

MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO

GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA HIDROLÓGICA SUPERFICIAL A PARTIR DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT's)

PRESENTADO POR
JESÚS ANDRÉS JORDÁN RAMÍREZ
jesus.jordan@correounivalle.edu.co

DIRECTOR:
M.Sc. OLGA LUCIA BAQUERO
olga.baquero@correounivalle.edu.co
UNIVERSIDAD DEL VALLE

CO-DIRECTOR:
Ph.D. JUAN GUILLERMO LOZANO-ARANGO
jglozanoarango@gmail.com
CONSULTOR SIG - TELEDETECCIÓN



UNIVERSIDAD DEL VALLE
SANTIAGO DE CALI – VALLE DEL CAUCA
Julio 31 - 2022

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	5
1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS	8
2.1. Objetivo General	8
2.2. Objetivos Específicos	8
3. CAPITULO 1 – ANTECEDENTES.....	9
3.1 Cartografía hidrológica	9
3.2 Vehículos Aéreos no Tripulados (VANTs)	9
3.2.1 Autonomía de vuelo.....	9
3.2.2 Tipos de Vehículos aéreos no tripulados.....	10
3.2.3 Tipos de despegue	12
3.2.4. Tipo de Sensores	12
3.3 Espacio Aéreo	13
3.4 Protocolo de Seguridad	14
3.5 Apoyo Topográfico	19
3.5.1 Sistemas de Posicionamiento y Navegación Global por Satélite	20
3.6 Sistemas Inerciales	21
3.7 Diseño y Planeación de vuelo	22
3.8 Ejecución del Vuelo	22
4. CAPÍTULO 2 - ÁREA DE ESTUDIO	23
4.1. LOCALIZACIÓN	23
5. CAPÍTULO 3 – METODOLOGÍA.....	25
5.1 APLICATIVO PARA EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES AÉREAS VANTs	25
5.1.1 Open Drone Map.....	26
5.1.2 Python.....	26
5.1.3 Docker.....	27
5.1.4 Flujo de Trabajo para la Instalación de ODM.....	27
5.1.1.1 Recomendaciones de Hardware.....	27
5.1.1.2 Desarrollo del Scripts.	28
5.2. ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN.....	30
5.3. CARACTERÍSTICAS DEL VANT UTILIZADO	30
5.5. PLAN DE VUELO	31

5.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	32
5.6.1. Orientación y dirección de las fotos aéreas	32
5.6.2. Generación de nube de puntos y clasificación.....	33
5.6.3. Generación de modelo digital de superficie y modelo de terreno.....	33
5.6.4. Generación de la red hídrica superficial.....	34
5.6.5. Generación de Ortofoto.	35
6. CAPÍTULO 4 - RESULTADOS	35
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
8. CAPÍTULO 6 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
9. BIBLIOGRAFÍA	48
10. ANEXOS – PASOS PARA LA INSTALACION DEL PROYECTO BASADO EN ESTRUCTURA OPEN DRONE MAPS	52
11. ANEXOS CARTOGRAFICO.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 DJI PHANTOM 4 PRO	11
Figura 2 EBEE PLUS.....	11
Figura 3 Sistema GEO de DJI.....	14
Figura 4 Funcionalidad RTK/PPK dron Ebee Plus	20
Figura 5 Mapa localización predio Quebrada Honda.....	24
Figura 6 Proceso Pix4D – Plan de Vuelo	32
Figura 7 MDT.....	36
Figura 8 Ortofotomosaico	37
Figura 9 Red Hídrica.....	38
Figura 10 Comparacion y diferencia en alturas entre modelo de elevación generado y topografía convencional.....	41
Figura 11 Muestra aleatorias de puntos de terreno	42
Figura 12 Comparación de Modelo de elevación generado vs modelo ASTER.....	43
Figura 13 Comparación de Modelo de elevación ASTER vs topografía convencional.....	44
Figura 14 Verificación de virtualización.	52
Figura 15 Adición de Anaconda a las variables de entorno.....	54
Figura 16 Creación de ambiente virtual por Anaconda Navigator.	55
Figura 17 Advertencia en el Kernel de Spyder.	57
Figura 18 Verificación de los elementos de Spyder	57
Figura 19 Instalación de contenedor ODM.....	58
Figura 20 Verificación de instalación de la imagen	59

LISTA DE IMÁGENES

Ilustración 1 Diagrama de flujo, funcionalidad y procesamiento de la información.	25
Ilustración 2. Escalas aplicadas a diferentes tecnologías.....	31
Ilustración 3 Representación cartesiana de los ángulos de Euler. El sistema XYZ nativo se muestra en azul, mientras que en rojo se muestra el sistema rotado definido por los ángulos en negro.	33
Ilustración 4 Método Fill o llenado de pixeles.....	34
Ilustración 5 Calculo de la red hídrica superficial	35
Ilustración 6 Comparación de la red hídrica	39
Ilustración 7. Comparación de la red hídrica existente vs la generada.	40

RESUMEN

El déficit creciente del recurso hídrico ha ocasionado que su gestión se haya vuelto cada vez más exigente en materia de políticas públicas, siendo de vital importancia la determinación de la oferta y demanda. El uso de nuevas tecnologías, que integran la más reciente información, la capacidad de análisis de nuevos sistemas de información y el manejo de gran cantidad de datos, permiten desarrollar nuevos métodos que planteen mejores soluciones a las ya conocidas y que finalmente apoyen a la toma de decisiones sobre planificación y gestión del recurso hídrico.

De acuerdo a lo anterior, el presente proyecto se centra en la utilización de vehículos aéreos no tripulados (VANT) y en el desarrollo de un algoritmo que realice las correcciones radiométricas, geométricas y topográficas pertinentes de las imágenes aéreas obtenidas por VANTs; como la generación de un modelo digital de terreno (MDT), insumo primordial para la generación de cartografía hidrológica superficial. El resultado obtenido pretende ser una herramienta de utilidad, para la gestión y manejo del recurso hídrico, con el fin, de que la disponibilidad de información sea de forma adecuada y suficiente, convirtiéndose en una fuente de información coherente y confiable para el estudio en detalle de los procesos hidrológicos.

Palabras claves: VANT, algoritmos, cartografía hidrológica, correcciones radiométricas y geométricas, generación de un MDT.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda del agua es ocasionado generalmente por el crecimiento y concentración de la población, los cambios en los patrones de consumo, la contaminación y la falta de controles ambientales; en consecuencia, se pronostica para los próximos años la escasez del recurso en forma no cuantificada aun, lo cual ha contribuido a poner el tema de gestión del recurso como un aspecto primordial en la agenda política internacional (Comisión Europea, 2003).

Con lo anterior el recurso hídrico es un factor importante para el desarrollo de los seres vivos, involucrando elementos ambientales que actúan de manera conjunta e interrelacionados. La modificación de algunos de estos elementos (atmósfera, suelo, vegetación, agua) puede ocasionar un desequilibrio ambiental; por lo tanto, es importante realizar evaluaciones del aprovechamiento de cualquier recurso, sobre la disponibilidad del mismo, entendiendo por esto la cantidad de agua que se puede utilizar conforme a su capacidad de recuperación, de tal forma que no ocurra un desequilibrio en las condiciones originales en el ciclo (Maderey & Jiménez, 2001).

La estimación del recurso hídrico se puede llevar a cabo a partir de datos meteorológicos que permitan considerar su oferta y datos que permitan considerar las pérdidas (López & Delgado, 2009).

La oferta o ganancia está representada principalmente por la precipitación, mientras que las pérdidas se representan por el agua consumida por la vegetación, el agua evaporada directamente hacia la atmósfera desde el suelo, la interceptada por la vegetación y evaporada desde su superficie, el agua que se evapora desde las superficies de agua libre y el agua que se percola profundamente. La textura del suelo en los diversos horizontes o sustratos, refleja la distribución en el tamaño de poros lo que condiciona la cantidad de agua que se retiene o percola en cada nivel; esto corresponde a la identificación de la capacidad de infiltración en un determinado tipo de suelo. (Martínez, et al., 1994).

La gestión de los recursos hídricos en la actualidad hace un gran uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este recurso informático tiene la capacidad de integrar y procesar gran cantidad de datos geográficos y temporal proveniente de diversas fuentes de adquisición. Además de presentar los datos en los mapas para una fácil visualización (Calera et al., 1999).

Por ende, los sistemas de información geográfica SIG se han convertido en los últimos años en una herramienta muy empleada y eficaz en los estudios hídricos. Los SIG facilitan la fase de adquisición, manipulación, análisis y presentación de la información espacial, mediante el almacenamiento e informatización de información geo-referenciada.

En este contexto una de las herramientas utilizadas en los sistemas de información geográfico son los Modelos Digitales del Terreno (MDT), convirtiéndose en pieza fundamental para el estudio y modelización de un gran número de aplicaciones en Hidrología (Almorox Alonso, Hontoria Fernández, & Saa Requejo, 2001). La

adquisición de los MDT ha evolucionado de acuerdo al avance de tecnologías, desde topografía convencional, pasando por imágenes satelitales y finalmente por sensores a bordo de los vehículos aéreos tripulados y no tripulados.

Teniendo en cuenta este enfoque se plantea como objetivo, realizar un estudio que mediante el uso de tecnología VANT (Vehículos Aéreos No Tripulados), generar insumos que permitan modelar algunos de los factores que determinan las condiciones del recurso, poder analizar conflictos y la distribución por parte de usuarios que aprovechan el agua para su sustento.

Es así como la tecnología VANT se propone como una de las fuentes para determinar un mejor desarrollo y manejo del recurso agua, así mismo contar con una herramienta automatizada que sirve como insumo para la generación de las correcciones radiométricas, geométricas y topográficas de imágenes obtenidas y de esta forma lograr una cartografía hídrica superficial que permita a las autoridades encargadas la toma de decisiones sobre los conflictos que se presentan por distribución y captación del recurso.

El desarrollo de esta tecnología permitirá proporcionar información de una manera rápida y confiable para:

- a. Disponer, procesar y analizar la información geográfico-estadística como apoyo en el funcionamiento del agua.
- b. Integrar la información hídrica y de operación al SIG para la toma de decisiones en el manejo del agua.

Finalmente, se espera generar resultados que mediante la información cartográfica hídrica permita determinar la variabilidad temporal del recurso y sirva como análisis para el manejo y control adecuado que conlleven a garantizar la disponibilidad del recurso agua.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Construir el protocolo para el levantamiento de cartografía hidrológica superficial a través de un modelo digital de terreno con base en información capturada con vehículos aéreos no tripulados (VANT).

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar una guía metodológica para la selección de equipos, procedimientos, logística y evaluación de calidad en el levantamiento de cartografía hidrológica superficial con los vehículos aéreos no tripulados (VANT).
- Desarrollar una aplicación para realizar las correcciones radiométricas, geométricas, atmosféricas y topográficas en caso que sean necesarias para las imágenes obtenidas mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT).
- Elaborar cartografía hidrológica superficial (drenaje y espejos de agua) mediante las imágenes obtenidas con tecnología VANT, en una zona de estudio a determinar.

3. CAPITULO 1 – ANTECEDENTES

3.1 Cartografía hidrológica

La cartografía hidrológica es una representación gráfica que contempla la recopilación, integración, interpretación y análisis de la información básica y verificación de campo que permiten observar la condición y el comportamiento actual de las aguas subterránea y superficiales.

La cartografía hidrológica se determina metodológicamente partiendo de la recopilación de información básica y de campo, mediante un proceso de superposición y confrontación de datos del cual se obtiene aquellos datos necesarios que intervienen en el comportamiento del agua, con el fin de determinar los elementos necesarios para la interpretación y análisis de la situación actual de todos los factores naturales de las zonas de estudio.

La determinación de las redes de drenaje y cauces de escorrentía superficial es de importancia pues conduce a realizar una caracterización y diagnóstico del recurso hídrico, lo que permite establecer los direccionamientos para la protección, preservación y aprovechamiento del recurso.

3.2 Vehículos Aéreos no Tripulados (VANTs)

Los Vehículos Aéreos no Tripulados – VANTs, son aeronaves que vuelan sin tripulación, capaces de sostener un nivel de vuelo controlado, propulsado por uno o varios motores. Aunque existe una amplia variedad de formas, tamaños y características, se identifican dos (2) categorías principales: en primer lugar, aquellos que son controlados de manera remota y, en segundo lugar, los que vuelan de forma autónoma sobre un plan de vuelo programado previamente.

Del mismo modo, existen una serie de Vehículos Aéreos no Tripulados que cuentan con rotores del estilo de los helicópteros y otros que son del tipo avión, conocidos también como aparatos de ala fija, con un medio de propulsión, y de un tamaño considerablemente menor que los aviones típicos. Los VANTs o Drones de ala rotativa, al contar con giroscopios y estabilizadores, así como sistema de posicionamiento global - GPS, se pueden mantener en el mismo sitio sin variar la posición, pudiendo así tomar fotos y/o video y algunos otros datos que dependen de los sensores que tengan instalados (Vázquez Paulino & Backhoff Pohls, 2017).

3.2.1 Autonomía de vuelo

La capacidad de sustentación de vuelo o tiempo de vuelo es una de las falencias de estos equipos. Los equipos no tripulados son aeronaves que funcionan

generalmente con baterías de litio, alcanzando una duración de vuelo que incluye despegue y aterrizaje de las aeronaves de aproximadamente veinticinco (25) minutos hasta de dos (2) horas, según el tipo de aeronave.

3.2.2 Tipos de Vehículos aéreos no tripulados.

Actualmente, en el mercado existen diferentes tipos de Vants o RPAS (por su abreviación del inglés Remotely Piloted Aircraft System) o comúnmente llamados Drones, entre los que se distinguen los Multirotor y/o RPAS de Ala Fija.

VANTs MULTI-ROTOR

Los VANTs MULTI-ROTOR son dispositivos que tienen más de dos (2) motores, su ventaja principal es la capacidad de mantenerse de forma estática en el aire realizando sus operaciones correspondientes, donde las fuerzas de suspensión se logran mediante el giro de hélices en sentido horario y anti-horario. Otras de las características importantes, son que el despegue y el aterrizaje son de forma vertical lo cual minimiza la necesidad de espacio, otra ventaja es la precisión de vuelo, ya que se tiene la posibilidad de volar en cualquiera de las tres dimensiones y además posee mayor capacidad de carga (Lorduy Hernández, 2017).

Uno de los equipos multi-rotor más conocidos en el mercado es el DJI PHANTOM 4 PRO, que es un modelo con una autonomía de vuelo de 30 minutos y rango de control de 3,5 km. Este modelo alcanza una velocidad de 72 km/h y tiene una resolución de video de 60 fps (frames per second – cuadros por segundo) y 4K¹ y alcance de los sensores de 30 m, además de detección de obstáculos en cinco direcciones. Este dispositivo incorpora una cámara con un sensor de 20 megapíxeles por 1 pulgada capaz de grabar vídeo en 4K / 60 fps y tomar imágenes en ráfaga a 14 fps. El sistema FlightAutonomy agrega sensores dobles de visión trasera y sensores infrarrojos para un total de 5 direcciones de detección de obstáculos y un sistema anticolidión en 4 direcciones (Dji, 2017).

¹ La Resoluciones 4K, 2K y 1080p indica la calidad de la imagen por cantidad de pixeles, donde K se refiere a la abreviación de mil y de esta forma la resolución 4K se refiere a 4000 pixeles, 2K a 2000 pixeles y 1080p a 1920 x 1080 pixeles siendo esta la más cercana a la 2K.



Figura 1 DJI PHANTOM 4 PRO

(Fuente: <https://www.dji.com>)

RPAS DE ALA FIJA

Este grupo son los llamados o comúnmente conocido como “aviones”, debido a la capacidad de planear para llevar a cabo operaciones de más distancia. Su principal ventaja es que tienen mayor autonomía de vuelo y pueden alcanzar altas velocidades con una mayor resistencia a la temperatura, viento y lluvia, pero una desventaja es que su método de aterrizaje y despegue debe ser de forma manual (Lorduy Hernández, 2017).

Actualmente, se encuentran en el mercado equipos con despegue vertical, apoyados de hélices que permiten hacer este tipo de maniobras.



Figura 2 EBEE PLUS

(Fuente: [https:// www.sensefly.com](https://www.sensefly.com))

3.2.3 Tipos de despegue

Los vehículos aéreos no tripulados cuentan con dos formas de despegue como de aterrizaje, de tipo horizontal como vertical, las aeronaves con despegue horizontal son las aeronaves conocidas como Alas Fijas ya mencionadas, esto debido a su envergadura similar a la de un avión, necesita de una zona que permita tener una proyección de vuelo despejada, siendo lanzadas por catapultas o aplicando fuerza humana.

