiento de imágenes tiene una dedicación de cinco dias de la semana, en los que se procesan los levantamientos realizados en los dias destinados para ello y adicional se procesan los levantamientos hechos por otras comisiones en los departamentos de Antioquia, Nariño y Boyaca, con el fin de organizar la informacion y procesar con los siguientes software: Topcon Tools, Agisoft Photoscan y AutoCAD Civil 3D. De lo anterior se obteniene como resultado una ortofoto y un plano topográfico por sitio de estudio, para esto se realizan dos diagramas de fases ejecutados en terreno y oficina, y un flujograma que resume todo el procedimiento.

5.1 DIAGRAMA DE FASES EN TERRENO

El siguiente diagrama de fases muestra el procedimiento ejecutado en terreno.



Reconocimiento del predio: En esta etapa se realiza la identificación del predio con el propietario del mismo donde se identifica la ubicación de los puntos de control y los elementos que se desean levantar.

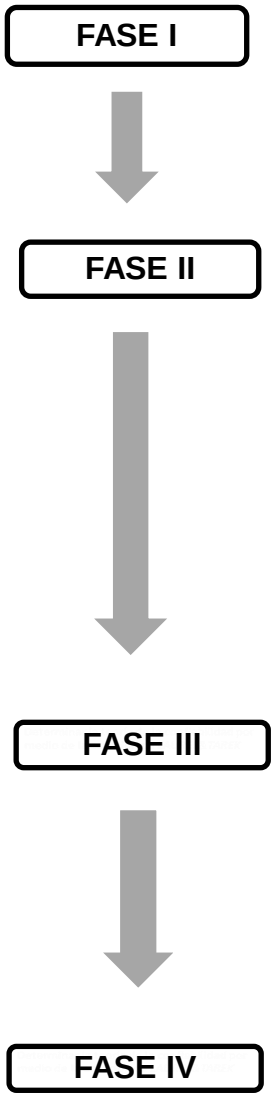
Cimentación de placas: Identificar el lugar donde se desean ubicar las placas, según el tipo de suelo se procede a realizar la cimentación y el posicionamiento de las mismas.

Ubicación de puntos de foto-control: Ubicar los puntos de foto-control y realizar la obtención de coordenadas de los mismos por el método de RTK.

Vuelo Fotogramétrico: Se debe planear el vuelo mediante la aplicación PIX4D y se realiza el mismo.

5.2 DIAGRAMA DE FASES EN OFICINA

El siguiente diagrama de fases muestra el procedimiento ejecutado en oficina.



Obtención de puntos de control: En esta etapa se realiza el post-procesamiento de dos puntos GPS mediante software Topcon Tools para realizar el ajuste de los puntos RTK que se utilizan como foto-control.

Generar modelo digital del terreno: Mediante software Agisoft Photoscan se realiza el siguiente procedimiento:

- Orientar las fotografías aéreas
- Importe de los puntos de control y ubicarlos en las respectivas fotografías.
- Generar nube densa y clasificar los puntos de la misma.
- Con la nube de puntos densa se crea el modelo digital de terreno.

Generar ortofoto: Mediante software Agisoft Photoscan se realiza el siguiente procedimiento:

- Utilizar el modelo digital de terreno para crear la ortofoto.
- Crear curvas de nivel.

Elaborar plano topográfico e informe: Mediante software AutoCAD Civil 3D se realiza el siguiente procedimiento:

- Se importan las curvas de nivel y la ortofoto.
- Importar los puntos de foto-control.
- Dibujar lo correspondiente a cada levantamiento y rotular.
- Realizar el informe con los parámetros establecidos por la empresa.

5.3 DIAGRAMA DE FLUJO

En el siguiente flujograma se evidencia el resumen todo el procedimiento a ejecutar para obtener los resultados que se desean.

