

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

**VUELO EN ÁREA MONTAÑOSA CON VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO EQUIPADO
CON GNSS L1: ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN FOTOGRAFÍCA**

Miguel Alfonso Blanco Suárez

Trabajo de grado en la modalidad de monografía para obtener el título de tecnólogo en
topografía

Universidad Distrital Francisco José De Caldas
Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales
Proyecto Curricular de Tecnología en Topografía

Bogotá, D.C. 2022

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

**VUELO EN ÁREA MONTAÑOSA CON VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO EQUIPADO
CON GNSS L1: ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN FOTOGRAMÉTRICA**

Miguel Alfonso Blanco Suárez

Código 9223013

Trabajo de Grado en la modalidad de Monografía
para obtener el título de Tecnólogo en Topografía

Director: Julio Hernán Bonilla Romero, Ing Civil y MsC en Geomática

Docente Evaluadora: Mariam Rivas Diazgranados, Ing. Topográfica y MsC en Ciencias de la
Información y las Comunicaciones

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales
Proyecto Curricular de Tecnología en Topografía

Bogotá, D.C. 2022

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, por haberme aceptado en el programa transitorio de retorno, lo cual me permitió cumplir un sueño que tenía sin poder concluir. Este no fue un reto menor, volver a la academia después de tanto tiempo, implica realmente dedicación, amor y mucha perseverancia, pero lo asumí con mucha responsabilidad. Agradezco a los profesores que me formaron de manera extraordinaria en esta parte final de mi carrera.

También agradezco a mi familia por haber sido comprensiva conmigo y haberme apoyado, dándome tiempo para poder concentrarme en mis estudios, Mónica y Juan Martín, infinitas gracias.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre que está en los cielos y a mi hijo Juan Martín quien pudo ver, gracias a la pandemia del COVID 19 que no importa cuándo, siempre hay que terminar lo que se empieza; desde luego, entre más pronto mejor.

RESUMEN

Este trabajo de investigación monográfico pretende demostrar que, utilizando Aeronaves Remotamente Tripuladas ó UAS (por su sigla en inglés), equipadas con cámara no métrica y con sensor GNSS L1, se pueden realizar vuelos fotogramétricos sobre áreas montañosas o con altos contrastes de pendientes y, de toda maneras, obtener resultados comparables en cuanto a la exactitud posicional con respecto a aquellos realizados en áreas planas y sobre los cuales la literatura científica ha demostrado que cumplen con los estándares de la Asociación Americana de Fotogrametría y Percepción Remota ASPRS de 2014.

El vuelo, objeto de este análisis, realizado en enero de 2021 se hizo en área urbana y periurbana del municipio de Güicán de la Sierra en Boyacá, el cual se encuentra localizado a 2850 m.s.n.m. El área cubierta es de 103 hectáreas, de las cuales, el 90% presenta pendientes desde 12% a mayores a 75%, es decir, desde fuertemente inclinadas hasta fuertemente escarpadas. Para el procesamiento fotogramétrico de este vuelo, se realizan 13 configuraciones diferentes en el software de fotogrametría, y la evaluación de la exactitud posicional se basa en 33 puntos levantados con métodos GNSS de doble frecuencia y uno con frecuencia L1. Se demuestra que configurando dos o tres puntos en el proceso fotogramétrico como de control (GCP), son suficientes para tener precisiones topográficas de la más alta calidad, lo cual es corroborado con el resto de puntos que se dejan para el chequeo. Con lo anterior, se cumple con las normas del IGAC (Resolución 471 de 2020) y la Norma Técnica Colombiana NTC 6271 de 2018 que recoge los estándares de la ASPRS de 2014.

PALABRAS CLAVES: UAS, ASPRS, exactitud posicional, RMSE, fotogrametría en área montañosa, SfM, NTC 6271, Resolución 471 del 2020

ABSTRACT

This monographic research aims to demonstrate that photogrammetric flights can be carried out using remotely unmanned aerial systems (UAS) equipped with a non-metric camera and GNSS L1 sensor over mountainous areas or with high slope contrasts and obtain comparable results in terms of positional accuracy with respect to those carried out in flat areas and on which the scientific literature has shown that they meet the standards of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

The flight made in January 2021 was developed in the urban and peri-urban area of the town of Güicán de la Sierra in Boyacá, a municipality located at 2,850 m.a.s.l. The covered area is 103 hectares, of which 90% have slopes greater than 12%, which means from strongly inclined to strongly steep. It was made one flight and 13 different configurations were made for photogrammetric processing and based on 34 points surveyed with double-frequency GNSS methods, it is shown that two or three points configured as control points (GCP) and the rest like check points are enough to have topographic precision at the highest quality, complying with the IGAC standards (Resolution 471 of 2020) and the Colombian technical standard NTC 6271-2018.