Las aeronaves con despeje vertical son todas aquellas llamadas multi-rotor, dado a la similitud de su envergadura con los helicópteros, actualmente se desarrollan aeronaves de Ala fija con rotores en su envergadura que permiten dar esta misma condición a estos equipos, ya que en zonas de difícil acceso puedan ser manipulados y no necesiten de una zona despejada para su vuelo.

3.2.4. Tipo de Sensores

Conforme los Vant's o drones han ido evolucionando en tamaño, forma, capacidades y, sobre todo, 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 altímetros. 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 Vant, debido a que son los componentes que capturan todo el cúmulo de datos requeridos para determinado proyecto.

Los sensores fotográficos o de video detectan la radiación electromagnética. El espectro electromagnético incluye rayos gamma, rayos X, ultravioleta, visible, infrarroja, microondas y ondas de radio. La diferencia entre estos diferentes tipos de radiación es su longitud de onda o frecuencia. Sólo una pequeña sección de este rango es visible a los ojos del ser humano (alrededor de 350 nm a 720 nm). Sin embargo, los sensores pueden detectar lo que las personas no pueden y mostrarlo para ser analizado o interpretado. (Vázquez Paulino & Backhoff Pohls, 2017).

Las cámaras o sensores óptico para los Vant's es recomendable tener un mínimo de distorsión para obtener buenos resultados fotogramétricos y, por lo tanto, contar con una excelente óptica como consecuencia de ello, es por esto que una cámara de alta calidad con una lente fija siempre superará a una cámara compacta con un zoom digital. Cuando se obtienen fotografías generadas a través de una cámara instalada en un VANT con GPS, y sí la imagen se encuentra referenciada geoespacialmente, al procesarla y generar un mosaico de imágenes se pueden obtener diversas resoluciones en el terreno, que van desde algunos milímetros

hasta 20 cm, dependiendo del tipo de cámara, formato, tipo de lentes, altura de vuelo, distancia focal y tamaño del pixel. (Vázquez Paulino & Backhoff Pohls, 2017).

3.3 Espacio Aéreo

El espacio aéreo se determina como la columna de aire sobre un territorio y un mar territorial de un Estado. En mucho tiempo se consideró que estaba sometido a la soberanía de un Estado sin límite superior alguno, pero hoy está dividido en espacio atmosférico y espacio ultraterrestre. El primero está sujeto a la soberanía de un Estado que lo domina, mientras que el segundo está considerado como libre, común a todos. No puede trazarse un límite neto entre los dos, pues las características físicas del primero se atenúan lentamente, a medida que aumenta la altitud y que las características físicas del segundo comienzan a aparecer. De manera general, puede admitirse que el espacio atmosférico llega hasta los 400 km, altitud por encima de la cual comenzaría el espacio ultraterrestre. (FAC, 2020)

Para determinar el espacio aéreo es necesario anunciar el tipo de actividad que se llevará a cabo ante la Aeronáutica Civil Colombiana, de esta forma determinar cualquier tipo de actividad del espacio aéreo, para esto se deberá obtener un permiso oficial, como mínimo cinco (5) días antes de llevar a cabo cualquier operación en el aire.

El Acuerdo 002 de 2015 ampara la prohibición de sobrevolar núcleos urbanos o espacios con una alta masificación de gente sin el consentimiento especial por parte de la Aeronáutica Civil para garantizar la Seguridad Aérea. Así mismo, se pueden encontrar zonas con mayores restricciones aéreas tales como lugares cercanos a aeropuertos, centros poblados, estaciones militares y de policía, centrales eléctricas y centros de reclusión.

Estas zonas no prohíben la ejecución de vuelos, pero en algunos equipos Vant, activan advertencias de acuerdo a los softwares utilizados para la manipulación de la aeronave, un claro ejemplo de estas zonas restringidas son las que enseña el programa para los Vant de marca DJI, que cuentan con un sistema denominado GEO, permitiendo ver cuáles son las zonas restringidas o zonas con advertencias como se ilustra en la figura 3.

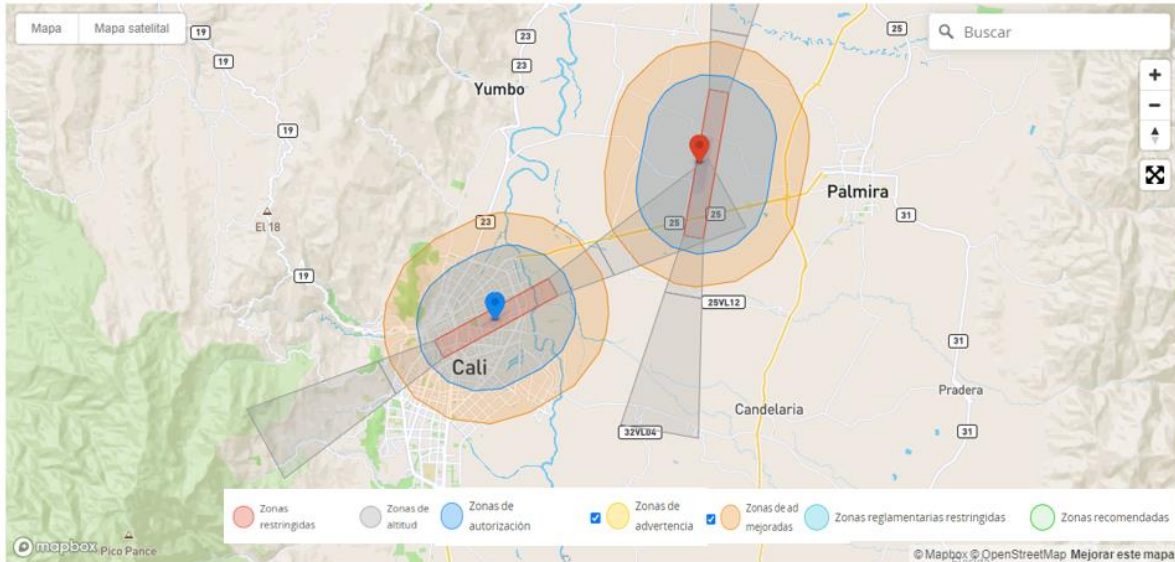


Figura 3 Sistema GEO de DJI

(Fuente: <https://www.dji.com/flysafe/geo-map>)

3.4 Protocolo de Seguridad

El pilar fundamental en el que se ha basado el Ministerio de transporte para la realización de la normativa de uso de drones civiles en Colombia es la seguridad. Por ello es importante disponer de un manual de operaciones siguiendo el estándar proporcionado por la Aeronáutica, así como un estudio de seguridad de cada una de las operaciones a realizar.

A continuación, se describen pasos fundamentales que se deben de tener a la hora de realizar un vuelo:

➤ Documentación

La documentación permite controlar la manipulación de los equipos de vuelo no tripulado, que es necesario para brindar mayor cobertura de seguridad al espacio aéreo. Dichos equipos dependiendo el uso que le den o su manipulación puede constituirse en un riesgo latente; para ello se implementa un marco normativo, con la siguiente documentación se busca que los pilotos cumplan a cabalidad los parámetros establecidos para que el uso de estas aeronaves se lleve a cabo de forma adecuada y segura con el fin de garantizar la seguridad e integridad de los colombianos

- ✓ Verificación de vigencia de la inscripción de la empresa explotadora de RPAS ante la Aerocivil.

- ✓ Verificación de vigencia de la inscripción de los pilotos como operadores de RPAS en la categoría seleccionada para la ejecución de la operación.
- ✓ Permisos de sobrevuelos si se requiriera.
- ✓ Pagos de Seguridad Social y ARL de los integrantes del equipo.

➤ **Sensores A Utilizar:**

Los equipos de vuelo no tripulado deben tener buenos sensores para aumentar la capacidad de control, para desplazarse, para detectar objetos y evitar colisiones cuando estén en movimiento, así como su utilidad y para aterrizar de forma segura.

- ✓ Peso bruto de carga paga.
- ✓ Requerimientos adicionales para operar.

➤ **Baterías:**

Existen varios tipos de baterías utilizadas en los drones, más sin embargo siempre se debe manejar la fuente de alimentación que sea lo más eficaz posible demanda de un rendimiento eficiente del dron, para obtener esto se requiere minimizar el tamaño y peso de la batería

- ✓ Definición del tipo de baterías a utilizar por tamaño del área a levantar.

➤ **Equipo de Control de RPAS**

- ✓ Verificación de equipo de cómputo para control de RPAS.

➤ **Software:**

- ✓ Verificación de vigencia y operación de los programas de cómputo requeridos.

➤ **Verificación Área De Trabajo:**

- ✓ Verificación de áreas restringidas para sobrevuelos Centros Urbanos
- ✓ Aglomeraciones de gente
- ✓ Bases Militares y de Policía

- ✓ Desde o en cercanías de Aeródromos (Mínimo 5 km de distancia)

➤ **Planes De Vuelo:**

Para la obtención de una buena generación del producto ortofomosaico, es el diseño del plan de vuelo, para ello es necesario el uso de software que mejor se acople a la aeronave a utilizar, actualmente en el mercado existen programas que son gratuitos u de pago, así mismo es necesario tener ciertas características según las condiciones o precisiones que se requieran, como, por ejemplo:

- ✓ Verificación de altura de vuelo máxima propuesta (No mayor a 123 mts)
- ✓ Verificación del radio de operación máximo planeado (No mayor a 750 mts)
- ✓ Verificación del GSD (Ground Sample Distance) final para el proyecto.
- ✓ Selección del área de operaciones virtual.
- ✓ Selección del área de aterrizaje de emergencia alterno, virtual.
- ✓ Linderos definidos del área a levantar.

➤ **Mantenimiento de los RPAS**

El funcionamiento y generación de buenos productos obtenidos con drones es en parte el manteniendo de los equipos, esto permite tener el equipo calibrado y de garantizar de gran parte evitar un accidente ocasionado por estas aeronaves, por ende, se recomienda:

- ✓ Reporte de mantenimiento correctivo y preventivo de los RPAS, antes de cada proyecto.

➤ **Personal:**

Para garantizar la operación de estos equipos, salvaguardando los accidentes que estos pueden ocasionar es necesario contar con un personal idóneo como se menciona a continuación:

- ✓ Piloto Principal
- ✓ observador.

➤ **Equipos y Accesorios Requeridos para la Operación.**

- ✓ Check list del inventario de equipos y accesorios requeridos para la ejecución del proyecto.

➤ **Vehículos:**

- ✓ Check list de mantenimiento y operación del vehículo.

➤ **Apoyo Topográfico**

- ✓ Verificación de apoyo terrestre en inmediaciones del área del proyecto
- ✓ Certificados de coordenadas oficiales del IGAC.

➤ **Revisión De Clima**

- ✓ Pronósticos del clima oficiales.

<http://www.canalclima.com/satelites/>

<http://www.ideam.gov.co/>

<https://www.simfac.mil.co/news.php>

[App Store: UAV Foretcast](#)

➤ **Mediciones Velocidad del Viento**

Mediciones de vientos cronológicos en el área de trabajo si se dispusiera de ellos, para ello existe actualmente programas o equipos para este tipo de medición, uno de los software más utilizados y recomendado es el UAV FORESTCAST, programa que no solo brinda las mediciones meteorológicas como viento o clima, sino que además brinda información de los estados de satélite, condiciones de temperatura o radiaciones que se presente en la zona de estudio que puedan afectar la electrónica de los equipos Vants.

➤ **Ejecución de los Sobrevuelos**

La ejecución de un plan de vuelo es necesario de contar con lo mencionado anteriormente, sin embargo, se describe las actividades necesarias para la operación y puesta en marcha de un equipo DRON garantizando seguridad del equipo, seguridad de la zona volada y garantizar la precisión de vuelo.

Charla pre-operativa para tratar temas de seguridad ocupacional, seguridad física, roles de cada uno de los miembros del equipo de trabajo de vuelos para la misión específica a efectuar, esta se impartirá por parte del Director de Proyecto o en su defecto por el Piloto RPA.

➤ **Verificación de operatividad de equipos RPAS**

- ✓ Chequeo del material del cuerpo central y/o de las alas para detectar fisuras o daños que impidan la operación o la ponga en riesgo
- ✓ Verificar que la sonda del Pitot está correctamente conectada y que la sonda esté libre de obstrucciones (este ítem para equipos que cuenta con este sistema)
- ✓ Verificar que el sensor de obstáculos esté libre de obstrucciones
- ✓ Verificar que la lente del sensor este limpia.
- ✓ Verificar que los tubos que sostienen las alas al cuerpo central no estén quebradas o dañadas, si hay quebraduras, pueden presentarse siniestros de la aeronave. (Struts) (Para equipos de Ala fija).
- ✓ Verificar que la conexión de la batería se encuentre en perfecto estado y conectados apropiadamente.
- ✓ Verificar que las propelas se encuentren en buen estado y colocadas correctamente.
- ✓ Verificar que los soportes de los dos servos se encuentren alineados y en buen estado (Para equipos de Ala fija).
- ✓ Verificación de carga de baterías
- ✓ Verificación de sensores a utilizar
- ✓ Medición de vientos
- ✓ Revisión del clima
- ✓ Definición del Home Point (Área segura del RPA)
- ✓ Revisión del plan de vuelo proyectado y modificación si se requiriera.
- ✓ Revisión del tráfico aéreo (tripulado) en la zona de trabajo
- ✓ Definición de los radios de acción de la operación por cada vuelo, este no debe exceder una altura máxima de 123 mts y un radio de operación de 750 mts en la mayoría de los casos cuando se opere solo con un Piloto RPA, para casos diferentes se podrá duplicar el

radio de acción a 1500 mts operando con Piloto RPA más Observador a Distancia RPA.

- ✓ Ejecución de la misión (vuelo o vuelos proyectados en el área de trabajo)
- ✓ Descarga de datos de los equipos
- ✓ Descarga de datos de vuelo
- ✓ Inventario de equipos y accesorios utilizados
- ✓ Embalaje de equipos
- ✓ Procesamiento en modo rápido de la información
- ✓ Verificación de completitud y calidad de los datos.
- ✓ Levantamiento del apoyo topográfico
- ✓ Cierre de la misión.

3.5 Apoyo Topográfico

El apoyo topográfico dispone de referencias o señales en toda la superficie a fotografiar para la obtención de los puntos de apoyo con coordenadas G.P.S. (Sistema de Posicionamiento Global). Estos puntos servirán para transformar el modelo fotogramétrico en modelo del terreno.

Las precisiones de los puntos de apoyo deben ser acordes con la escala del producto. Además de obtener la posición de los puntos sobre el terreno, estos también deben identificarse claramente en las fotografías, lo que permite establecer una correcta correlación, como la evaluación de la calidad de los productos esperados.

Actualmente, existen equipos con tecnología RTK (navegación cinética satelital en tiempo real) y PPK (procesamiento cinemático) que permite obtener información más precisa de los datos obtenidos, sin embargo, no se exime de tener errores de posicionamientos, por ende, es recomendable tener puntos sobre el terreno identificables que permitan dar una orientación sobre los errores y de esta forma permita hacer un ajuste a la información.