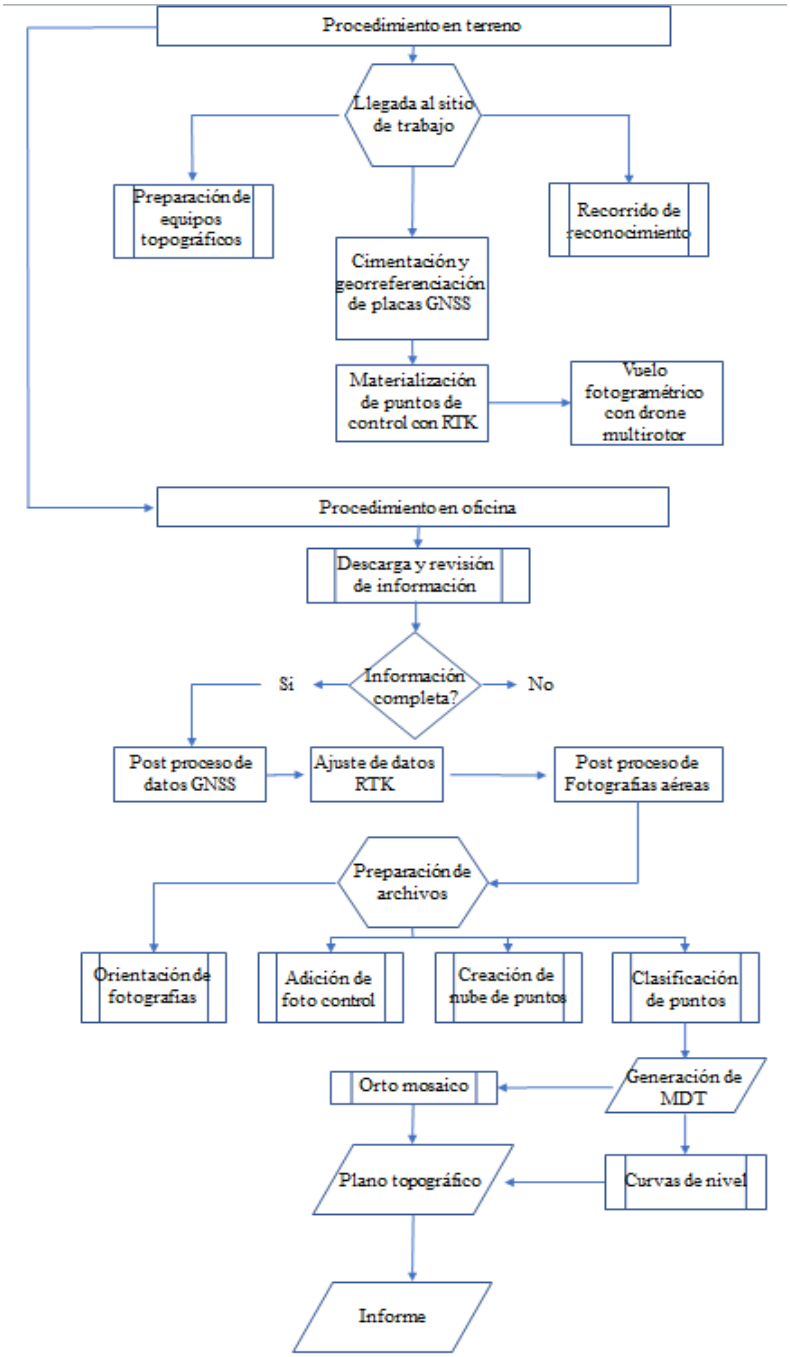


Ilustración 6 Diagrama de flujo

Fuente: Propia

6. RESULTADOS

Teniendo en cuenta lo anterior se desea aplicar los conocimientos adquiridos de fotogrametría, cartografía avanzada y geodesia para la obtención de planos topográficos por medio de levantamientos realizados en terreno utilizando el plan trabajo propuesto en este documento y el procesamiento de fotografías aéreas, posicionamiento GPS y el manejo de software como Agisoft Photoscan, AutoCAD Civil 3D y Topcon tools para obtener los ortofotos ajustadas y georreferenciadas con planos topográficos e informe del trabajo efectuado.

La tabla 1 muestra las coordenadas resultantes de los GPS materializados en campo

Tabla No. 2 Resultados GPS

RESULTADOS POST PROCESO									
Punto	Época Actual								
	Coordenadas Geográficas			Coordenadas Gauss-Krueger			Velocidades		
	Latitud	Longitud	Alt. Elipsoidal	Norte	Este	Alt. Elipsoidal	Vx	Vy	Vz
GPS-145	6°09'14.14779"N	74°49'54.96309"W	841.628	1172319,034	916496,016	841,628	0.0049	0.0029	0.0138
GPS-148	6°09'59.09911"N	74°49'59.09911"W	823.291	1172223,445	916368,707	823,291	0.0049	0.0029	0.0138

Fuente: Propia

Mediante el software PhotoScan se realizó el ajuste y georreferenciación de la imagen obteniendo la ilustración 6 en la que se evidencia la nube de puntos densa esencial para crear el modelo digital de terreno, aquí se observa la topografía del terreno sin ninguna clase de edición, montañas con terreno natural y árboles, también construcciones y elementos no pertenecientes al suelo natural.

Adicionalmente, durante el posicionamiento de puntos de control luego del posterior alineamiento de las fotografías se obtuvo un RMS horizontal menor a

0.10m RMS vertical menor a 0.10m para las 15 unidades productivas, con los cuales se evidencia un error incluso menor que el máximo permitido para salidas gráficas establecidas por el IGAC para la escala más pequeña (1:1000).