KEY WORDS: UAS, ASPRS, accuracy position, RMSE, photogrammetry in mountainous areas. SfM, NTC 6271, resolution 471 of 2020

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	16
3. OBJETIVOS.....	17
3.1. Objetivo General:	17
3.2. Objetivos específicos.....	17
4. MARCO TEÓRICO	18
5. METODOLOGÍA.....	26
5.1 Área de Estudio.	26
5.2. Planificación del vuelo.....	28
5.2.1. Planificación del vuelo usando programa informático para información geográfica	29
5.2.2. Aplicativos para planificación automática del vuelo	31
5.3. Instalación de la estación base	33
5.4. Demarcación de Puntos de control y de Chequeo.....	35
5.5. Realización del vuelo fotogramétrico.....	38
5.6. Toma de Puntos de control y de Chequeo	39
5.7. Descargue de Datos	40
5.8. Cálculo de Datos GNSS.....	40
5.8.1. Tarjeta Emlid y antena Talyzman.....	40
5.8.2. Tarjeta Swift Navigation y Antena Harxon HXCGPS500.....	41
5.8.3. Cálculo de coordenadas precisas de la estación base.	41
5.8.4. Cálculo de coordenadas precisas de los eventos (centro de la aerofotografía).....	44
5.8.5. Cálculo de coordenadas precisas de los GPC	50
5.8.6. Conversión de altura elipsoidal a altura ortométrica.....	53
5.9. Cálculos Fotogramétricos.....	54
6. RESULTADOS	61
6.2. Resultados fotogramétricos.....	61
6.2. Calidad de los resultados	64
6.3. Evaluación conforme a estándares nacionales e internacionales.....	69

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

6.4. Análisis integral	73
6.4.1. Análisis de resultados comparativo por procesamiento	73
6.4.2. Análisis de resultados bajo la norma ASPRS - 2014	77
6.4.3. Análisis bajo la resolución 471 del 2020 del IGAC.....	80
6.4.4. Análisis bajo la norma NTC 6271.....	81
6.4.5. Análisis visual con respecto a productos fotogramétricos del IGAC.	82
6.4.6 Análisis del terreno – Mapa de pendientes.....	84
7. CONCLUSIONES	88
8. BIBLIOGRAFÍA	89
9. ANEXOS	93
Anexo 1. Informe cálculos geodésicos estación base.....	93
Anexo 2. Coordenadas elipsoidales XY y Alturas ortométricas puntos de control/chequeo	100
Anexo 3. Coordenadas elipsoidales XY y Alturas ortométricas de la orientación exterior (centro de la fotografía)	101
Anexo 4. Resultados de Calidad Procesamientos fotogramétricos	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Localización del municipio de güicán (boyacá) y su área urbana.....	26
Figura 2.	Censos de población 1938 a 2018 municipio de güicán de la sierra.....	27
Figura 3.	Metodología	28
Figura 4.	Recorrido bogotá – güicán de la sierra	29
Figura 5.	Polígono del área urbana y de expansión urbana, planificación de puntos de chequeo, control y localización de estación base en la cancha de futbol del municipio	30
Figura 6.	Planificación del vuelo fotogramétrico	32
Figura 7.	Calculo de coordenadas de la estación base	43
Figura 8.	Resultado gráfico del procesamiento gnss cinemático.....	46
Figura 9.	Extracción de eventos asociados a las fotografías tomadas durante la misión del vuelo	47
Figura 10.	Configuración del archivo de orientación exterior.....	55
Figura 11.	Configuración del sistema de referencia y exactitud de posicionamiento y orientación de las cámaras y las marcas (coordenadas de los gcps).....	56
Figura 12.	Flujodiagrama del proceso fotogramétrico	58
Figura 13.	Ortofotomosaico área urbana y periurbana de güicán de la sierra	62
Figura 14.	Modelo digital de superficies (DSM).....	63
Figura 15.	Coordenadas cartesianas magna – municipio de güicán	64
Figura 16.	Realización de sistema de proyección de cartesianas con origen magna_güicán en software arcgis.....	65

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Figura 17.	Punto gnss calculado con métodos geodésicos (estático rápido) vs punto capturado de la ortoimagen. (proceso fotogramétrico no. 4)	67
Figura 18.	Punto gnss calculado con métodos geodésicos (estático rápido – punto color rojo) vs punto capturado sobre la ortoimagen – punto de color verde. (proceso fotogramétrico no. 12)	68
Figura 19.	Parámetros de calibración basados en p1	74
Figura 20.	Parámetros fijos de calibración de la cámara.	75
Figura 21.	Selección de distancia focal fija	75
Figura 22.	Sobreposición de ortoimagen del procesamiento p1 y ortoimagen del igac.....	82
Figura 23.	Detección de cambios en 5 años	83
Figura 24.	Pendientes (%) DTM (izquierda) y DSM (derecha).....	85
Figura 25.	Perfil longitudinal modelo DSM	87

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Especificaciones técnicas del dron Phantom 4 Pro V 2.0 y cámara no métrica “global Shutter”	23
Cuadro 2. Coordenada (orientación exterior) del centro de las fotografías aéreas.....	48
Cuadro 3. Coordenadas finales de los puntos de control/chequeo para evaluación de exactitud posicional	52
Cuadro 4. Configuración de procesamiento fotogramétrico.....	59
Cuadro 5. Evaluación de la exactitud posicional de la ortoimagen y del modelo DSM.	
Procesamiento No. 12	72
Cuadro 6. Compilación de resultados de los proyectos fotogramétricos.....	73
Cuadro 7. Cuadro parcial B.5 extraído de ASPRS 2014	78
Cuadro 8. Cuadro parcial B.6 extraído de ASPRS 2014	79
Cuadro 9. Cuadro B.8 parcial extraído de ASPRS 2014	79
Cuadro 10. Cálculo de área por rangos de pendiente	86