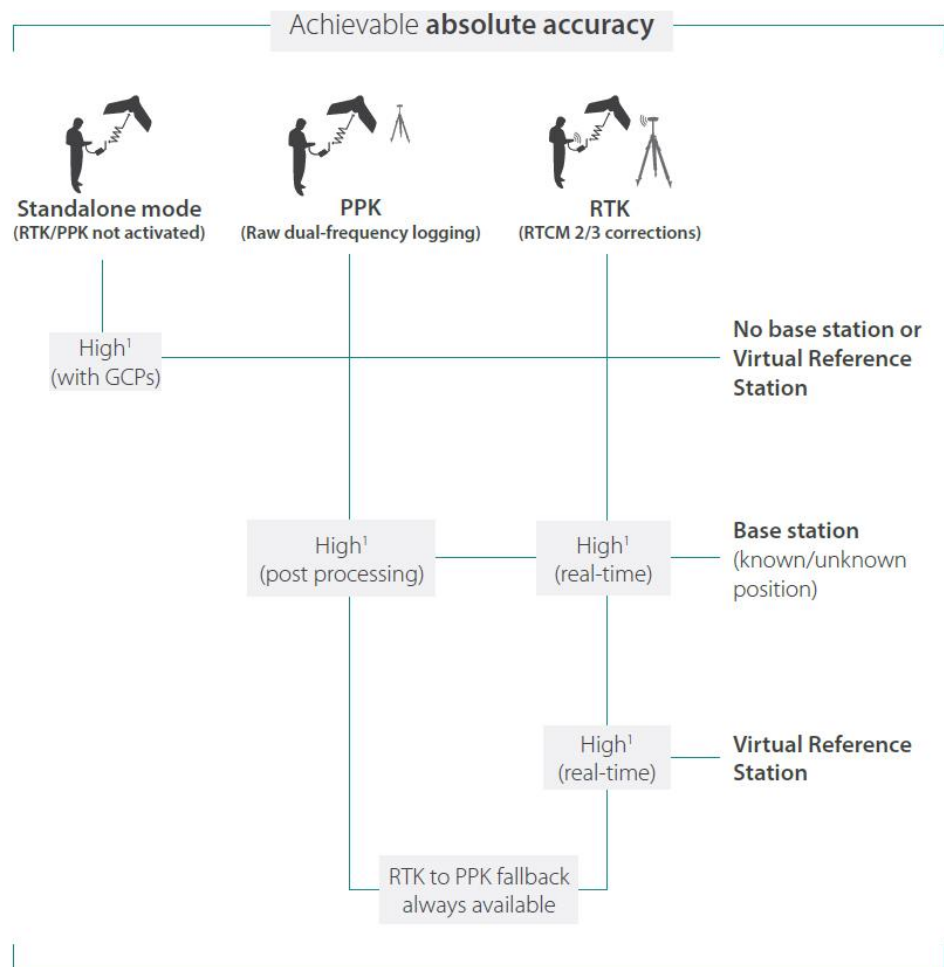


Figura 4 Funcionalidad RTK/PPK dron Ebee Plus

(Fuente: [https:// www.sensefly.com](https://www.sensefly.com))

3.5.1 Sistemas de Posicionamiento y Navegación Global por Satélite

GNSS (Global Navigation Satellite System), es el acrónimo que se refiere al conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite que proveen de posicionamiento geoespacial con cobertura global de manera autónoma.

Los orígenes del GNSS se sitúan en los años 70 con el desarrollo del sistema militar estadounidense GPS, destinado al guiado de misiles, localización de objetivos y tropas etc. A través de una red de satélites, un receptor de GNSS es capaz de determinar su posición en cuatro dimensiones (longitud, latitud, altitud, y tiempo), lo que ha dado lugar a multitud de aplicaciones civiles y militares.

Se entiende por GNSS, al conjunto de sistemas de navegación por satélite, como son el GPS, GLONASS y el reciente Galileo. Es decir los sistemas que son capaces de dotar en cualquier punto y momento de posicionamiento espacial y temporal, Sin embargo, el concepto de GNSS es relativamente reciente, puesto que su historia comienza en los años setenta (70) con el desarrollo del sistema estadounidense GPS, que como ya se ha mencionado, tuvo en sus orígenes aplicaciones exclusivamente militares, y su cobertura a pesar de ser mundial, no era, como hoy se entiende "Global", es decir, era un sistema de uso exclusivamente militar cuyo control estaba bajo el DoD (Department of Defense) de los Estados Unidos, y sometido a un estricto control gubernamental. (Álvarez, 2008).

3.6 Sistemas Inerciales

Los equipos VANTS cuentan con equipos inerciales, que son todos aquellos que sujetan el sensor fotogramétrico.

Los Sensores Inerciales IMU (Inertial Measuring Unit) miden la variación de rotación (giróscopos) y la aceleración (acelerómetros).

La Navegación Inercial utiliza giróscopos y acelerómetros para mantener una estimación de la posición, velocidad, actitud y variación de actitud del vehículo en el que están los sensores.

Un Sistema de Navegación Inercial (INS) consiste en una unidad de medida inercial que incluye los sensores ligados a una plataforma común para mantener las mismas orientaciones relativas y un ordenador para procesar estas medidas o cualquier otro cálculo. Hay diferentes tipos de INS y se clasifican en gimbaled y strapdown. El sistema gimbaled pretende aislar la plataforma con los sensores inerciales de los movimientos de rotación externos.

Las plataformas gimbaled están sujetas a un marco rígido que rota de tal manera que aísla el interior de la plataforma de rotaciones externas con los ejes del cuerpo. Generalmente es imposible alcanzar un nivel de aislamiento perfecto y siempre rota algo.

El sistema strapdown donde los ejes de los sensores están alineados con los ejes de un automóvil. Necesita mayor capacidad de cálculo ya que es necesario "aislar virtualmente" las medidas de los sensores al sistema de referencia inercial.

3.7 Diseño y Planeación de vuelo

Esta fase, en la que se decide la altura de vuelo, traslape de fotos, velocidad del Vants y la cámara usada, es de vital importancia para conseguir imágenes con la resolución adecuada. Es necesario tener en cuenta el objetivo, ya que esto influye sobre la altura y velocidad de vuelo y a su vez ésta determina la resolución espacial de la imagen, el número de imágenes necesarias para cubrir la zona de estudio y la duración del vuelo, aspecto muy importante para evitar problemas con la autonomía del Vants.

Es importante al igual que la altura del vuelo el traslape de fotografías, es recomendable traslapes de 70% entre fotos, esto disminuirá el ruido de las fotos si se generan con traslapes mayores.

Una vez seleccionados los parámetros, se diseña el plan de vuelo con el software propio del VANTS y finalmente se implementa en el vehículo.

3.8 Ejecución del Vuelo

Tras el despegue y después de haber revisado el protocolo de seguridad, se activa la ruta de vuelo programada para que el vehículo comience automáticamente a recorrer la zona de estudio tomando numerosas imágenes hasta que lo ha sobrevolado por completo.

Durante todo el tiempo de vuelo el VANT's/RPAS envía a la estación base información sobre diferentes aspectos como: posición, estado de las baterías o potencia de los motores.

4. CAPÍTULO 2 - ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio ha sido seleccionada de acuerdo a que es uno de los predios más importante para la conservación ambiental del recurso hídrico del municipio de Santiago de Cali, el predio que se denomina Quebrada Honda forma parte de la cuenca alta del río Cali. La porción media del predio más alta constituye un parteaguas que drena principalmente hacia oriente, occidente y norte.

Entre los drenajes que dan hacia el costado occidental se destaca la quebrada limítrofe del predio denominada Los Karpatos y un poco más hacia el norte discurre la quebrada Los Duques, entregando ambas sus aguas al río Pichindé.

Hacia el costado nororiental se destaca el drenaje Quebrada Honda que le da nombre al predio y que desemboca también en el río Pichindé. Las tres quebradas principales tienen una red de drenajes menores profusa, que contribuye ostensiblemente a mejorar los caudales que nutren finalmente al río Cali. (DAGMA, 2017)

Dado lo anterior, se propuso esta área de estudio como investigación a este proyecto de grado, ya que, por su importante aporte del recurso hídrico de la ciudad, conto con la facilidad y disposición de obtener las capturas de imágenes con dron como fuente de información primaria.

4.1. LOCALIZACIÓN

Dentro de la cuenca del río Cali se encuentra la microcuenca quebrada Honda, con un área de 294,2 hectáreas, y una variación altitudinal entre los 1850 y 2250 msnm, es de resaltar que esta microcuenca hace parte del PNN Farallones de Cali. Es un área de importancia puesto que la red hídrica del predio constituye una de sus principales riquezas naturales, con importantes funciones en la sección alta de la cuenca del río Cali prestando valiosos servicios ambientales para la población caleña.

Según el artículo 10 del capítulo 11 del Decreto 2372 de 2010, sobre Categorías de Áreas Protegidas, Quebrada Honda, forma parte de las Áreas Protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas SINAP y es propiedad de la secretaría de Vivienda Social del Municipio de Cali y administrada por el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA). (DAGMA, 2017)

A continuación, se presenta el mapa del predio Quebrada Honda

5. CAPÍTULO 3 – METODOLOGÍA.

5.1 APLICATIVO PARA EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES AÉREAS VANTs

El presente capítulo exhibe el desarrollo de un aplicativo que implementa una estructura ejecutable para la instalación de un software sobre un conjunto de herramientas de código abierto y lenguaje de programación Python, utilizando la estructura de **Open Drone Map (ODM)**, con el fin de procesar todas las imágenes aéreas capturadas con un VANT, generando productos como lo son el Modelos Digitales de Terreno -MDT, Modelos Digitales de Superficie MDS, ortofotomosaico y un informe de procesamiento.

En la ilustración a continuación, se presenta la estructura con la que se procesaron las imágenes aéreas que se obtuvieron como insumo para el desarrollo de este proyecto.

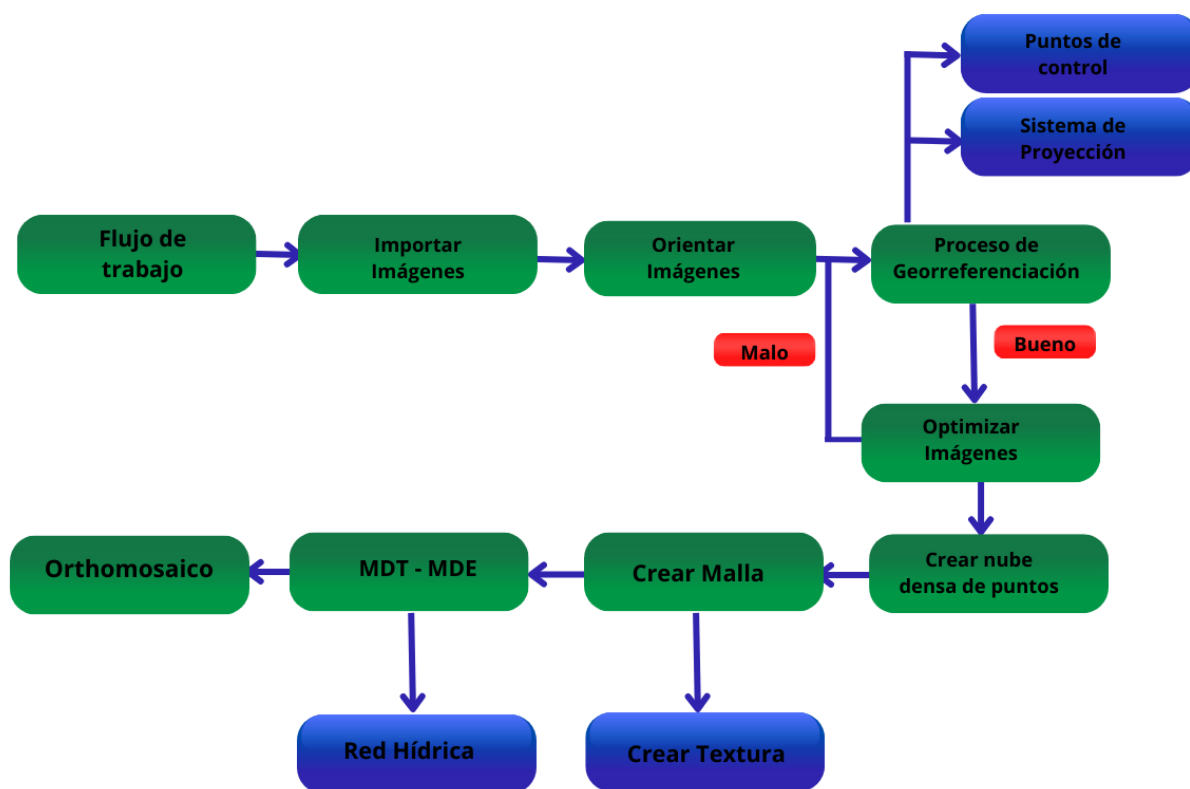


Ilustración 1 Diagrama de flujo, funcionalidad y procesamiento de la información.

Fuente: Propia.

5.1.1 Open Drone Map.

El proyecto Open Drone Map (ODM) es un conjunto de herramientas de código abierto para procesar imágenes aéreas de drones, tomándolas como entrada para generar variedades de productos georreferenciados, tales como:

- ✓ Nubes de puntos.
- ✓ Modelos con textura 3D.
- ✓ Imágenes georreferenciadas y ortorectificadas.
- ✓ Modelos Digitales de Elevación (DEM) y Modelos Digital de Terreno (DTM).

Este proyecto está disponible para sistemas operativos como Windows, Mac y Linux, con adaptación a scripts para usuarios avanzados. Para implementar las funciones debe instalar Docker y descargar al interior de esta la imagen del contenedor “opendronemap/nodeodm”.

El nodo ODM es una extensión del proyecto, materializada en un API estándar, con implementación de alto rendimiento escrita en NodeJS. Esta API da paso a diferentes utilidades en la que encontramos a PyODM.

PyODM, es una biblioteca de este proyecto adaptada al lenguaje de programación interpretado “Python”, en la que se puede generar los distintos productos mencionados anteriormente, mediante clases y funciones ya establecidas. Es importante resaltar que esta utilidad es un desarrollo activo que mejora constantemente. Si desea contribuir o consultar sus códigos, lo puede hacer mediante link de GitHub (<https://github.com/OpenDroneMap/>) (OpenDroneMap, 2021; OpenDroneMap Contributors, 2019).

5.1.2 Python.

Python es un lenguaje de programación orientado a objetos con propósitos generales, puesto que es simple, interactivo, versátil y permite un rápido desarrollo. Además, es posible usarlo en diferentes sistemas operativos como Windows, Mac o Linux para realizar desde aplicaciones web, tratamiento de diversos tipos de datos, automatización de operaciones, análisis de datos, entre otros. Por otra parte, al ser un lenguaje interpretado no es necesario compilar el código para poder ejecutarlo. Otras de las razones por las cuales este lenguaje se ha hecho conocido en los últimos años, es que cuenta con librerías de todo tipo con funciones avanzadas ya incorporadas y además es gratuito (Angel Alvarez, 2003).

5.1.3 Docker.

Docker, es una plataforma de software de tecnología de la información, que permite crear, testear e implementar apps rápidamente, ya que empaqueta software en unidades estandarizadas denominadas contenedores, estos incorporan todo lo necesario para el software se ejecute, incluyendo librerías, herramientas del sistema, código y tiempo de ejecución.

Esta plataforma funciona de forma similar a como una máquina virtual virtualiza el hardware del servidor, ya que los contenedores virtualizan el sistema operativo de un servidor, de esta forma, al ser instalado proporciona comandos simples para crear, iniciar o detener contenedores (Amazon Web Services, 2021).

5.1.4 Flujo de Trabajo para la Instalación de ODM.

Como se había mencionado anteriormente las funcionalidades están disponibles siempre y cuando se realice vía Docker, en Windows, los contenedores funcionan dentro una máquina virtual por lo que se presenta algo de sobrecarga, no obstante, no es un impedimento para que se ejecute correctamente. Los pasos y sugerencias descritos a continuación, fueron tomados y adaptados de OpenDroneMap, (2020).

5.1.1.1 Recomendaciones de Hardware.

Los requisitos mínimos para ejecutar el software son:

- ✓ CPU de 64bits fabricada durante o después del 2010.
- ✓ 20 GB de espacio en el disco.
- ✓ GB de RAM.

No más de 100-200 imágenes pueden ser procesadas con los requisitos mencionados anteriormente, ya que el software se quedaría sin memoria. Los requisitos aconsejados son:

- ✓ CPU de última generación.
- ✓ 100 GB de espacio en el disco.
- ✓ 16 GB de RAM.

Estos requerimientos permiten que algunos cientos de imágenes puedan ser procesadas sin ningún problema, además una CPU con más núcleos realizan un procesamiento más rápido, mientras que la tarjeta gráfica no tiene una influencia

significativa hasta el momento. Si necesita procesar más imágenes, debe asignarse más espacio en el disco, así como más memoria RAM.

5.1.1.2 Desarrollo del Scripts.

Originalmente la biblioteca PyODM, consta de 4 scripts denominados 'utils', 'types', 'exceptions' y 'api'. El primero, contiene clases y funciones para leer archivos iteradamente y convertir opciones de un diccionario a una cadena en JSON adecuada para pasar los argumentos mencionados en el punto 2.4 a la API NodeODM. El segundo, contiene clases y funciones para almacenar los argumentos en JSON, consultar información acerca de estos e información de las tareas ejecutadas, así como su estado al finalizarlas.

La tercera, contiene clases de excepciones considerando posibles errores del servidor del nodo, conexión al nodo, respuesta del nodo y error en la tarea. La última, contiene clases y funciones para que el usuario interactúe con el nodo, se conecte al nodo mediante la URL del puerto de nuestro ordenador, recupere información del nodo, cree una nueva tarea, recupere las opciones disponibles para ejecutar una nueva o reiniciarla, además de funciones de espera mientras que el nodo realiza el respectivo procesamiento para invocar los resultados y descargarlos en una ruta establecida.