De lo anterior se puede inferir que, con este tipo de levantamientos con vehículos no tripulados es posible lograr un error muy pequeño, que para este caso fue de 0.1m, por tanto, cumplen con las condiciones de cartográficas apropiadas para obtener productos gráficos georreferenciados confiables sobre los cuales se puedan realizar medidas precisas.

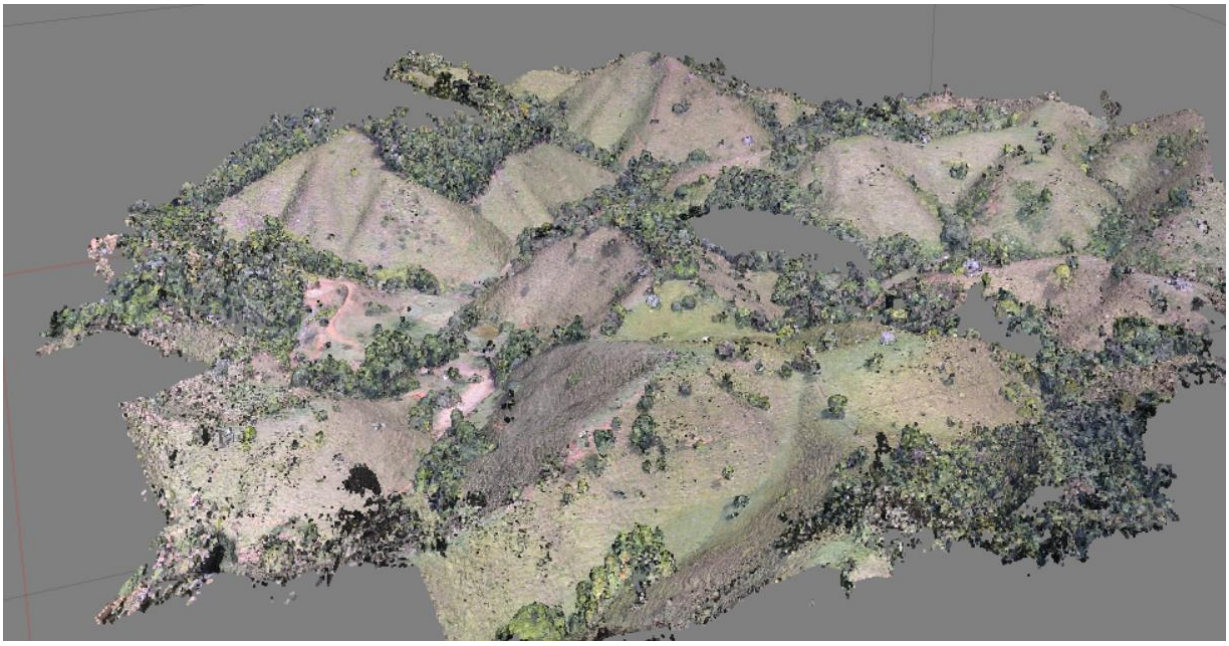


Ilustración 7 Nube de puntos densa

Fuente: PhotoScan

Después de realizar la clasificación de los puntos por medio de PhotoScan dejando solo la información de terreno se exportan las curvas de nivel al software AutoCAD Civil 3D como lo muestra la ilustración 7 a la cual se le debe adherir la batimetría realizada a un rio cercano para obtener secciones transversales.

Es evidente que mediante la interpretación de las curvas las zonas altas y bajas y las líneas divisorias de aguas de los cauces se puede generar un plano topográfico.