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.	Sistema aéreo no tripulado (UAS) empleado en el vuelo fotogramétrico realizado en esta investigación	22
Fotografía 2.	Instalación de la estación base.....	34
Fotografía 3.	Punto tomado en superficie dura demarcado con pintura.....	36
Fotografía 4.	Punto tomado sobre tapa de alcantarilla pintada para un mejor contraste	37
Fotografía 5.	Puntos tomados sobre área rural en tela con colores de alto contraste y baja reflectancia	37
Fotografía 6.	A. Despliegue de bastón a 2 metros, B. Despliegue de bastón 4 metros.	39

ABREVIATURAS Y SIGLAS

ASPRS: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (Sociedad Americana de fotogrametría y percepción remota)

DG: Direct Georeferencing (Georeferenciación Directa)

DSLR: Digital Single Lens Reflex (Lentes Digitales Reflex)

GCP: Ground Control Points (Puntos de Control Terrestre)

GNSS: Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegación por Satélite)

IGAC : Instituto Geográfico Agustín Codazzi

IMU: Inertial measurement unit (Unidad de medida inercial)

NTC : Norma Técnica Colombiana

PPK: Post Processed Kinematic (Post Procesamiento Cinemático)

RMSE: Root Mean Square Error (Error medio cuadrático)

RTK: Real Time Kinematic (Cinemático en Tiempo Real)

SfM: Structure from motion

UAS: Unmanned Aerial System (Sistema Aéreo no Tripulado)

DSM: Modelo Digital de Superficie

DTM: Modelo Digital de Terreno

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación monográfico tiene como propósito, aportar a la base del conocimiento en el área de la geomática, especialmente en el área de la fotogrametría digital, utilizando técnicas y métodos desarrollados para cámaras no métricas montadas sobre aeronaves remotamente tripuladas. Los estándares del año 2014 de la Sociedad Americana de Fotogrametría y Percepción Remota - ASPRS, por sus siglas en inglés, (Whitehead & Hugenholtz, 2015a) no sólo son seguidos por el gobierno y los productores de información geoespacial de los Estados Unidos, sino también a nivel internacional. En el caso colombiano (IGAC, 2020), es el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, entidad encargada de la cartografía básica oficial de Colombia, la cual adopta sus estándares fotogramétricos de la ASPRS-2014 a través de la Resolución 471 del 2020 y, en el caso del Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC, 2018), lo hace a través de la norma NTC 6271 de 2018, la cual fija los estándares para la producción de información geográfica y de estudios topográficos.

En el estándar sobre la exactitud posicional de datos geoespaciales, (ASPRS, 2014), publicado en el mes de noviembre de 2014, se establecen los lineamientos para la producción de datos geoespaciales que utilizan sensores digitales de mediano y gran formato, en especial, cámaras métricas en las cuales se configuran de forma precisa sus diferentes componentes y que generalmente son montadas de forma técnica sobre aeronaves (aeroplanos y helicópteros) para la realización de vuelos fotogramétricos que ahora se les podría denominar “convencionales”.

La presente investigación busca establecer que, utilizando cámaras no métricas compactas montadas sobre aeronaves remotamente tripuladas, se puede llegar a resultados que están dentro del estándar de la ASPRS-2014, aún en un área de terreno específico como lo son las áreas montañosas, donde existen cambios abruptos de pendiente y hasta la fecha, es escasa la literatura sobre este tema que corrobore su efectividad. El trabajo se desarrolla en área

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

urbana, de expansión y límite rural del municipio de Güicán de la Sierra en el departamento de Boyacá.

2. JUSTIFICACIÓN

La fotogrametría realizada por medio de UAS ha venido ganando su espacio en el campo de la topografía; sin embargo, todavía es necesario validar la exactitud de sus resultados por medio de procesamiento fotogramétrico de vuelos en diferentes ambientes que arrojen resultados conformes a los estándares nacionales e internacionales.

Los vuelos en ambientes montañosos no cuentan con bibliografía científica suficiente que demuestre que la fotogrametría con cámaras no métricas montadas en UAS tengan resultados con exactitudes aceptables para trabajos de calidad topográfica.

Lo anteriormente expuesto motiva la realización de este trabajo, aunado al hecho que es sobre este tipo de terrenos, pertenecientes a la cordillera de los Andes, donde sucede en gran medida el desarrollo económico y social de Colombia.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General:

Analizar las exactitudes posicionales obtenidas de los productos fotogramétricos, utilizando vehículo aéreo no tripulado equipado con GNSS L1, bajo diferentes normas nacionales e internacionales.

3.2. Objetivos específicos.

1. Comparar la exactitud obtenida realizando diferentes configuraciones dentro del software escogido para obtener los productos fotogramétricos.
2. Realizar análisis sobre las exactitudes posicionales con base en el estándar de la sociedad americana de fotogrametría y percepción remota, ASPRS (2014)
3. Efectuar análisis de las exactitudes posicionales con base en norma técnica del IGAC.
4. Evaluación de resultados de las exactitudes posicionales con base en la norma técnica colombiana NTC 6271 de 2018
5. Analizar y evaluar los resultados posicionales con ortoimágenes del IGAC

4. MARCO TEÓRICO

La tecnología para la realización de fotogrametría digital con sensores montados en UAS, está evolucionando a gran velocidad, donde lo que hoy es norma, en un corto periodo de tiempo ya puede no serlo porque ha sido objeto de nuevos o mejores desarrollos.