La aplicación desarrollada consta de 3 scripts en lenguaje de programación Python relacionados entre sí y denominados 'install_lib_photodm', 'func_photo' y 'photogrammetry'. El primero instala las librerías que no requieren permisos altos o configuración adicional alguna pero que son necesarias para el adecuado funcionamiento de la app, los métodos usados son 'Pip', 'Conda' y 'Conda-forge', el segundo, contiene las diferentes funciones definidas para trabajar con los directorios, variables, almacenamiento y visualización de los resultados y el último, contiene la implementación de los scripts anteriores asignando los valores de las diferentes variables como rutas, parámetros de procesamiento odm, números enteros y flotantes, asimismo, tiene la capacidad para iniciar el contenedor y visualizar los resultados obtenidos, a lo largo del script se muestran mensajes que guían al usuario en el procesamiento.

Las librerías usadas para el desarrollo de esta aplicación fueron:

- Subprocess – Gestión de subprocesos:

Es una librería que permite ejecutar nuevos procesos, conectarse a sus pipes de

entrada/salida/ error y obtener sus códigos de resultados (Python Software Foundation,2021).

- Glob – Expansión del patrón de nombres:

Esta librería encuentra todos los nombres de rutas relacionados con un patrón asignado por el usuario, los resultados son retornados en orden arbitrarios (Python Software Foundation,2021).

- Numpy:

Es una librería especializada en el cálculo, manipulación y análisis numéricos, e incluso representación de los datos gracias a los arreglos (Alberca, 2020).

- Pandas:

Especializada en manejo y análisis de estructuras de datos, tales como, series, DataFrame y panel (Alberca, 2020).

- Tkinter:

La librería 'interfaz tk', es la interfaz por defecto de Python para el conjunto de herramientas (Python Software Foundation, 2021).

- Rasterio:

Rasterio es una librería que lee y escribe conjuntos de datos raster en cuadrícula como imágenes satelitales y modelos de terreno. Esta está basada en matrices numpy y GeoJSON (Proyecto rasterio, 2018).

- Exifread:

Esta librería es usada para extraer metadatos Exif de imágenes digitales, es decir, información propia de las imágenes y los parámetros con las que fueron capturadas (Cash & Bousch, 2020).

- Time:

Como su nombre lo indica, esta está ligada a varias funciones relacionadas con el tiempo, como tiempo de acceso y conversiones (Python Software Foundation, 2021).

5.2. ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN

La información utilizada para el desarrollo de este proyecto de grado fueron imágenes aéreas tomadas con VANTs, estudios topográficos e información secundaria de tipo vectorial (red de drenaje) y tipo Raster (Modelo digital de terreno Aster), requerida al Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente DAGMA, proveniente de estudios realizados en años anteriores, y se destaca que su proceso de entrega fue de forma asequible.

Adicionalmente, participe en el proceso para la construcción del plan de Manejo del predio Quebrada Honda y siendo la persona encargada de realizar los vuelos con VANT, con el propósito de contar con información primaria que sirviera como insumo para la construcción del Plan de manejo Ambiental del Predio.

Con el fin analizar y de discutir los resultados obtenidos de la metodología propuesta, no fue necesario el procesamiento de las imágenes aéreas de la extensión total del predio Quebrada la Honda, si no de la zona con mayor influencia del recurso hídrico.

5.3. CARACTERÍSTICAS DEL VANT UTILIZADO

Unas de las finalidades de este proyecto de grado eran de contar con una herramienta que me permitiera realizar un modelo digital de terreno como insumo para la generación de cartografía hidrológica superficial que se aproxime a la realidad, a un bajo costo, por ende, este proyecto de grado su enfoque se direcciono al uso de equipos asequibles al mercado

Es por eso que el VANT que se utilizó para este trabajo fue un Phantom 4, un equipo multirotor y con la especificación necesaria para obtener un buen resultado, las características de este equipo se mencionan en el capítulo 1 de antecedente.

5.4. ESCALA

La escala es una medida importante para los estudios a realizar, de esta forma se planea y se diseña el plan de vuelo, como altura, velocidad y traslape de fotos aéreas.

A continuación, se ilustra la aplicación de la escala para diferentes tecnologías.

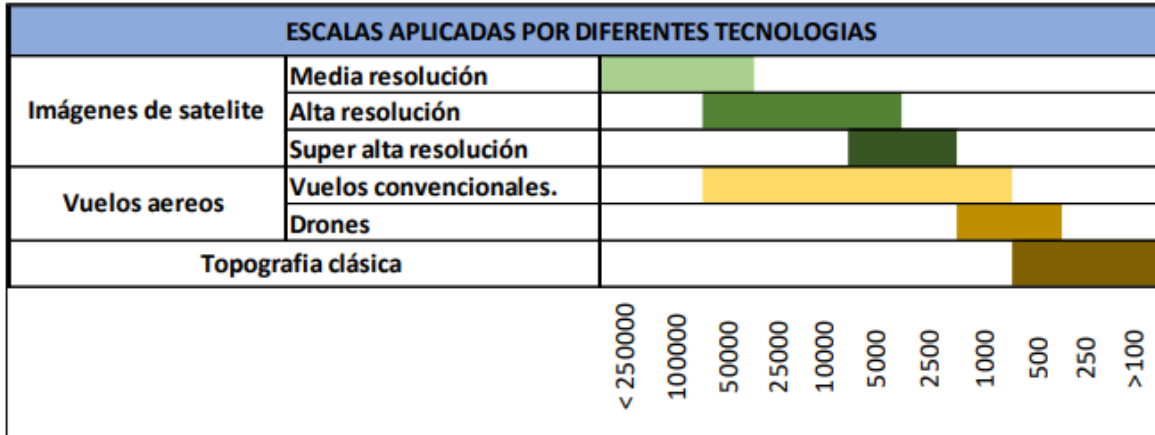


Ilustración 2. Escalas aplicadas a diferentes tecnologías.

Fuente: <http://fotogrametriapractica.blogspot.com/2015/03/uso-de-drones-para-la-actualizacion.html>.

5.5. PLAN DE VUELO

El diseño del vuelo se llevó a cabo en función de la resolución y de la escala que se pretendía obtener, dado al tipo de terreno, su ubicación, sus detalles, la extensión a relevar y condiciones meteorológicas imperantes, fundamentalmente la velocidad del viento, y dado que el equipo VANT utilizado no abarca áreas mayores a cincuenta (50) hectáreas, se programó en etapas de misión de vuelo variando los parámetros en función de la mejor cobertura que se pudiera obtener, para que finalmente se permitiera componer las imágenes tomadas a una altura de 150 metros con un 70% de superposición, con un tiempo de obturación de 1/200 s a una velocidad de 8 m/s, (DAGMA, 2017).

Los planes de vuelos fueron desarrollados en el software Pix4Dcapture, extensión gratuita de la familia de software Pix4D y Dronedeploy.

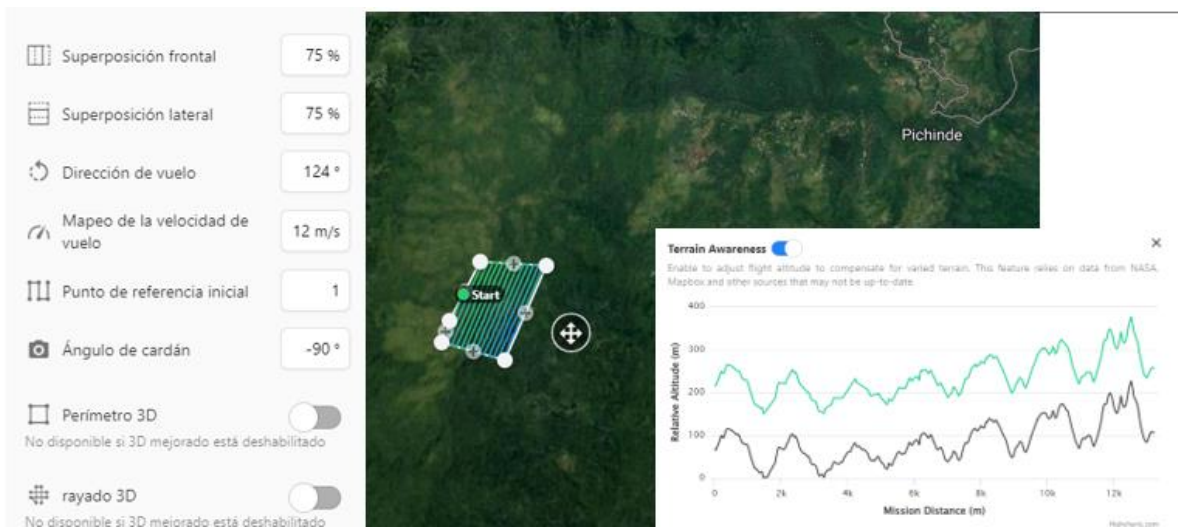


Figura 6 Proceso Dronedeploy – Plan de Vuelo

(Fuente: elaboración Propia)

5.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Los datos obtenidos del VANT,s fueron procesados con el algoritmo desarrollado basado en OPEN DRON MAP, al obtener los resultados del procesamiento se realizó la generación de la cartografía hidrológica superficial utilizando herramientas del Software SAGA, extensión del software QGIS, utilizados para el procesamiento de información geográfica, en el anexo a este documento se podrá conocer los pasos de instalación del ejecutable desarrollado en este trabajo de grado.

5.6.1. Orientación y dirección de las fotos aéreas

Consiste en la geolocalización o geo-etiquetado de las imágenes aéreas basadas en rotación y translación, así mismo cuenta con la identificación de elementos en el traslape de las fotografías, con el fin de permitir un cocido de las imágenes adecuado y de la orientación al sistema de coordenadas geográfico en tres dimensiones.

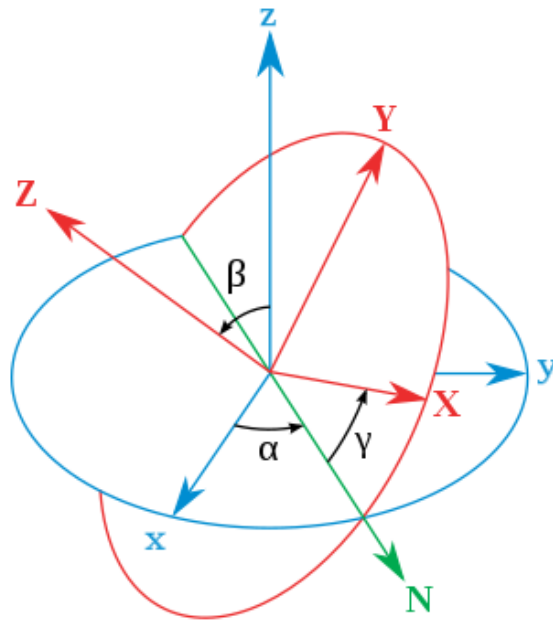


Ilustración 3 Representación cartesiana de los ángulos de Euler. El sistema XYZ nativo se muestra en azul, mientras que en rojo se muestra el sistema rotado definido por los ángulos en negro.

(Fuente: <https://geoasset.blog/2021/07/19/orientacion-parte-1/>)

5.6.2. Generación de nube de puntos y clasificación

Luego de la orientación y rotación al sistema de coordenadas XYZ, se procede a convertir las imágenes en sistema de nube de puntos, donde permite generar una clasificación de los mismos de acuerdo a patrones similares, es decir cada punto contiene información en RGB y en XYZ, estos pixeles como son denominados permiten identificar características en su parámetro, accediendo de esta forma tener una identificación de variables al entorno de la zona de estudios (suelos, vegetación, construcciones, etc).

5.6.3. Generación de modelo digital de superficie y modelo de terreno.

Con la clasificación de los puntos, se logra establecer los parámetros en la condición Z, o más conocido parámetro que determina la altura de terreno, este parámetro y según la clasificación de acuerdo a tonalidades en el RGB, permite generar el modelo MDS y MDT.

El MDS no tendrá en cuenta la clasificación de los puntos (clasificación RGB), sino que es generado a partir del sistema inercial XYZ, en tanto al MDT si considera el

sistema RGB y XYZ, logrando determinar cuáles de estos parámetros son los puntos más bajos, que finalmente se denominan puntos de suelo, excluyendo los demás puntos, el software hace una interpolación de estos, lo que permite la generación del modelo digital de terreno.

5.6.4. Generación de la red hídrica superficial.

Para la generación de la red hídrica superficial, es necesario contar con el modelo digital de terreno como insumo de entrada, la base de este proyecto es la generación de un buen modelo de terreno, que permita delimitar la red hídrica superficial de una zona de estudio.

El primer paso para la generación de la red hídrica es revisar el modelo y llenar aquellos sitios donde hay error en el modelo, determinado por los sitios donde alrededor de un píxel hay cambio abrupto en el modelo.

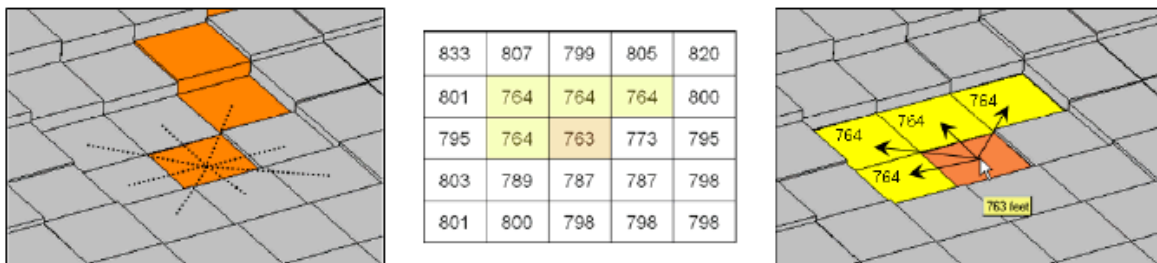


Ilustración 4 Método Fill o llenado de píxeles

(Fuente: Documento no especificado de internet)

Una vez obtenido el archivo corregido se realiza la operación de Dirección de flujo, y las áreas acumuladas, donde determina cual es el valor de gradiente más bajo y por donde establece el flujo hídrico superficial.

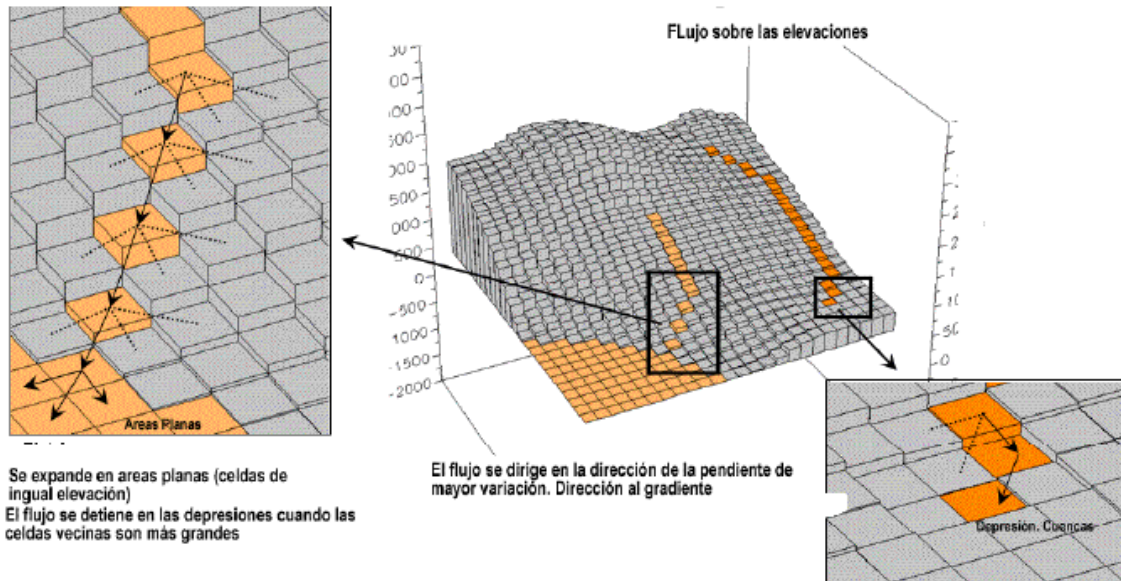


Ilustración 5 Cálculo de la red hídrica superficial

(Fuente: Documento no especificado de internet)

5.6.5. Generación de Ortofoto.

Finalmente, después de generar los procesos anteriores se procede a la generación de la orto-fotogrametría, la generación de un buen modelo de terreno no solo permite la generación de la red hídrica, sino que también garantiza la orto-rectificación de la imagen, eliminando las distorsiones geométricas causadas por la perspectiva de cada fotografía.

6. CAPÍTULO 4 - RESULTADOS

6.1 Modelo digital de superficie

El modelo digital de superficie (DSM, por sus siglas en inglés), representa todos los elementos físicos presentes en determinada superficie de la tierra, entre los elementos podemos encontrar edificaciones, vegetación, rocas, entre otros (OpenDroneMap, 2020).