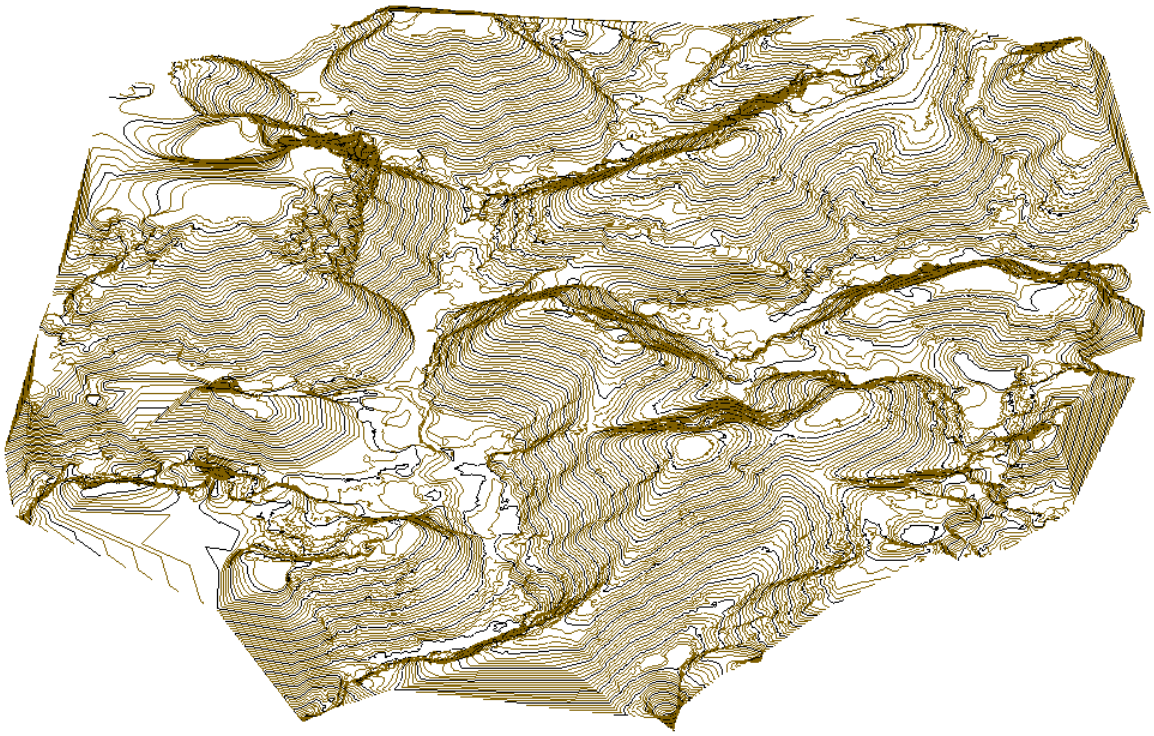


Ilustración 8 Modelo Digital de Terreno

Fuente: AutoCAD Civil 3D

En la ilustración 8 se muestra uno de los productos que se exige, un fichero que contenga datos geográficos el cual muestra una mejor ubicación espacial del sitio que se desee analizar, en algunos casos comparando la información suministrada por el software con la generada por la ortofoto.

Para verificar que la información geográfica del ortofotomosaico generado este en correcta ubicación se generó un kmz que al momento se exportarlo al visor geográfico de Google Earth arroja una ubicación acertada, pero con una salida gráfica de mejor detalle.

En Google earth no es posible apreciar con gran detalle las características del terreno, pero al montar sobre este visor la ortofoto se logra comprender la importancia de este resultado gráfico, en donde la topografía y elementos del terreno son fácilmente identificados.

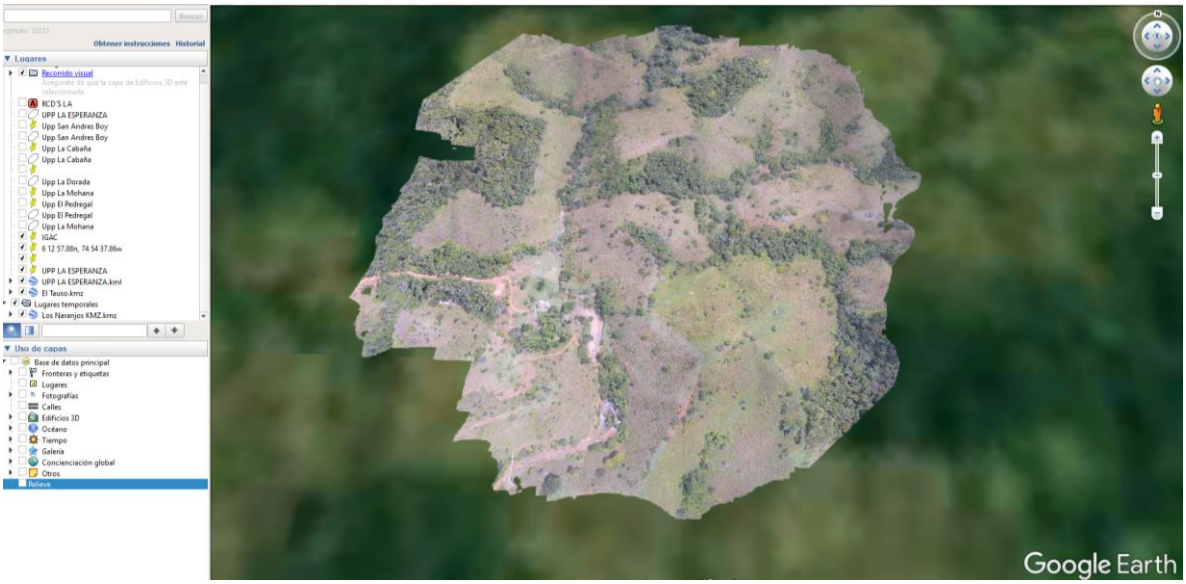


Ilustración 9 Fichero de datos geográfico

Fuente: Google Earth Pro

Seguidamente, la ilustración 9 muestra el resultado más importante el cual es la ortofoto corregida y ajustada de la que se extrae la mayor cantidad de información que permita dibujar el plano topográfico de alta calidad y una gran cantidad de detalle.