Existe una creciente y diversa utilización en el campo de la topografía, a tal punto que, se está convirtiendo en la herramienta más utilizada para trabajos de exploración, pero también de precisión y exactitud posicional.

La exactitud posicional es definida por la NTC 6271 como la proximidad “*existente entre el valor medido y un valor verdadero de una magnitud. Por tanto, una medición será más exacta, cuando menor sea el error de medida o cuando ofrece una incertidumbre de medida más pequeña*”. En ese sentido, para esta investigación se considera el valor verdadero aquellas coordenada XYZ conseguidas con técnicas GNSS de procesamiento de datos RINEX y la exactitud será medida con base en el error de medida obtenido entre los puntos de chequeo y los puntos arcifinios observados en la ortofotografía para las coordenadas XY y para la coordenada Z con base en el Modelo Digital de Superficies (DSM).

Por su parte, la precisión es definida por la NTC 6271 como la medida “*de la repetitividad de un conjunto de medidas. Grado de cumplimiento de las observaciones, en relación con su valor real, siendo desconocido, el valor más probable es el que se considera como la media aritmética de estas observaciones o cumple con el 95% de nivel de confiabilidad*”. En ese sentido se evalúa la precisión del resultado fotogramétrico por medio de medidas estadísticas como la media, la desviación estándar, el error medio cuadrático y el nivel de confianza al 95%, con el chequeo de entre 27 y 34 puntos que fueron capturados por métodos GNSS.

Los sistemas de postprocesamiento cinemático (PPK por sus siglas en inglés) y de georreferenciación directa (DG por sus siglas en inglés), son sistemas que podrían ofrecer exactitudes alcanzables y que son fijados en los estándares ASPRS-2014 (ASORS, 2013;

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Whitehead & Hugenholtz, 2015b) para cámaras digitales sin puntos de control GCP o usando solo uno, o unos pocos, con los cuales se pueden lograr excelentes exactitudes en las tres coordenadas, xyz.

El sistema PPK es una técnica (Emlid.com, 2022) de postprocesamiento de datos GNSS habitualmente utilizada en topografía para obtener datos de alta precisión. Con esta técnica, aparte de los datos RINEX tanto de la estación base como del Rover, se necesita otra serie de archivos suministrados por el Servicio Internacional de Datos GNSS (IGS, 2022) como lo son, los datos de efemérides (ultrarrápidas, rápidas y precisas) y datos ionosféricos, entre otros. Este sistema puede ser usado tanto con instrumentos en tierra como por aquellos aerotransportados.

En relación con el sistema DG, este también es un sistema de postprocesamiento de datos GNSS para obtener resultados de alta precisión y exactitud posicional. La diferencia con el sistema PPK radica en que en el sistema DG (Borghini et al., 2015), se incluyen sensores de movimiento inercial (IMU por sus siglas en inglés), y que son postprocesados en conjunto con los datos de posición, es decir, se procesan de forma sincrónica, datos de posición (xyz) y de dirección (Omega, Phi, Kappa), lo que permite asegurar una mejor calidad en los resultados fotogramétricos. La tarjeta Applanix 15 de Trimble (TRIMBLE APPLANIX, 2019) es un buen ejemplo de este tipo de tecnologías.

Estos nuevos sistemas fotogramétricos, además de que permiten reducir costos y tiempo son accesibles para la mayoría de los profesionales dedicados al campo de la topografía. También es una realidad que muchos de estos sistemas ofrecen exactitudes posicionales centimétricas (Borghini et al., 2015) sin establecer o necesitar siquiera puntos de control terrestre, lo cual agiliza aún más los trabajos. Además, en campos como la ingeniería, ofrece más seguridad o minimiza los riesgos en sitios de difícil accesibilidad para el personal encargado de realizar labores de topografía.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

De otra parte, la carga útil (Payload), es la instrumentación montada en una aeronave y que es necesaria para tomar los datos fotogramétricos, es decir la cámara o sensor, el sistema IMU, la tarjeta y antena receptora de datos GNSS. Se sabe que la mayoría de las cargas útiles que transportan los sistemas UAS no tienen cámaras métricas (Burdziakowski & Bobkowska, 2021), pero el desarrollo de software para fotogrametría para cámaras no métricas utilizando algoritmos como "Structure from Motion" (SfM por sus siglas en inglés) (Tomás-Jover et al., 2016), están probados y han demostrado lograr las mejores precisiones siguiendo estrictos flujos de trabajo (Zhang et al., 2019). En estos flujos de trabajo deben garantizar, la buena calidad de la imagen, la calibración de la cámara y las estrategias de superposición y de georreferenciación, entre otros aspectos o características. Es de conocimiento también que (Zhang et al., 2019) las cámaras DSLR o Reflex ofrecen mejores resultados con respecto a las cámaras compactas o de acción, debido principalmente a la calidad de sus materiales, tienen objetivo fijo y los ángulos de la distancia focal son menores. Sin embargo, hay que considerar que las cámaras DSLR, son bastante pesadas, más costosas y sólo ciertos sistemas UAS, relativamente grandes, pueden transportar estos sistemas; por tal razón, la mayor parte del mercado de drones tiene como carga útil las cámaras compactas.