6.2 Modelo digital del terreno

El modelo digital de terreno (DTM, por sus siglas en inglés), representa el terreno de determinada superficie de la tierra sin los elementos físicos mencionados anteriormente, en otras palabras, los elementos removidos son los elementos que no corresponden netamente al terreno, de esta forma, la estimación del DTM se basa en el DSM (OpenDroneMap, 2020).

En la figura a continuación, representa el modelo de terreno obtenido a partir de las fotos capturadas con Phantom 4, en este sentido se representa el modelo de terreno con la red hídrica que se generó a partir de este (Anexo archivo cartográfico).

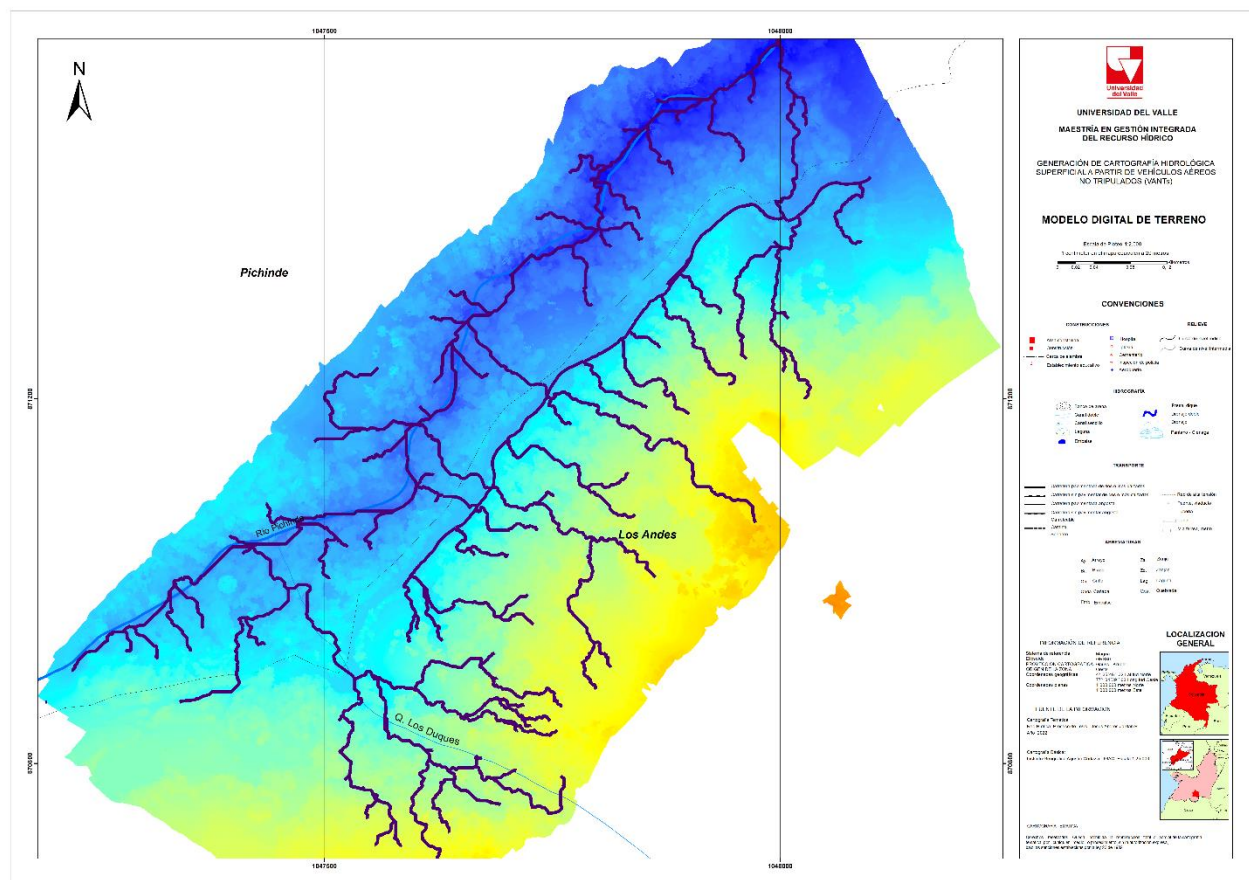


Figura 7 MDT

(Fuente: elaboración Propia)

6.3 Ortofoto

La ortofoto u ortomosaico, es un mosaico de imágenes digitales al que se le ha aplicado una ortorectificación para eliminar las distorsiones geométricas causadas por la perspectiva de cada imagen y así generar un producto en el que se puedan realizar mediciones del mundo real con una precisión determinada (Anexo archivo cartográfico) (OpenDroneMap, 2020).

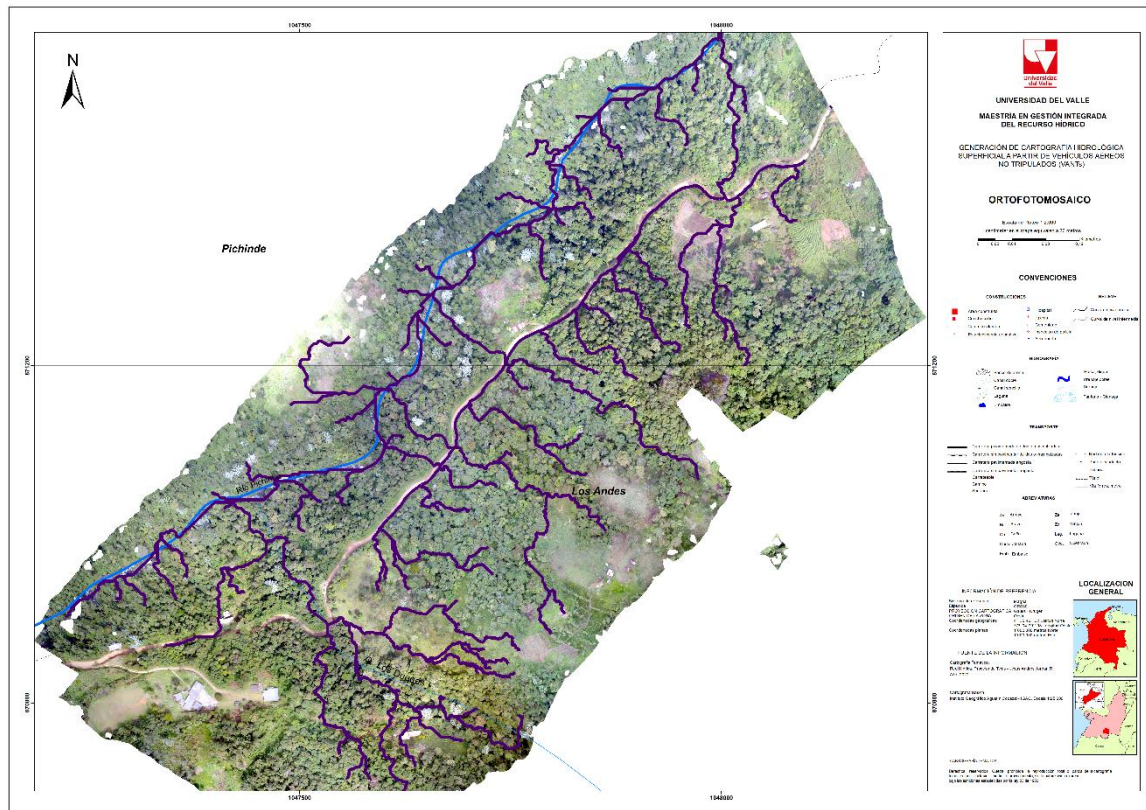


Figura 8 Ortofotomosaico

(Fuente: elaboración Propia)

6.4 Líneas de drenaje

Luego de haber procesado el modelo digital de elevación y utilizando herramientas de SAGA de QGIS para el procesamiento de la red hídrica, el resultado obtenido se muestra a continuación, donde se cruza la red hídrica del río pichindé (red hídrica descargada del portal de CVC), con la red hídrica resultante (Anexo archivo cartográfico).

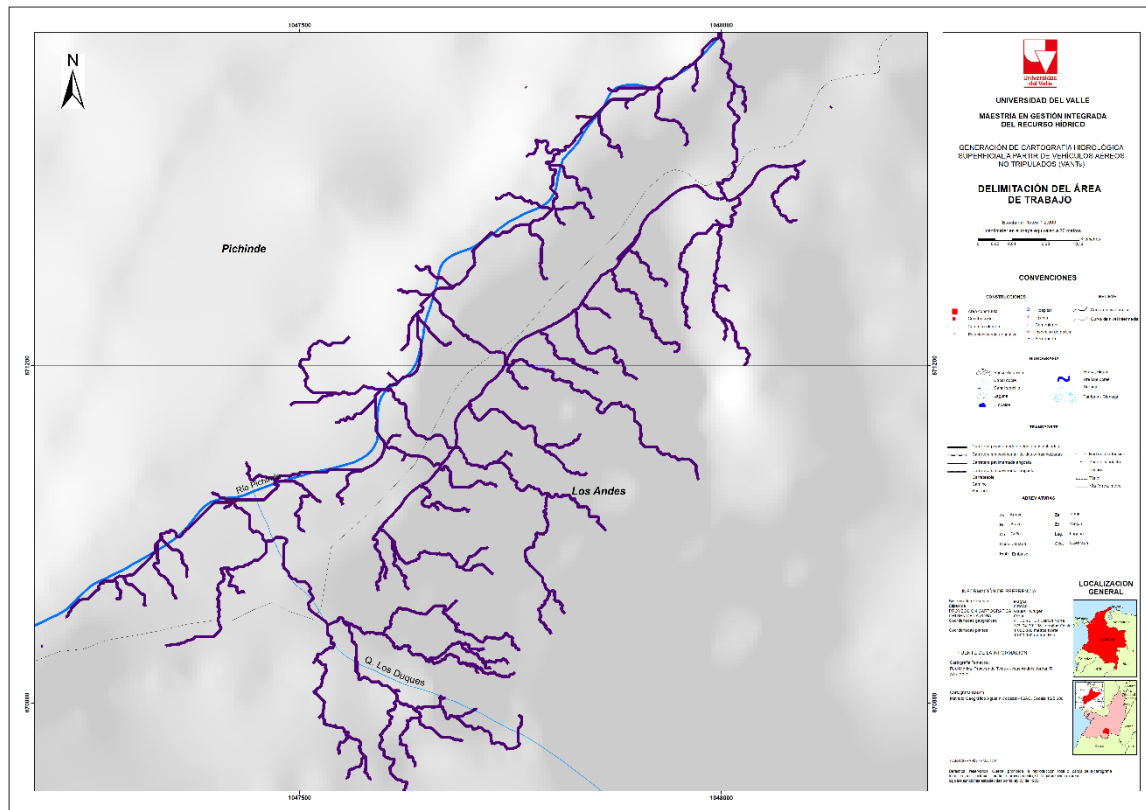


Figura 9 Red Hídrica

(Fuente: elaboración Propia)

De la figura anterior se deduce la importancia de la obtención de un buen modelo digital de terreno, ya que con base a esta se determina la dirección de flujo, permitiendo determinar que la superficie establezca una entrada y una salida, esto permite que el raster defina por si solo la delimitación de la red, en la ilustración siguiente se compara la red hídrica superficial del modelo calculado versus la red hídrica existente.

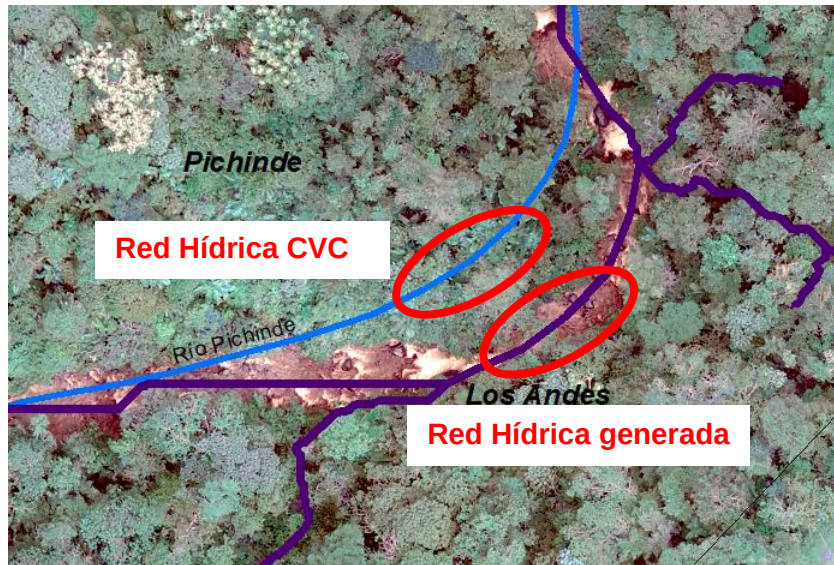


Ilustración 6 Comparación de la red hídrica

Finalmente se puede demostrar que los resultados obtenidos son satisfactorios, en lo ilustrado se observa, como el desplazamiento de una red hídrica a el cauce principal en este caso es hasta de 14 metros, permitiendo así que el modelo propuesto se acerque un poco más del cauce y la morfometría de una cuenca se ajuste a la realidad.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Enmarcando el contexto de este estudio, donde se propone los equipos aéreos no tripulados, como una herramienta que permita generar procesos de análisis de una red hídrica superficial para toma de decisiones, el resultado obtenido expone, que este tipo de desarrollo contribuyen con buena expectativa a la generación de insumos para cartografía hídrica superficial. En la figura siguiente, se presenta el resultado de un proceso comparativo con la información existente de una red hídrica, generada con modelos digitales de terreno de altas resoluciones versus la red hídrica generada con el modelo resultante del estudio realizado.

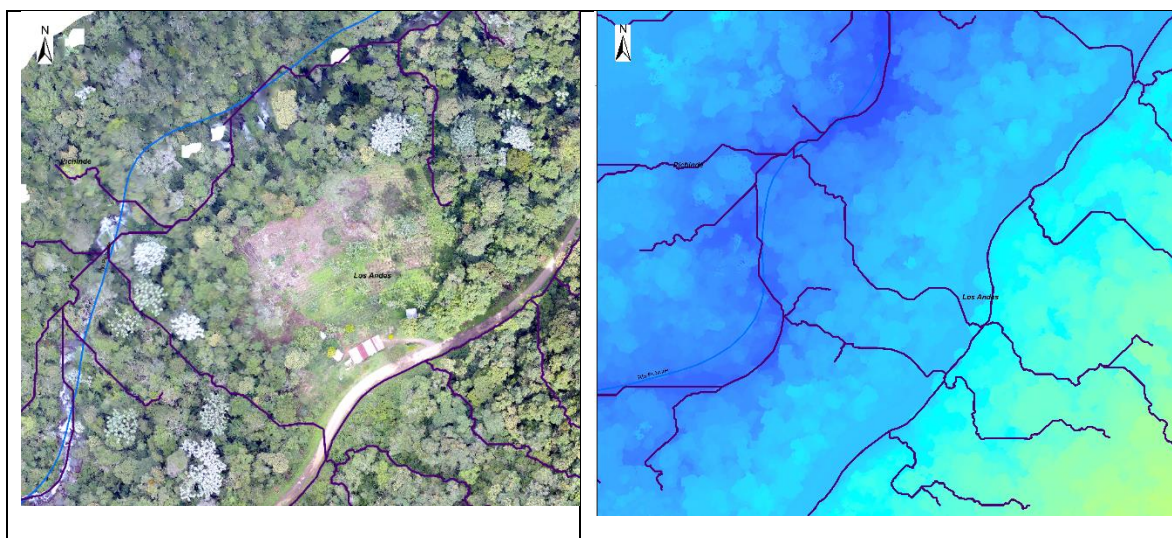


Ilustración 7. Comparación de la red hídrica existente vs la generada.

La topografía de campo -es innegable- contará siempre con la aceptación y beneplácito al contar con resultados precisos, sin embargo, la complejidad de evaluar topográficamente un área estará determinada por factores socio-ambientales, los costos y el tiempo para adelantar dicha acción. La cartografía hidrológica basada en los métodos expuestos, propende a la consecución y generación de productos cartográficos adecuados para el procesamiento de las variables hidrológicas y ambientales a nivel de cuenca. Será preciso evaluar en posteriores estudios, la precisión y calibración de la generación de la cartografía hidrológica bajo los métodos y procedimientos aquí indicados, utilizando para ello test de análisis estadístico (estimar el error medio mediante un muestreo de errores) y un análisis de la consistencia hidrológica (la respuesta hidrológica del área que se evalúa debe ser equivalente al MDT generado), lo cual significa de manera simple, la definición y similitud de la red de drenaje real con la calculada.