Esta imagen contiene información geográfica exacta gracias a la georreferenciación realizada y por ello, sobre esta ortofoto es posible medir con gran precisión.



Ilustración 10 Ortofoto

Fuente: propia

Finalmente, las siguientes tres imágenes muestran el resultado final que son los planos obtenidos los cuales muestran áreas y profundidad de las piscícolas, curvas de nivel, construcciones, rio, secciones transversales de la captación y vertimiento de cada unidad productiva.

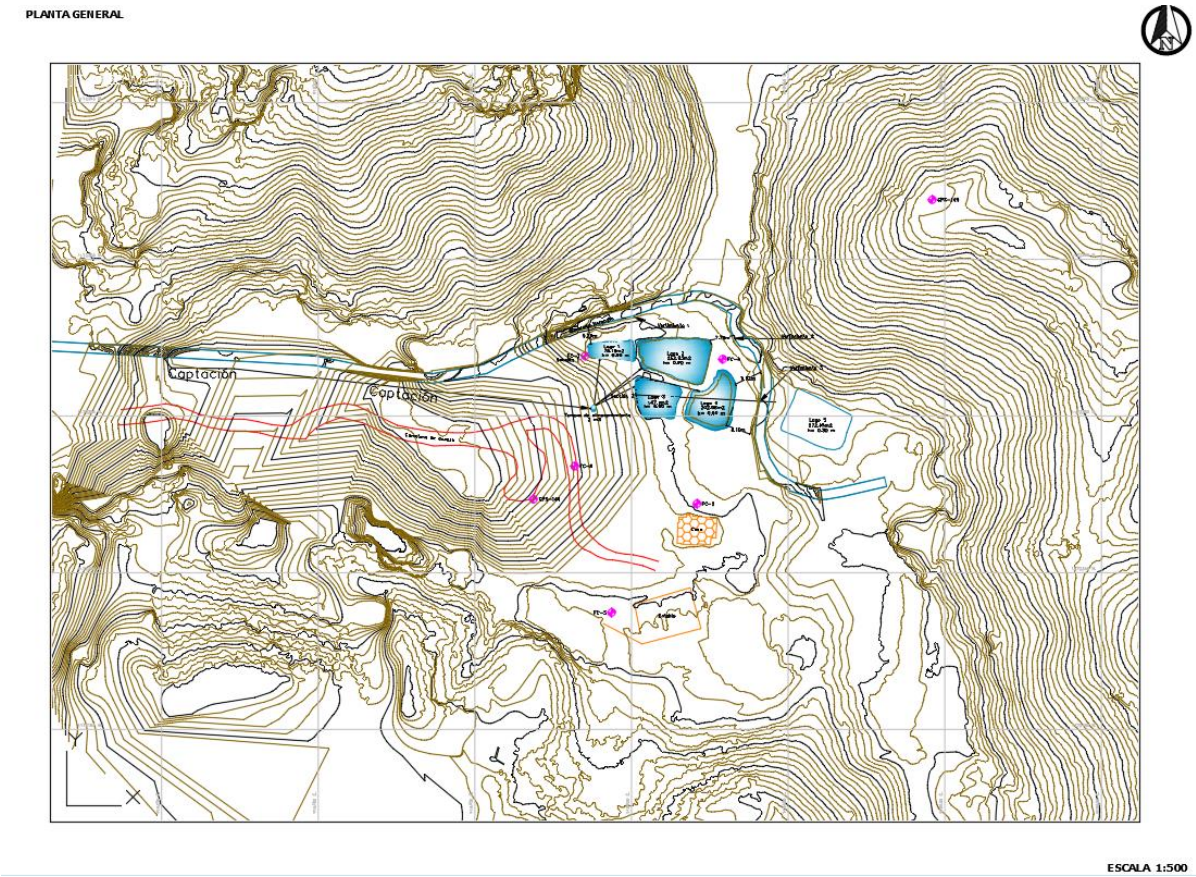


Ilustración 11 Planta general

Fuente: AutoCAD Civil 3D

En conclusión, con los planos topográficos y los datos de batimetría se aprecian las 4 lagunas a las cuales se les realizo el levantamiento batimétrico mostrando a detalle coordenadas y ubicación de las mismas. El plano muestra las elevaciones de las montañas aledañas que servirá en un futuro para el diseño de la captación de agua y de todo el sistema hídrico.