Unos ejemplos de sensores DSLR montado en UAS, son las cámaras Sony Alpha aR7 (36.4mpx) y Sony RXIRII (42.4mpx) en cargas útiles desarrolladas por la empresa Microdrones para sistemas de georreferenciación directa (DG) (Borghini et al., 2015). También existen (PHASEONE, 2022), en el mercado actual cámaras con 100, 150 o más megapíxeles de resolución listas para montar en sistemas UAS.

Las cargas útiles en UAS normalmente usan sensores de disparo rodante (Rolling shutter), estas son cámaras comerciales compactas o de acción construidas para el consumo del

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

público en general. Pero para la fotogrametría realizada con sensores montados en sistemas UAS, es mejor usar cámaras industriales con obturador global (Global shutter) porque estas cámaras pueden capturar el encuadre, en la mayoría de los casos, sin efectos de desenfoque de movimiento o de distorsión en los bordes de las fotos. El problema es que, hasta el momento, lograr más de 20mpx en el sensor no ha sido fácil. Las empresas más exigentes están utilizando este tipo de cámaras, algunas montadas sobre sistemas PPK para ofrecer mapeo de grado topográfico (Zhang et al., 2019) y siendo sistemas menos costosos que los de DG.

Recientemente, la empresa de origen chino DJI, fabricó para el mercado de la cartografía topográfica un sistema UAS RTK-PPK; denominado como Phantom 4 RTK, y aseguran, que es posible alcanzar precisión de menos de 5cm en coordenadas xy volando a 100 mts sobre el suelo (DJI, 2020). Lo anterior fue probado por DroneDeploy (Mulakala, 2019) que es un servicio de postprocesamiento fotogramétrico basado en la web, el cual probó su precisión en 30 vuelos a diferentes altitudes y superposiciones, obteniendo una precisión de coordenadas XYZ en promedio de 2 cm. Además, este es un sistema RTK - PPK menos costoso que usa una cámara con obturador global de 20mpx.

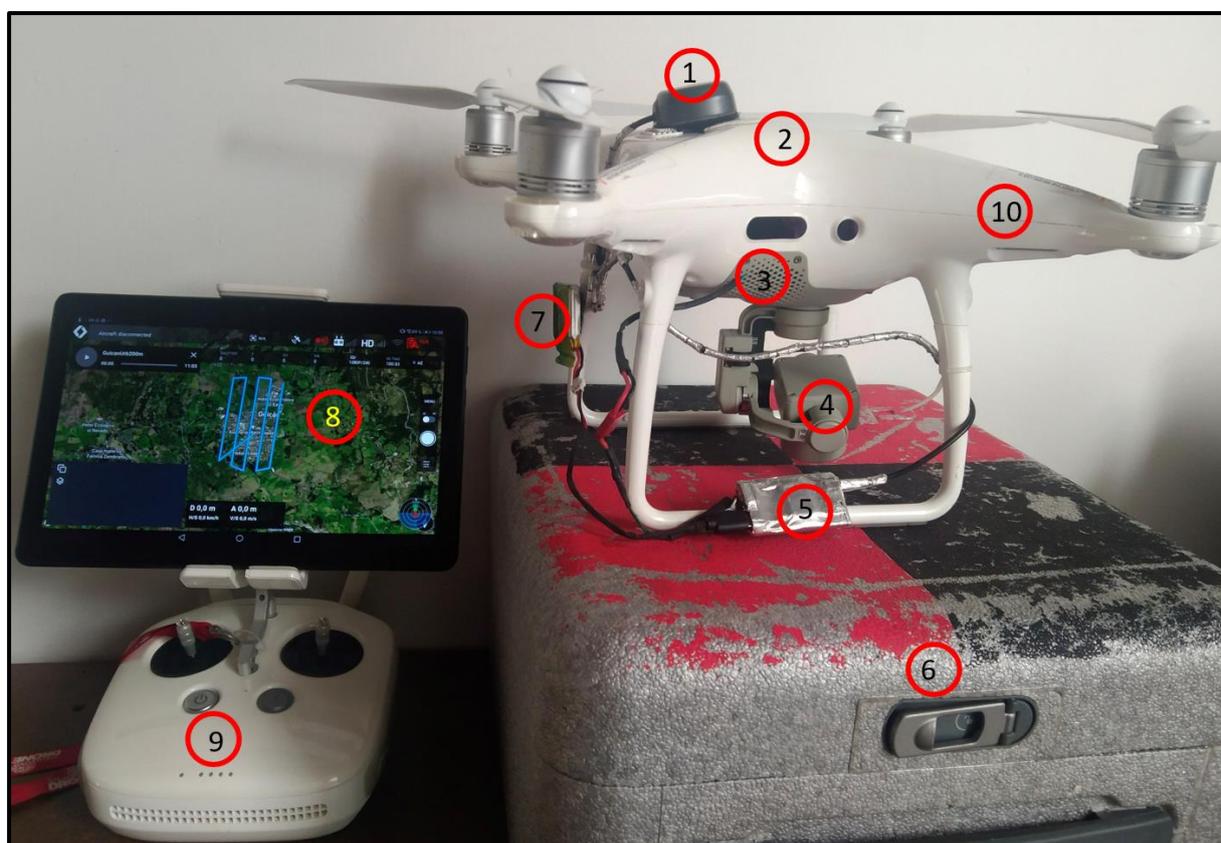
Debido a la cámara con obturador global, el bajo precio, la fácil portabilidad, manejo y la resistencia a condiciones ambientales diversas, muchas empresas y grupos de investigación están utilizando la versión Phantom 4 pro en sus proyectos y, para lograr un mapeo de grado topográfico, es imprescindible utilizar puntos de control (GCP), porque la antena GNSS de este sistema UAS, hecha para navegación y geotiquetado, es una antena L1 A / C, por lo tanto, la exactitud posicional alcanzable es de 3 a 10 metros.