Autores como (Lalangui & Zárate, 2020), expresaron que para lograr un MDT obtenido mediante técnicas de fotogrametría con VANT de buena calidad es

necesario usar la herramienta de filtrado, a efectos de eliminar la vegetación, y de la utilización de puntos de control para optimizar las cámara, como de la realización de vuelos no mayores a 50 m. sobre el nivel de terreno; si bien es cierto la realización de filtrado de vegetación y de apoyo de puntos de control, es recomendado en este trabajo de grado, la altura de vuelo no define la calidad del MDT, ya que esta depende de la calidad del sensor y de su capacidad de captura, así mismo los puntos de control no optimiza la cámara, ya que estos lo que permiten es un ajuste al sistema de referencia utilizado.

El proceso de validación del estudio se llevó a cabo con topografía convencional y un el modelo digital de elevación con una precisión de 2,5 metros por pixel, de los cuales se ilustra a continuación.

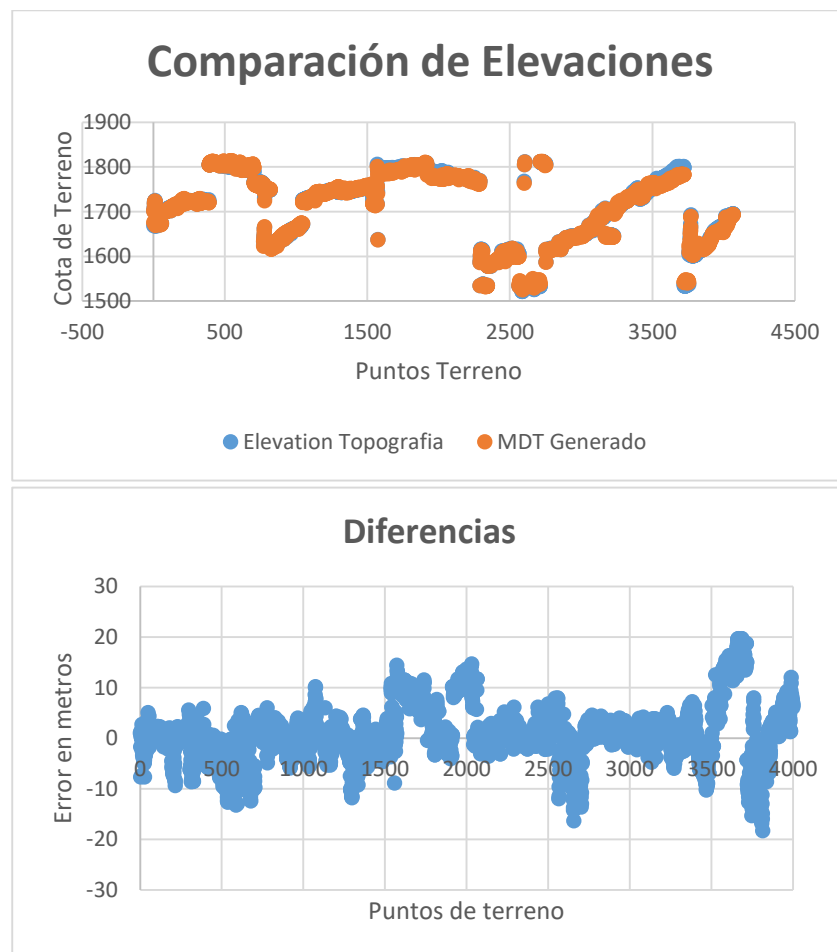


Figura 10 Comparacion y diferencia en alturas entre modelo de elevación generado y topografía convencional

Para estos análisis fue necesario los puntos topográficos tomados en campo con estación total, de los cuales se realizó una muestra de 4.000 puntos aleatorios del terreno y se logró una correlación de elevaciones en terreno, donde se observó que

algunos puntos manifestaron errores significativos, se procedió a realizar un muestreo de 1.200 puntos logrando deducir que los errores del modelo generado con el software de procesamiento no superan el metro de error en elevación, como se ilustra en la gráfica siguiente.

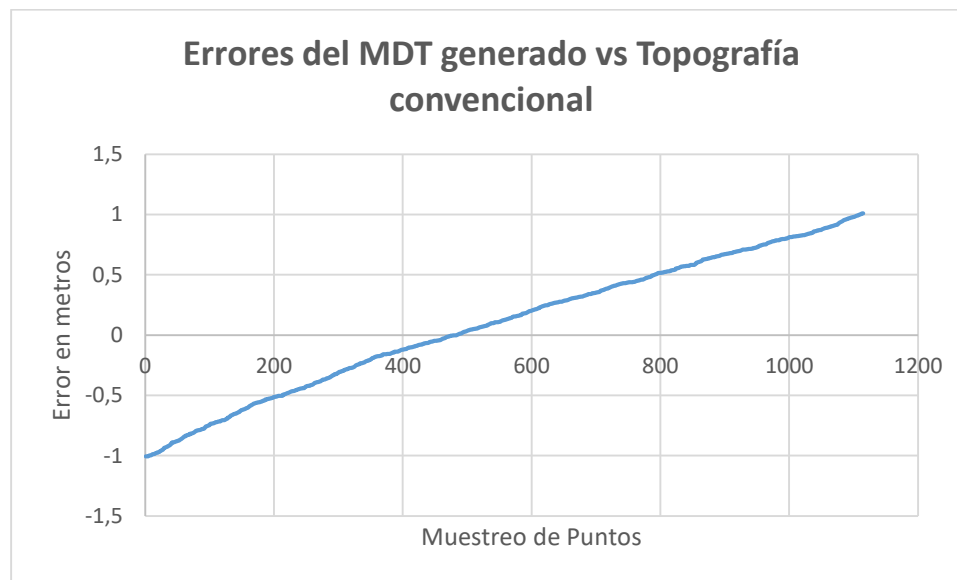


Figura 11 Muestra aleatorias de puntos de terreno

Esto deriva a que este desarrollo satisface lo esperado en este trabajo de grado, sin embargo se invita a seguir trabajando en desarrollos similares que logren bajar esa tasa de error a lo que se espera de una topografía convencional.

No obstante, se realizó el procedimiento con el modelo de elevación de ASTER (ASTER Global Digital Elevation Model) de 2,5 metros.

Siendo ASTER GDEM, uno de los mejores y más comunes modelos de elevación usados a nivel mundial, confeccionado a base de aproximadamente 1,3 millones de imágenes estéreo tomadas desde el año 2000 hasta el 2008 por el radiómetro japonés ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) que orbita dentro del satélite multinacional Terra, lanzado al espacio en diciembre de 1999. (NASA, 2004)

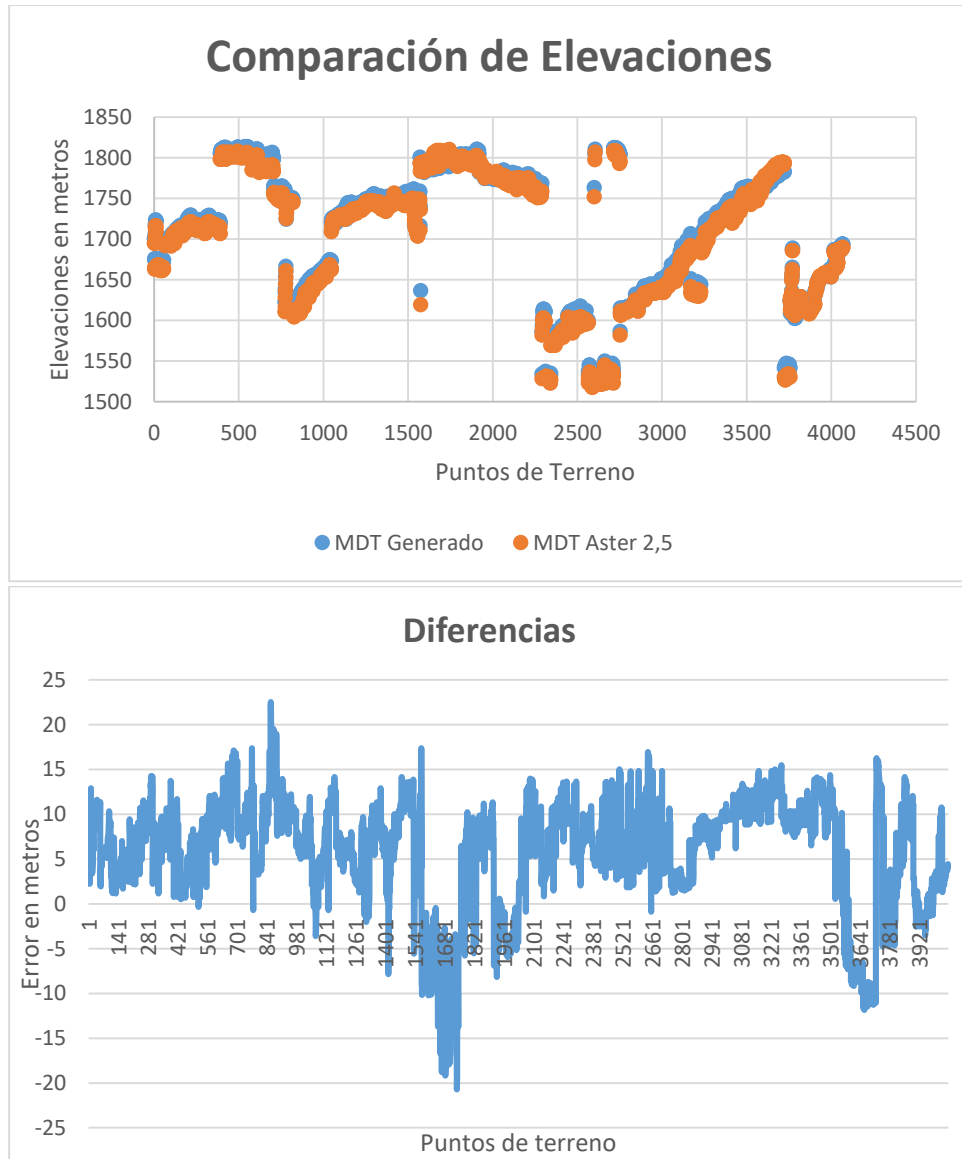


Figura 12 Comparación de Modelo de elevación generado vs modelo ASTER

Es de notar que los comportamientos de los puntos son similares, se observa que las diferencia en alturas entre estas dos tecnologías alcanzan hasta errores de 20 metros.

Finalmente, y en pro de tener un análisis más completo, se realizó la comparación de las alturas respecto de topografía convencional a el modelo Aster, donde demuestra que si bien teniendo las tres metodologías de adquisición de información las condiciones son similares a las anteriores ya mostradas.

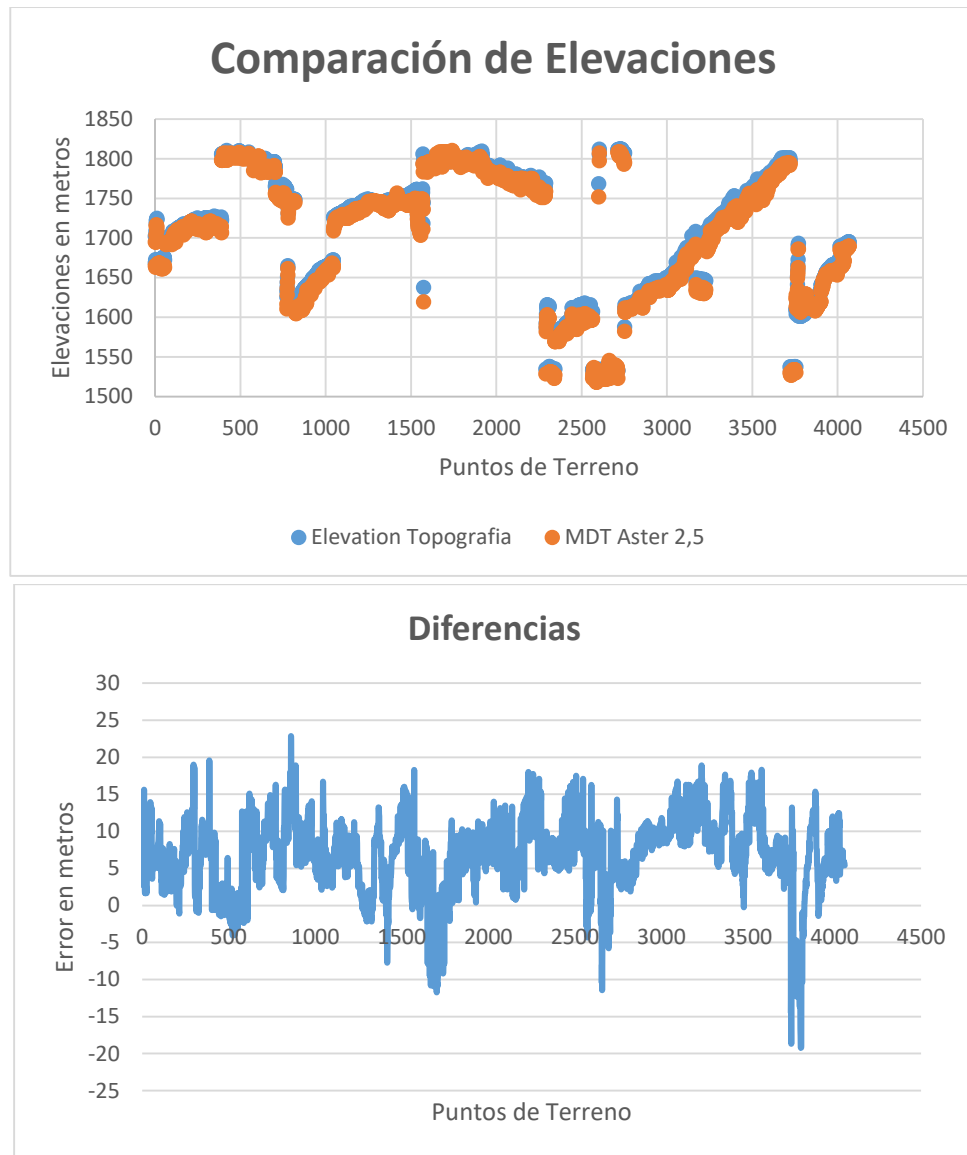


Figura 13 Comparación de Modelo de elevación ASTER vs topografía convencional

Respecto a estos dos métodos de captura de información, los errores presentados del modelo ASTER con topografía convencional supera los 15 metros

Ahora bien, este tipo de tecnología cuenta con algunas limitantes, que seguramente en estudios venideros serán resueltos, ya que el costo de adquisición de información son asequible comparados a otro tipo de métodos, como los son LIDAR, imágenes de RADAR, o hasta topografía convencional, hay zonas donde los VANT son propenso a pérdida de señal GPS, que ocasionalmente son presentados por campo magnético u alteraciones en el ambiente, por ende en este documento presento una lista de chequeo o de actividades que permitan tener vuelos tranquilos y sin complicaciones algunas.

Es de impedancia el costo –tiempo- beneficio, dado que con esta tecnología de VANT y del software para el procesamiento de las imágenes capturadas, se desarrolló teniendo en cuenta que cualquier persona que realiza estas actividades puedan acceder y manipular la información de una forma fácil, permitiendo a que este proyecto se convierta en una guía para la realización de cartografía hidrología superficial, como insumo para toma de decisiones en análisis de los componentes hidráulicos de una cuenca hidrográfica.