Por otro lado; con el plano de secciones transversales se obtiene información aún más detallada de las áreas que comprende el rio en esta zona, con el propósito de calcular volúmenes de agua y caudales de diseño y operación. Cabe resaltar, que el alcance de este proyecto se concentra únicamente en la generación de productos cartográficos para los futuros proyectos hídricos que se planearon en la zona. De aquí la importancia de generar planos topográficos con gran nivel de detalle y con una precisión de medidas significativa.

Dichas secciones se generaron en dos tramos, el primero de ellos es la captación que se evidencia en la ilustración 11 donde se generó secciones cada 10 metros, para un total de 5 secciones, con un ancho de 60 metros, donde la profundidad máxima alcanzada por el río es en la abscisa K0+037.94, donde se encuentra el punto de capción con una profundidad que sobrepasa los 821,70m.

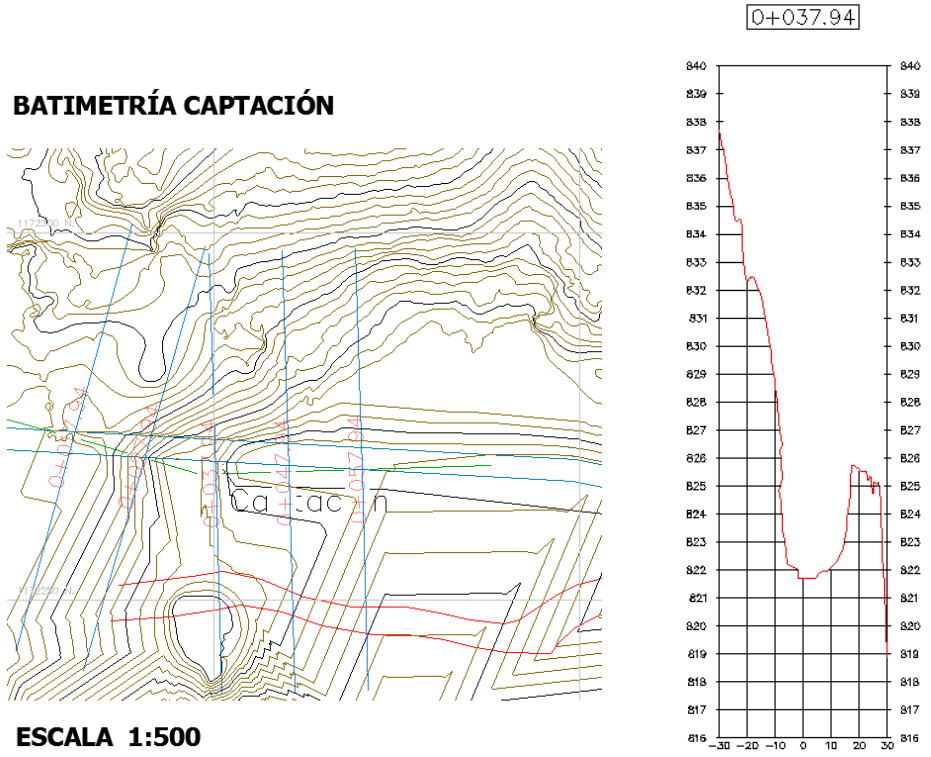


Ilustración 12 Secciones captación

Fuente: AutoCAD Civil 3D

Por otro lado; en la región del vertimiento también se genera secciones transversales cada 10 metros (ilustración 12), para un total de 11 secciones, debido a que el afluente pasa cerca a las piscícolas aquí las alturas son menores y en especial en la abscisa K0+099.34 que es el tercer vertimiento de la unidad productiva con una profundidad que sobrepasa los 801m.