Algunas empresas están actualizando el Phantom 4 a sistemas PPK (GPS World, 2019) y han demostrado que utilizando un receptor multiconstelación GNSS L1 tiene un nivel de exactitud centimétrico (Daakir et al., 2017).

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Para la investigación presentada en este documento, se utiliza un Phantom 4 pro V2.0 (DJI Phantom 4 Pro, 2020) modificado con una placa GNSS multiconstelación Emlid Reach L1 que utiliza una antena Tallysman TW4721 (Tallyzman, 2022), la cual se instala en la parte superior del UAS, mientras que la placa se integra con el fin de capturar el pulso eléctrico de forma sincrónica una vez que la cámara toma la foto. La siguiente figura muestra el vehículo aéreo no tripulado y la configuración de hardware GNSS L1 Integrada.

Fotografía 1. Sistema aéreo no tripulado (UAS) empleado en el vuelo fotogramétrico realizado en esta investigación



Fuente: Presente Investigación. Elementos del sistema UAS: 1) Antena GNSS L1 marca Tallysman TW4721. 2) Antena GNSS Interna de navegación C/A. 3) Cable de integración electrónica al dron y tarjeta EMLID L1. 4) Cámara fotográfica no métrica con obturación "global Shutter" de 20 megapíxeles. 5) Tarjeta de recolección de datos GNSS L1 EMLID. 6) Caja del dron. 7) Pila alimentadora de tarjeta EMLID GNSS L1. 8) Tableta Huawei con aplicativo Dronelink. 9) Radico Control. 10) Dron Phantom 4 Pro V2.0 de DJI.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Las características principales del drone Phantom 4 Pro V2.0, se exponen en el siguiente cuadro. Es necesario decir que para fotogrametría se utiliza el vuelo con ayuda GPS (Modo P) para que siga las líneas de vuelo prediseñadas.

Cuadro 1. Especificaciones técnicas del drone Phantom 4 Pro V 2.0 y cámara no métrica “global Shutter”

ITEM	CARACTERÍSTICA
Peso (Baterías y hélices incluidas)	1375 g
Tamaño en diagonal (sin hélices)	350mm
Velocidad máxima de ascenso	Modo S (deporte). 6m/s Modo P (Con ayuda GNSS) 5m/s
Velocidad de descenso	Modo S (deporte) 4m/s Modo P (Con Ayuda GPS) 3m/s
Máxima Velocidad	Modo S (Deporte): 72km/h Modo A (Sin ayuda GPS): 58 km/h Modo P (Con Ayuda GPS) 50 km/h
Máxima altitud	6.000m
Resistencia máxima a la velocidad del viento	10m/s
Máximo tiempo de vuelo	30 minutos
GNSS	GPS/GLONAS
Rango de sensor de obstáculos	0.7 a 30 m
Batería	5870 mAh LiPo 4S
Sensor de la Cámara	1 pulgada CMOS. 20mpx Efectivo
Lentes	FOV (Campo de Visión) 84° 8.8mm/24mm (35 mm formato equivalente) f/ 2.8 a 11 auto focus 1m a infinito
ISO (Sensibilidad a la luz)	100 – 3200 (automático) 100-12800 (Manual)
Velocidad de obturación mecánica	8 1/2000s
Tamaño de imagen	5472 x 3648 pixels
Formato de imagen	JPG, DNG (RAW)
Tarjeta SD	Micro SD Capacidad máxima 128 GB. Velocidad de escritura mayor a 15MB clase 10
Temperatura de Operación	0 a 40°C
Control remoto – máxima Distancia	6000m CE
batería del control remoto	6000 mAh LiPo 2S
Aplicación de fábrica para teléfono inteligente	DJI GO 4

Fuente: Elaboración propia a partir de especificaciones del drone phantom 4 Pro V 2.0 (DJI, 2022).

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

La cámara cuyo modelo es FC6310S, es fabricada por la empresa DJI y está integrada electrónicamente al UAS. Además, está estabilizada por medio de motores que permiten aislar las vibraciones del dron y por tanto permite tomar fotografías y videos nítidos, tanto de forma manual con el control remoto, como en líneas (tracks) programadas para vuelos fotogramétricos. La toma de la fotografía está integrada con la antena GNSS de navegación del dron- Esto asegura que cada vez que se toma una fotografía, en la información del metadato (EXIF) del archivo de la fotografía (*.JPG), queda registrada los datos de posición, es decir las coordenadas de Longitud, Latitud y Altura elipsoidal y por otra parte, tiene integrado el sistema IMU (Unidad de Movimiento Inercial) que permite capturar las coordenadas de dirección, es decir los ángulos pitch, roll y yaw (cabeceo, balanceo y guiñada) al momento de la obturación, lo cual permite hacer fotogrametría. Sin embargo, esta información es imprecisa debido a que la antena que por defecto tiene el UAS para navegación usa una señal L1 modulada C/A (course / acquisition), es decir, ofrece una calidad estándar con errores en posición aproximada de 2 a 10 metros en las coordenadas XYZ. En esta investigación, dichas coordenadas serán utilizadas para hacer comparación de exactitud con las coordenadas que serán capturadas de la tarjeta EMLID Reach GNSS L1, la cual se integra al UAS para capturar el pulso eléctrico que produce la captura de cada fotografía y en postprocesamiento se hace la corrección.