Es así, como diversos autores como Felicísimo Angel M., 1994, Giraldo Juan D., et al., 2005, Pérez Brugal Anders, et al., 2010, entre otros, han mencionado la importancia de los modelos digitales de terreno, como insumo primordial para los desarrollos en temas hidrológicos, por ende destaco la importancia de este estudio, ya que se logra obtener un modelo digital de terreno de buena precisión, que permitirá no solamente calcular la red de drenaje superficial de una cuenca, sino que además se podrá contar con información para el cálculo de geomorfología, pendiente, cálculo de un modelo de escorrentía, entre muchas más aplicaciones como temas de gestión de riesgos y ambientales

8. CAPÍTULO 6 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ En el presente trabajo de grado se tuvo como objetivo determinar una serie de actividades que permitieron generar cartografía hídrica superficial, a partir de un modelo digital de terreno utilizando tecnología de vehículos aéreos no tripulados a bajo costo, mejorando la precisión y escala de los productos obtenidos.
- ✓ Se concluye que el protocolo para el levantamiento de cartografía hidrológica superficial con base en información capturada con vehículos aéreos no tripulados (VANT), permitirá a cualquier usuario generar información primaria.
- ✓ Se estableció una guía metodológica para la selección de equipos, procedimientos, logística y evaluación de calidad en el levantamiento de información geográfico con los vehículos aéreos no tripulados (VANT).
- ✓ Se implementó el desarrollo de una aplicación para el procesamiento de imágenes aéreas captadas por los Vants, en lenguaje de programación gratuito, que permitiría a los usuarios de estas herramientas tengan acceso libre.
- ✓ En el procesamiento de la información de imágenes aéreas por Vants, se realizó correcciones de tipo radiométricas, geométricas, atmosféricas y topográficas, encontrando que los errores presentados no representaron una condición de evaluación, ya que, las alturas de vuelo de los Vants son mínimas y las interferencias de estos errores no alcanza a representar distorsiones a las imágenes captadas.
- ✓ Se generó un mapa del resultado obtenido de este proceso, el cual se desarrolló con imágenes de un vuelo dron, realizado en un sector de río Pichindé, y se comparó con la información secundaria, encontrando un desempeño aceptable a lo esperado en este trabajo de grado, mejorando la escala y resolución del mapa hidrológico.
- ✓ La hidrología computacional aborda la gestión del recurso hídrico desde una perspectiva moderna, ágil y expedita basada en instrucciones computacionales y numéricas que facultan la definición de las variables y datos de un sistema hidrológico superficial. El término, mencionado en el libro *Hidrología Computacional y Modelos Digitales de Terreno* (Olaya Ferrero, 2004), toma especial importancia en la presente investigación, que ofrece una herramienta en el análisis del componente físico (*Cartografía Hidrológica*) dentro de la ruta metodológica para la evaluación y análisis de las redes hidrográficas simples y complejas.
- ✓ En el siglo XX Hidrólogos y geomorfólogos hincaron la piedra angular de la actual morfometría de cuencas hidrográficas como un insumo en el

conocimiento y gestión del recurso hídrico. Mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfico-SIG, es posible la obtención y evaluación, entre otros parámetros, de la red de drenaje, sin embargo, la adecuada valoración del recurso recaerá –en gran medida- en un adecuado Modelo Digital de Terreno-MDT y por consiguiente la *Cartografía Hidrológica* que valore la variable espacial con especial dedicación y atención.

- ✓ La *Cartografía Hidrológica* hace parte de los insumos necesarios para variados y diferentes análisis medioambientales con especial énfasis en la gestión del recurso hídrico, la calidad de la misma, se deriva en minimizar los errores en la captura y procesamiento, que, aunque son de difícil aparición dada cuenta que corresponden a un “modelo” pueden ser reducidos aceptablemente mediante la aplicación de adecuadas técnicas de hidrología computacional como las indicadas en el presente trabajo.
- ✓ Diversos y variados beneficios dentro análisis del ciclo hidrológico pueden obtenerse de la generación mediante los métodos y procedimientos indicados de la *Cartografía Hidrológica*, por ejemplo, se esperan mejores modelos hidrológicos con adecuado ajuste a los patrones de escurrimiento y circulación del agua sobre el terreno, líneas de flujo reales con evaluación más adecuada del tiempo de concentración. De gran importancia hidrológica, es la relacionada con la red y patrón de drenaje, las redes extraídas de un MDT bajo los protocolos, métodos y procesos señalados aquí, satisfacen la convergencia de flujos al cuantificar el efecto de las precipitaciones sobre las áreas y pendientes sobre el MDT. De manera análoga, los modelos climáticos basados en la variable topográfica tienen efecto sobre los componentes biótico (flora y fauna) y abiótico (temperatura, albedo, evapotranspiración, entre otros.).
- ✓ Se procesó imágenes en zonas con topografías planas y de ladera, concluyendo que el modelo que se llevó a cabo para el procesamiento de las imágenes, cumple bajos los parámetros que se estableció en el desarrollo del aplicativo, y demostrando que este tipo de tecnología permitiría un análisis acorde y aceptable a la zona de estudio que se evalué.
- ✓ Se recomienda la utilización de los programas de revisión del clima y condiciones atmosféricas antes de realizar un vuelo, esto brinda seguridad tanto para la aeronave y/o terceros por fallas que este puede presentar.
- ✓ Es recomendable para cada tipo de trabajo llevar una lista de chequeo, para el pilotaje de la aeronave como los puntos de apoyo en terreno con planeación anticipada, esto permitirá que el trabajo en campo se desarrolle de una forma más amena.
- ✓ Si bien este trabajo de grado permitió generar una red hídrica aceptable, se invita a que trabajos futuros, se logre una limpieza más apacible del modelo digital de terreno, dado que en este proceso se encontraron distorsiones en

altura que no se lograron corregir, por calidad de pixeles, brillo o contraste, entre otros, logrando confundir una clasificación adecuada de suelo limpio.

9. BIBLIOGRAFÍA

- AGER. (2010). Los Sistemas de Información geográfica, características y aplicaciones generales. *ager ingenieros*, 1-11.
- Álvarez, D. A. (Enero de 2008). Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM). *Universidad Autónoma de madrid, escuela politécnica superior*. Madrid, España.
- Berenguer, J. (1995). ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN EL PROYECTO Y LA REGENERACIÓN DE PLAYAS. *Ingeniería del Agua. Vol. 2 Num. Extraordinario*, 143-166.
- Calera, A., Medrano, J., Vela, A., & Castaño, S. (1999). GIS tools applied to the sustainable management of water resources Application to the aquifer system 08-29. *Agricultural Water Management* 40, 207-220.
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- CIAF. (2006). *Fundamentos de Sistemas de Información Geográfica*. Bogotá D.C.: IGAC.
- Corredor Daza, J. G. (s.f.). Implementación de Modelos de Elevación Obtenidos Mediante Topografía Convencional y Topografía con Drones para el Diseño Geométrico de una Vía en Rehabilitación Sector Tuluá – Rio Frio. *Universidad Militar de Nueva Granada, Bogotá*.
- DAGMA, D. d. (2017). *Plan de Manejo Ambiental Fase de Diagnostico del Predio Quebrada Honda*. Santiago de Cali: Alcaldia de Santiago de Cali.
- Dji. (2017). *dji.com*. Obtenido de *dji.com*: https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20170719/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_User_Manual_ES.pdf
- Domínguez, E., Rivera, H., Vanegas, R., & Moreno, P. (2008). Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de

evaluación del recurso hídrico colombiano. *Revista Academica Colombiana de Ciencia* 32(123), 195-212.

Eastman, R. (2003). *IDRISI Kilimanjaro*. Worcester, USA: Clark University.

España, M. d. (2012). *Implantacion de regimenes de caudales ecológicos*. Guadalquivir: Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica.

Estrela, T. (1992). Modelos matemáticos para la evaluacion de recursos hídricos. *Centro de Estudios Hidrográficos*, 1-52.

FAC, F. A. (16 de Octubre de 2020). *Fuerza Aérea Colombiana (FAC)*. Obtenido de Fuerza Aérea Colombiana (FAC): <https://www.fac.mil.co/espacio-aéreo>

Felicísimo, Á. M. (1994). *Modelos Digitales del Terreno*. España: Universidad de Extremadura.

Gatrell, A. (1991). Concepts of space and geographical data. *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, 119-134.

Giraldo, J. D., & Díaz, G. M. (2005). MODELO DISTRIBUIDO DE TRÁNSITO DE CRECIENTES EN CUENCAS - MDTCC. *AVANCES EN RECURSOS HIDRÁULICOS*, 91-101.

IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del agua*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales.

Jiménez, H. (1986). *Hidrología Básica I*. Santiago de Cali : Universidad del Valle, facultad de Ingeniería, Departamento de Fluidos y Ciencias Técnicas.

John A., R. (2013). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. New York: Springer.

Kriz, K., & Fürst, J. (2003). Cartographic Design Issues Within The Hydrological Atlas Of Austria. *Cartographic Renaissance*, 10-16.

Lalangui, J. Y., & Zárate, T. B. (2020). Evaluación del modelo digital de terreno obtenido mediante técnicas de fotogrametría con VANT y con técnicas GNSS aplicados a proyectos viales en zonas de mediana vegetación. *AVANCES: Investigación en ingeniería*, 1-10.

Lavado, W., Labat, D., Guyot, J., Ronchail, J., & Ordoñez, J. (2009). Validación de lluvia utilizando TRMM en dos cuencas amazónicas peruanas y su aplicacion en modelos mensuales de balance hídrico. *Revistas Peruana Geo-atmosférica RPGA(1)*, 11-19.

- Lorduy Hernández, S. (2017). *Generación de ortoimágenes usando vehículos aéreos no tripulados aplicado a la agricultura*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Maderey, L., & Jiménez, A. (2001). Alteración del ciclo hidrológico en la parte baja de la cuenca baja de la cuenca alta del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas*, 24-38.
- Martinez, A., Castillo, F., & Pérez, A. (1994). Factores que influyen en la precipitación y el balance del agua en Galicia. *Bolietín de la A.G.E. No.18*, 79-96.
- Mejía, E., Exebio, A., Palacios, E., Santos, A., & Delgadillo, M. (2003). Mejoramiento del manejo de distritos y módulos de riego utilizando Sistemas de Información Geográfica. *TERRA Latinoamericana*, 513-522.
- Mena, C., Ormazabal, Y., Llanos, J., & Díaz, J. (2007). Development of a geographic information system to improve the irrigation water management of the Convento Viejo Dam, Chile. *Agricultura Técnica*, 49-59.
- Mena, U. (2007). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la ingeniería civil. *Tendencias Tecnológicas*, 59-65.
- Morales Magaña, M. (2016). Uso comunitario de pequeños vehículos aéreos no tripulados (drones) en conflictos ambientales: ¿un factor innovador desequilibrante? *Teknokultura*, 655-679.
- NASA. (2004). <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>. Obtenido de <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>.
- National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center. (s.f.). *Precipitation Measurement Missions*. Recuperado el 24 de 09 de 2012, de <http://pmm.nasa.gov/TRMM/trmm-instruments>
- Olaya Ferrero, V. (2004). *Hidrología computacional y modelos digitales de terreno*.
- Paulet Iturri, M. (1999). Los recursos de agua y suelo para la agricultura y el desarrollo rural. *Área de Ciencia, Tecnología y Recursos Naturales*, 35-50.
- Pérez, B. A., Weber, J. F., & Castellanos, Y. R. (2010). Importancia de los modelos digitales del terreno en la simulación hidráulica de inundaciones. *Revista Cubana de Ingeniería*, 51-60.
- Pizarro, F. (2004). *Caudales Ambientales*. GWP-CA.

- Python Software, F. (2017). *Python Software Foundation*. Obtenido de Python Software Foundation: <https://docs.python.org/2/library/index.html>
- Ramsar. (2008). *Manual de Asignación y maenjo de los recursos hídricos*. Manueales ramsar para el uso racional de los humedales.
- Rumbaugh, J. (1996). Modelado y Diseño Orientados a Objetos. *Prentice Hall*, 1-15.
- Vázquez Paulino, J., & Backhoff Pohls, M. (2017). Procesamiento geo-informático de datos generados mediante drones para la gestión de infraestructura del transporte. *Secretaría de Comunicaciones y Transporte, Instituto Mexicano de Transporte*, 1-92.

10. ANEXOS – PASOS PARA LA INSTALACION DEL PROYECTO BASADO EN ESTRUCTURA OPEN DRONE MAPS

A continuación, se explican los pasos a seguir para instalar el proyecto Open Drone Map en un computador con sistema operativo Windows 10.

I. Verificación de soporte de virtualización.

Debido a que Docker requiere una función llamada virtualización, que permite ejecutar máquinas virtuales, esta debe ser activada o verificar que ya está activada (Figura siguiente). Para esto, debe abrirse el “Administrador de tareas” y cambiar a la pestaña de “Rendimiento”. Si no está activada por favor, siga los pasos descritos en el siguiente link:

- ✓ <https://support.bluestacks.com/hc/es/articles/115003174386-C%C3%B3mo-habilitar-la-virtualizaci%C3%B3n-VT-en-Windows-10-para-BlueStacks-4>

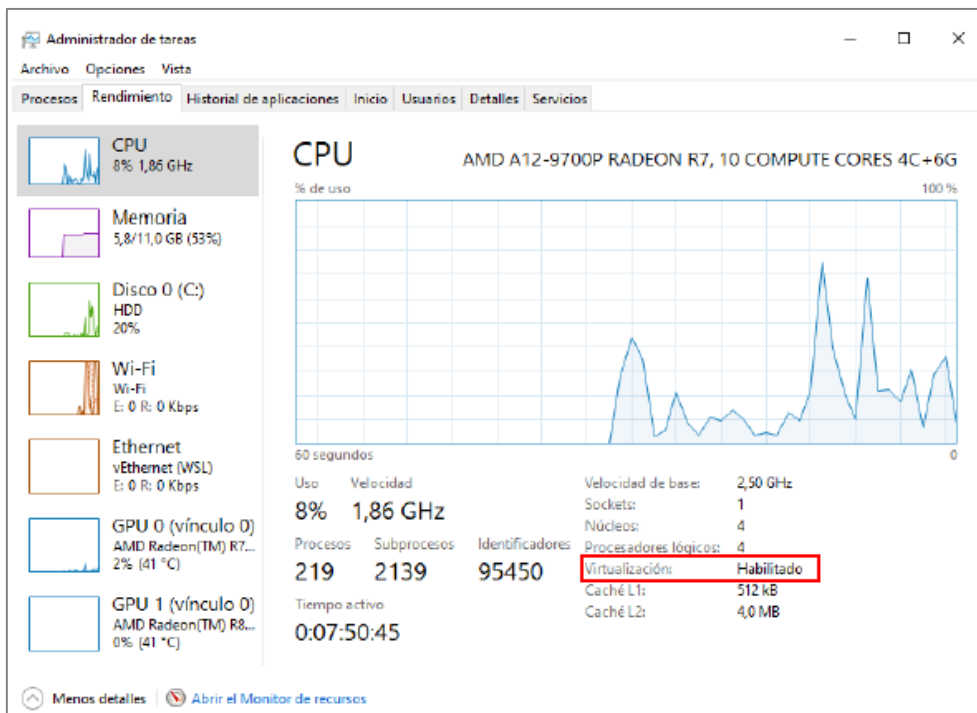


Figura 14 Verificación de virtualización.

(Fuente: elaboración propia)

II. Requisitos de instalación.

Para continuar con la instalación primero debe descargar e instalar los siguientes programas, al lado cada uno encontrará los enlaces para hacerlo.

- ✓ Git Desktop - <https://desktop.github.com/>
- ✓ Docker Desktop - <https://www.docker.com/products/docker-desktop>
- ✓ Python (Anaconda) - <https://docs.anaconda.com/anaconda/install/windows/>

Los programas se instalan de forma usual, es decir, aceptando las políticas de cada uno, designando una instalación local e individual y asignando una ruta para almacenar los archivos, sin embargo, al instalar Python (Anaconda) debe tenerse cuidado en no añadir el Python al PATH, específicamente al instalar el Python 3.8, puesto que lanza una advertencia de problemas posteriores al hacerlo, sobre todo de interferencia con otro software.

III. Instalación Python.

Una vez instalados, deben acceder con un usuario a los dos primeros programas, para el tercero se deben seguir varios pasos descritos a continuación, esta sección es tomada y adaptada de Rieke (Rieke, 2019).

A. Variables de entorno.

Una vez instalado Python (Anaconda) en su disco C:, deberá abrir la configuración de variables de entorno del sistema, para hacerlo debe escribir en el buscador de Windows '**variables de entorno**', cuya búsqueda debe arrojar '**Editar las variables de entorno del sistema**', una vez seleccionado, debe entrar a 'Variables de entorno' y en la parte inferior, debe editar la variable 'Path', para añadir las siguientes rutas:

- ✓ C:\Users\.....\anaconda3
- ✓ C:\Users\.....\anaconda3\Library\bin
- ✓ C:\Users\.....\anaconda3\Scripts

Evidentemente, las rutas deben cambiar de acuerdo con la ruta en la que se instaló el programa en su ordenador. En la siguiente figura, se muestra el procedimiento.