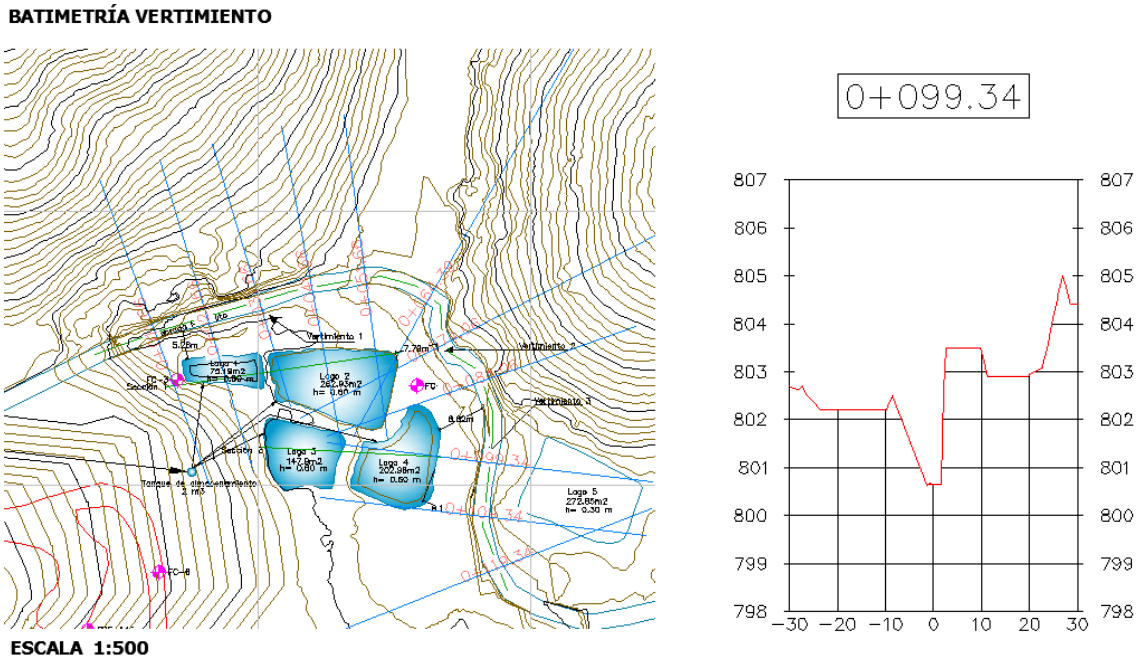


Ilustración 13 Secciones Vertimiento

Fuente: AutoCAD Civil 3D

7. CONCLUSIONES

Se logró obtener un producto cartográfico (ortomosaico) georreferenciado y corregido por modelos geodésicos, con un RMS inferior a 0.10m tanto vertical como horizontal, empleando el debido procesamiento fotogramétrico de imágenes aéreas proporcionadas por un dron, teniendo en cuenta que en determinadas fotografías se realizó ajustes adicionales como:

- Modificación de la intensidad del brillo
- Contraste de las mismas
- Eliminación de las fotografías que generaban errores en el modelo.

Además de esto; cabe aclarar que fue necesario complementar la información generada por la orto fotografía con un levantamiento de batimetrías por medio de RTK generando un modelo digital de terreno el cual fue mezclado con el obtenido a partir de las fotografías aéreas.

Conforme a lo anterior; con la información inicial de terreno se elaboró un plano topográfico que contiene una planta general que muestra las construcciones, estanques, senderos, alineamiento de secciones y perfiles, en el cual se observa que es necesario tener información adicional aparte de las fotografías como es levantamiento batimétrico de los estanques y ríos cercanos.

En este punto, se hace necesario afirmar que pese a que la información de captura con el UAV es de un alto valor geográfico, las construcciones a detalle deben ser levantadas por topografía convencional y es acá donde se logra afirmar que esta clase de proyectos son una mezcla de levantamientos con dispositivos de alta tecnología de captura remota y levantamientos con dispositivos convencionales, de manera tal que, en zonas agrícolas en las que el acceso es difícil un UAV resulta la manera más fácil e idónea para caracterizar el terreno.

En esta línea de ideas, con el producto geográfico obtenido con dron el cual consiste en una ortofoto que posee un nivel de detalle significativo, es posible capturar información del terreno básica a detalle, la cual es únicamente verídica

con puntos de control materializados en terreno, de esta forma es posible tener plena certeza que las fotografías tienen traslape de información con elementos geográficos marcados y georreferenciados por medio de GPS doble frecuencia de alta precisión ya que sin esto la ortofoto no tendrá un punto de referencia con el cual calcular un valor de error RMS.

No obstante, para aplicaciones ingenieriles tales como el diseño de estructuras con base en planos topográficos habrá de ser necesario, como en este caso, un levantamiento topográfico a detalle con la combinación de equipos como estación total y GPS que permitan aumentar el nivel de caracterización del suelo ya que, a través de ortofotos detalles finos como estructuras e incluso senderos no son visibles con exactitud. Dicho de otro modo, con la combinación de topografía convencional en casos que lo requiera se logra un producto de mayor valor geográfico, como en este caso que se logra realizar un levantamiento batimétrico y junto con la ortofoto se obtienen perfiles transversales del terreno (Ilustración 12) en donde se indican clara y específicamente las alturas de los cuerpos de agua.

Por otro lado, otra de las ventajas de este tipo de levantamientos es la capacidad de portabilidad e interoperabilidad que tienen los datos geográficos, ya que en dado caso que no puedan ser observados al nivel de detalle que se requiere es posible al menos, observarlos en una interfaz gráfica que es amable con cualquier tipo de usuario.