Por otra parte, a nivel de investigación científica, la cartografía topográfica levantada con fotogrametría fundamentada en sensores montados en sistemas UAS, (Burdziakowski & Bobkowska, 2021; Elkhachy, 2021; Manfreda et al., 2019; Odijk et al., 2012; Zhang et al., 2019) ya está probada su exactitud posicional con suficiencia. Pero la mayoría de los estudios científicos han sido elaborados en áreas planas u onduladas, sin embargo, en áreas con cambios bruscos de pendientes, o áreas montañosas, es una tarea que aún está por evaluarse. Dentro de los estudios existentes, recientemente Castro (Castro et al., 2018) realizó pruebas en diferentes tipos de áreas, incluyendo áreas planas urbanizadas,

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

montañas y escarpadas; los terrenos de estudio fueron de aproximadamente 4 hectáreas y utilizó 3, 6, 9 puntos de control y 20 de chequeo (comparación). Sin embargo, no es claro el resultado de exactitud, pues no se evidencia que se evalúe la exactitud posicional derivada de la evaluación de los puntos de chequeo, además, denominó áreas escarpadas a aquellos terrenos cuya pendiente media es superior al 8%, mientras que para el IGAC un terreno catalogado como “de ligeramente a fuertemente escarpado” es cuando la pendiente del terreno es superior al 25%.

Teniendo en cuenta que, Colombia y en general en América Latina, gran parte de la economía se desarrolla sobre áreas montañosas, es necesario avanzar en estudios de fotogrametría con sistemas UAS en dichas áreas para evaluar su real uso. Como se mencionó anteriormente, muy pocos estudios se han llevado a cabo en áreas que presenten abruptos cambios de desnivel y de pendientes. Se hace necesario evaluar la calidad de la fotogrametría para validar sus precisiones bajo los estándares del IGAC, de la ASPRS y de la norma técnica colombiana NTC 6271.

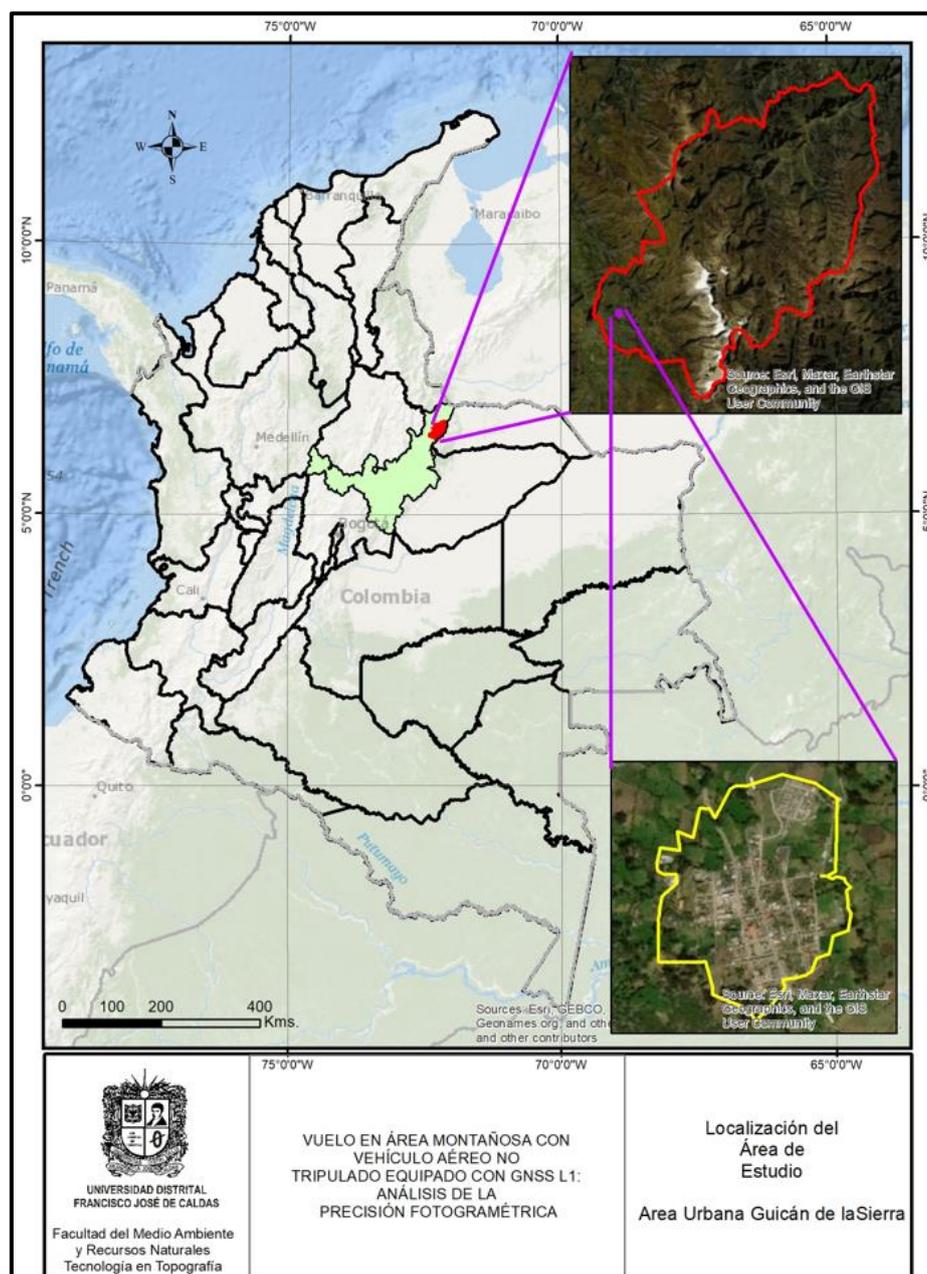
De acuerdo con todo lo expuesto anteriormente, este estudio propone evaluar si los productos fotogramétricos derivados de sistemas UAS, pueden utilizarse entre otros, para el levantamiento de áreas catastrales, localización de obras de ingeniería, como vías, acueductos, planeamiento urbano, etc., cumpliendo estándares de precisión aceptados por el IGAC (Resolución 388 de 2020), especialmente sobre áreas urbanas, centros poblados y asentamientos rurales de menos de 500 hectáreas. Dentro de éstas, especialmente las localizadas en terrenos montañosos correspondientes a las áreas de la cordillera de los andes en el territorio colombiano.