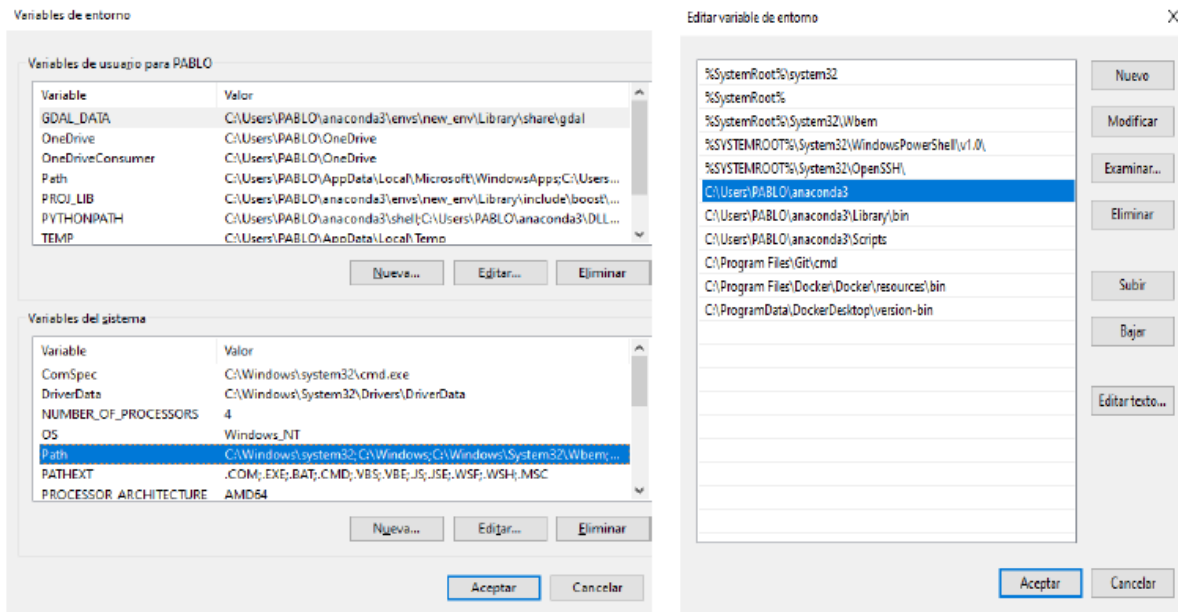


Figura 15 Adición de Anaconda a las variables de entorno.

(Fuente: elaboración Propia)

B. Prioridad 'conda-forge' y actualización de bibliotecas.

Posteriormente, se debe abrir '**Anaconda prompt**', el cual es una consola de comandos propia de Anaconda, en esta debemos escribir los siguientes comandos para dar la máxima autoridad al canal de instalación '**conda-forge**' y actualizar todos los paquetes de la biblioteca estándar de Python a la nueva versión. El canal de instalación es administrado por la comunidad y es considerado como fiable y actualizado.

- ✓ conda config --add channels conda-forge
- ✓ conda update --all

C. Creación de ambiente virtual.

Inicialmente se debe crear un ambiente virtual, debido a que el ambiente base en ocasiones presenta problemas de permisos y por tanto de instalación de librerías, este ambiente funciona como un "contenedor" para almacenar tanto sus librerías como su configuración, otras de las razones por las que se sugiera usarlos, es que permite clonarlo y hacer una copia de seguridad de su trabajo, evitando inconvenientes cuando algo extraño ocurra con Python. La creación del ambiente virtual puede hacer de dos formas, por línea de comando o abriendo el '**Anaconda**

Navigator (Figura siguiente), para hacerlo de la primera forma debe introducir el siguiente comando en **'Anaconda prompt'**.

- ✓ `conda create --name new_env python=3.8`

Este comando lo que indica es la creación, por medio del método **'conda'**, del nuevo ambiente denominado **'new_env'** que usa la versión de Python más reciente (3.8). El nombre usado puede ser cualquiera, ya que es asignado por el usuario.

Por medio del **'Anaconda Navigator'**, se hace de la siguiente manera:

Environments > Create > Asignar el nombre y la versión de Python a usar.

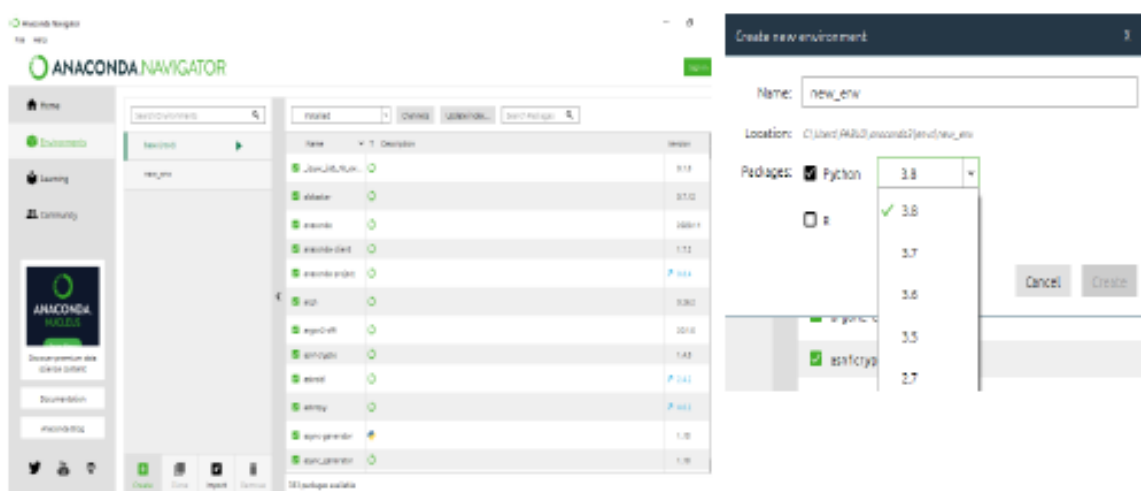


Figura 16 Creación de ambiente virtual por Anaconda Navigator.

Fuente: Propia

D. Instalación de librerías base para geo procesamiento.

Una de las librerías más importantes para realizar geoprocesamientos es **GDAL**, ya que es una librería de traducción de datos vectoriales y raster publicada bajo una licencia de código abierto estilo X/MIT por la Open Source Geospatial Foundation (<https://www.osgeo.org/>), que incluye también diversas utilidades de línea de comando para la traducción y procesamiento de datos (Warmerdam et al., 2021).

Para instalarla por línea de comando debe abrir el **'Anaconda Prompt'** e introducir las siguientes líneas:

- ✓ `activate new_env` – para activar el entorno virtual.

- ✓ conda install gdal – para instalar la librería correspondiente.

Debido a que GDAL requiere apuntar a una carpeta específica que contiene información de proyección y transformación, se debe configurar una nueva variable del sistema en la sección variable de entorno con los mismos pasos de **GDAL** pero con la variable denominada '**PROJ_LIB**', apuntando a la siguiente ruta que también varía de acuerdo a cada ordenador.

- ✓ C:\Users\.....\anaconda3\envs\new_env\Library\include\boost\geometry\srs\projections\proj

Otros paquetes podrán instalarse por línea de comando mediante el método **pip**, o **conda-forge**, cuando requiere permisos más altos.

E. Asignación de interpretador e instalación de kernel Spyder.

A continuación, debe abrir **Spyder**, para configurar el interpretador de Python (Python interpreter) con el ambiente virtual creado, para esto debe seguir las siguientes instrucciones:

- ✓ **Tools > Preferences > Python interpreter > Sección Python interpreter > C:\Users\.....\anaconda3\envs\new_env\python.exe**

Una vez se realice esto, en la consola de Spyder aparecerá un error en el Kernel (Figura siguiente), por lo que debe configurarse en el '**Anaconda Prompt**' con los siguientes comandos:

- ✓ activate new_env – para activar el entorno virtual
- ✓ pip install spyder-kernels==1.9.4

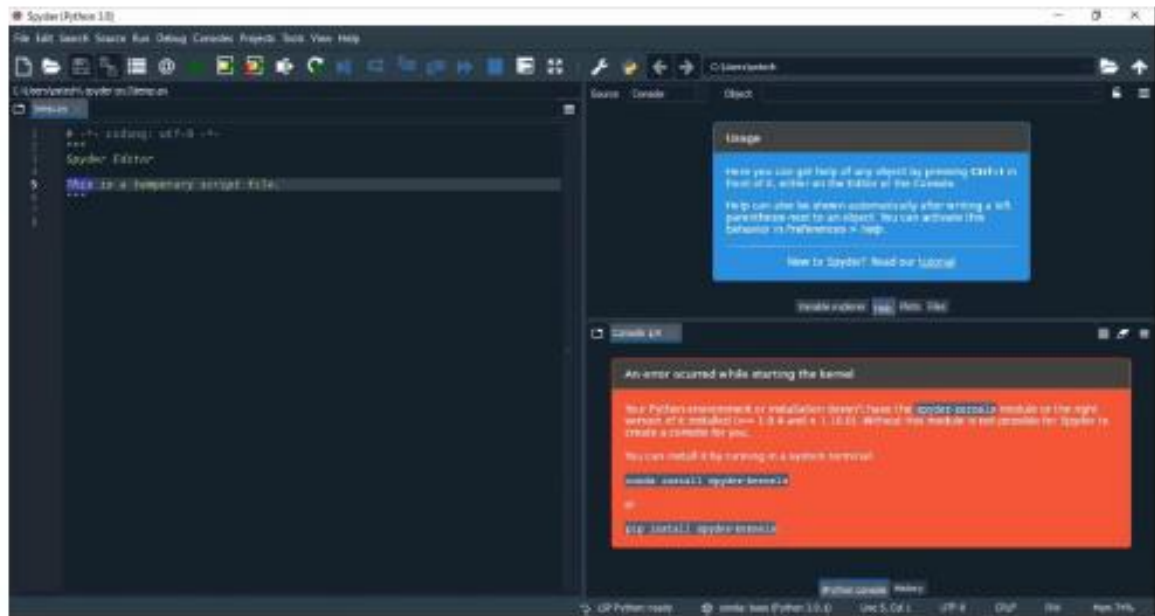


Figura 17 Advertencia en el Kernel de Spyder.

(Fuente: elaboración Propia)

Hecho esto, debe cerrar y volver a abrir el Spyder para aplicar los cambios, además debe verificar en 'Anaconda Navigator' que 'spyder' y 'spyder-kernels' estén instalados, como se muestran en la figura siguiente, de lo contrario, deben instalarse en esta misma sección.

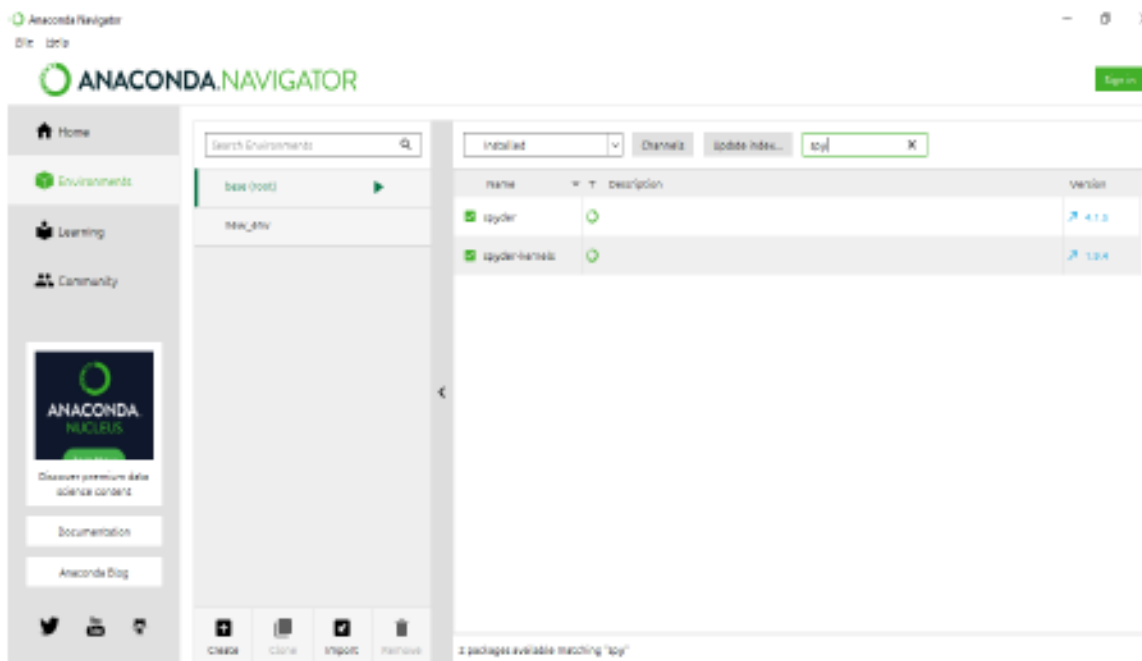


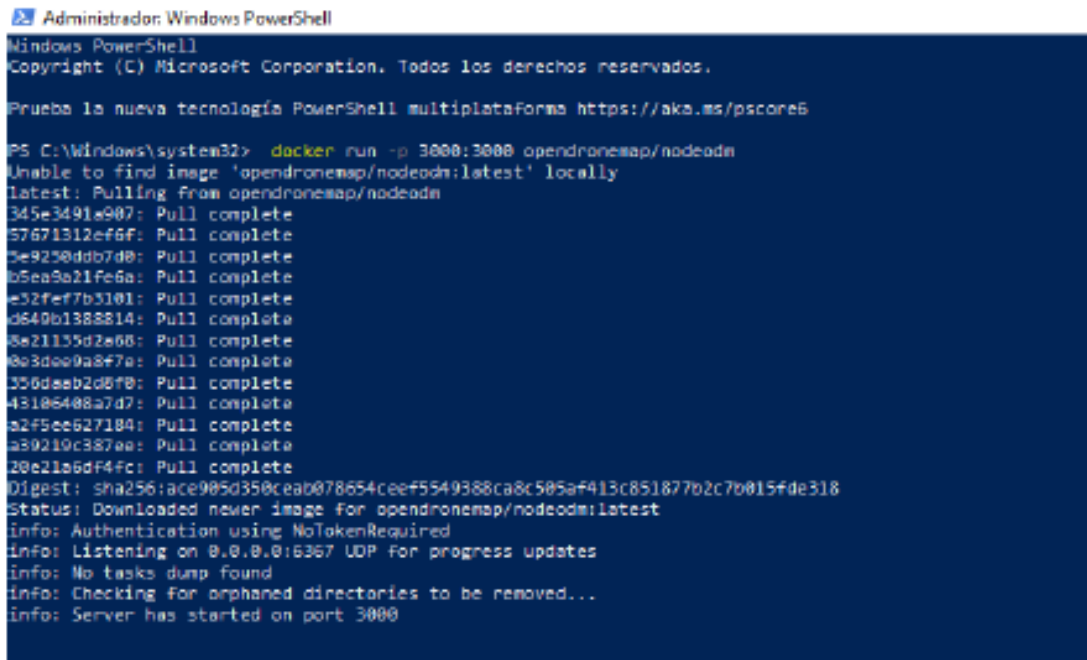
Figura 18 Verificación de los elementos de Spyder

(Fuente: elaboración Propia)

F. Configuración PYTHONPATH.

‘Python path’ debe configurarse en Anaconda para llamar librerías que requieren permisos avanzados, para esto se debe seguir las indicaciones mostradas a continuación y añadir las rutas mostradas en la figura siguiente.

- ✓ **Tools > PYTHONPATH manager > Add path > Synchronize Spyder’s path list with PYTHONPATH environment variable**



```
Administrador: Windows PowerShell
Windows PowerShell
Copyright (C) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

Prueba la nueva tecnología PowerShell multiplataforma https://aka.ms/pscore6

PS C:\Windows\system32> docker run -p 3000:3000 opendronemap/nodeodm
Unable to find image 'opendronemap/nodeodm:latest' locally
latest: Pulling from opendronemap/nodeodm
345e3491e907: Pull complete
57671312ef6f: Pull complete
5e9250ddb7d0: Pull complete
b5ea9a21fe6a: Pull complete
e32fef7b3101: Pull complete
d649b1388814: Pull complete
8e21135d2e00: Pull complete
8e3dee9a8f7e: Pull complete
356deeb2d8f0: Pull complete
43106408a7d7: Pull complete
a2f5ee627104: Pull complete
a30219c387ee: Pull complete
20e21b6df4fc: Pull complete
Digest: sha256:ace905d350ceab078654ceef5549388ca8c505af413c851877b2c7b015fde318
Status: Downloaded newer image for opendronemap/nodeodm:latest
info: Authentication using NoTokenRequired
info: Listening on 0.0.0.0:6367 UDP for progress updates
info: No tasks dump found
info: Checking for orphaned directories to be removed...
info: Server has started on port 3000
```

Figura 19 Instalación de contenedor ODM

(Fuente: elaboración Propia)

Una vez descargados todos los componentes, podemos verificar en el software Docker la instalación de la imagen de ‘**opendronemap/nodeodm**’, en la sección ‘**Images**’ (Figura siguiente).



Figura 20 Verificación de instalación de la imagen

(Fuente: elaboración Propia)

De igual forma, Docker inicia automáticamente un contenedor, el inicio de este es verificable dentro del Windows PowerShell a partir de la sintaxis 'info:' (Figura 15) o dentro del software Docker en la sección 'Containers/Apps', como se muestra en la figura 17.

11. ANEXOS CARTOGRAFICO