Finalmente, se decide entregar un fichero que contiene datos geográficos a partir de un modelo digital de terreno (KMZ) debido a que es un producto bastante versátil que permite observar de una forma más amable el resultado al usuario que desee acceder a él.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1.] Adata, G.A.,& Pérez Lance, G. (2014). Introducción a los UAV'S Drones VANT'S de uso civil (No.551). Serie Documentos de Trabajo, Universidad del CEMA.

[2.] Adobe Photoshop CC, (2017), http:// www.adobe.com/es/products/photoshop.html

[3.] Autodesk software CAD (2018). https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/cad-software.

[4.] Esri, ArcMap (2018). http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/main/map/what-is-arcmap-.htm.

[5.] Fernández-Lozano, J., Gutiérrez-Alonso, G., Calabrés-Tomé, S., & García-Talegón, J. Drones: Nuevas aplicaciones geomáticas en el campo de las Ciencias de la Tierra.

[6.] Fernández-Lozano, J., & Gutiérrez-Alonso, G. (2016). Aplicaciones geológicas de los drones. Revista de la Sociedad Geológica de España, 29(1), 89-105.

[7.] GeoBit Consulting SL (2018). https://www.agisoft.es/products/agisoft-photoscan/

[8.] Hilario Tacca, Q. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional.

[9.] J. J. C. J. H. P. D. Jesús Orlando Escalante Torrado, «Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV,» Tecnura, vol. 20, nº 50, p. 23, 2016.

[10.] J. J. Ruiz, «Generación de mapas 3D a partr de imagenes aéreas,» Sevilla,2013.

[11.] Pérez J. A. (2001). APUNTES DE FOTOGRAMETRIA II

[12.] Photomodeler, (2018). https://www.photomodeler.com/index.html

[13.] Quintanilla, I., Gallegos, A., Irimia, J., y Pérez, J. (2005). Estudio y Análisis de recptores GPS monofrecuencia diferencial de bajo coste para la obtención de precisiones submétricas. Ingeniería Cartográfica. 1, 1-8.

[14.] Sánchez Vargas, I. J. (2017). Determinar el grado de confiabilidad del levantamiento topográfico con dron en la Plaza San Luis-2017.

[15.] W. y. Z. Y. Chen, «An improved SIFT algorithm for image feature-matching.,» International Conference on Multimedia Technology, pp. 197-200, 2011.

[16.] Yuste Martin, N., Vargas, V., & Moya, H. (2013). Teledetección Ambiental de Alta Resolución mediante aplicación de Vehículos Aéreos no tripulados. Madrid, España: Sociedad Española de Ciencias Forestales.

[17.] Lorduy Hernández, (2017), Generación de ortoimágenes usando Vehículos Aéreos no tripulados aplicado a la agricultura.

[18.] M. Diago y J. Tardáguila, «Aplicación de tecnologías no invasivas en viticultura de precisión,» I Jornadas del Grupo de Viticultura y Enología de la SECH, vol. I, pp. 107-113, 2014

[19.] Pix4D, «Getting GCPs on the field or through other sources (optional but recommended),» 2016. [En línea]. Available: https://support.pix4d.com/hc/enus/articles/202557489#gsc.tab=0..

[20.] B. Froment, «Fotografias aéreas,» 2007.

[21.] INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. (2016). Especificaciones Técnicas cartografía Básica. Subdirección geografía y cartografía, Bogotá.

[22.] INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. (1994). RESOLUCIÓN NÚMERO 64 DE 1994. especificaciones mínimas en el área de fotogrametría.

[23.] ASTORQUI, J. S. C. (2003). La fotogrametría digital en el levantamiento de planos de edificios. Informes de la construcción, 55(488), 31-40.

[24.] Navarro, P. R. (2012). Fotogrametría digital automatizada (SFM) con apoyo aéreo de proximidad. In XI Congreso Internacional de Expresión

Gráfica aplicada a la Edificación, Valencia. 29, 30 de noviembre y 1 de diciembre de 2012 (pp. 783-789).

[25.] Vauterin Jonas, S. R.-Z. (2016). Photogrammetric accuracy and modeling of rolling shutter. publicaciones pix4d, página. 1-8.

[26.] Xdrones, (2019), https://www.xdrones.es/tipos-de-drones-clasificacion-de-drones-categorias-de-drones/

[27.] Bolt drones (2019), https://www.kickstarter.com/projects/1394449697/bolt-drones-introducing-a-whole-new-flight-experie?lang=es

[28.] VLOT (2019), http://www.heliceo.com/es/produits-pour-geometres/fusion-dron-avion-vtol/