5. METODOLOGÍA

5.1 Área de Estudio.

El área de estudio, para esta investigación, se localiza en el área urbana y periurbana del municipio de Güicán – Boyacá. Ver figura 1.

Figura 1. Localización del municipio de Güicán (Boyacá) y su área urbana



Fuente. Realización propia a partir de datos abiertos del IGAC (2022) y Esquema de Ordenamiento territorial EOT de Güicán 2.000

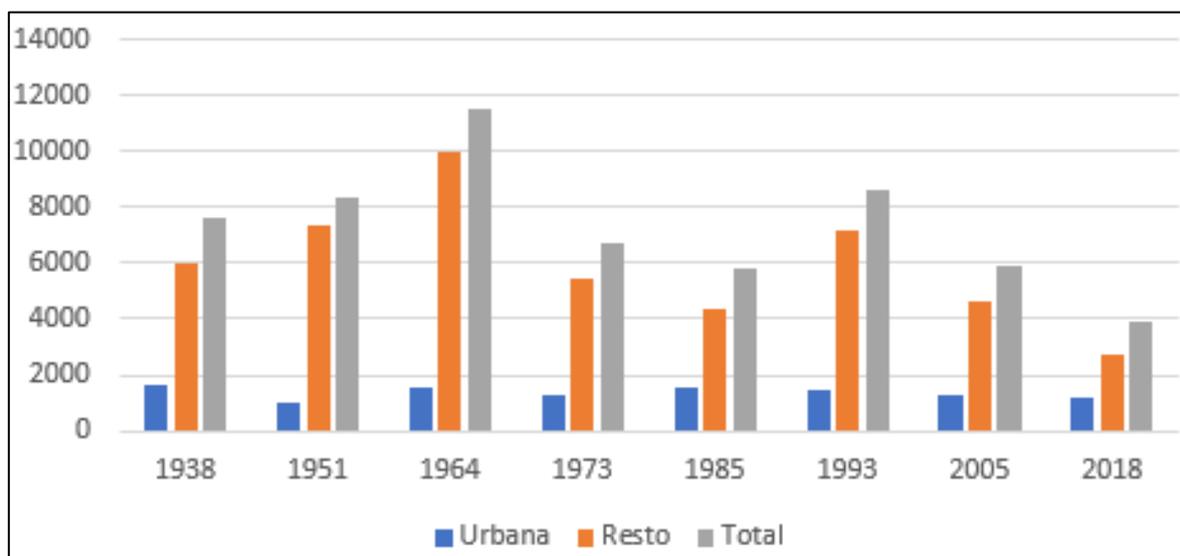
Vuelo fotogramétrico en área montañosa

El área total del municipio es de aproximadamente 92.572 Hectáreas, de las cuales, aproximadamente 27.5 Hectáreas corresponden al área urbana, la cual se encuentra a 2850 m.s.n.m. aproximadamente. En el área rural las alturas oscilan entre los 1500 y los 5530 metros sobre el nivel medio del mar en la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy o Chita.

El municipio, presenta superposición con el Parque Nacional Natural el Cocuy en un 82% aproximadamente. Esto lo convierte en un área privilegiada para actividades de ecoturismo.

En cuanto a su población, el municipio tiene 3.921 habitantes (DANE, 2018), de los cuales 1223 viven en el área urbana y 2698 en el área rural. De acuerdo con la figura 3, que muestra la dinámica de la población desde el censo de 1938 hasta el del 2018 (8 censos), se destaca que la población tuvo tendencia al aumento hasta 1964, luego disminuyó hasta 1985, volvió a aumentar hasta 1993 y desde ese año ha venido disminuyendo, en especial, en el área rural. En la parte urbana, el comportamiento ha sido más estable, aunque con una ligera tendencia a la disminución del número de habitantes. Ver figura 2.

Figura 2. Censos de Población 1938 a 2018 municipio de Güicán de la Sierra



Fuente: DANE. Censos de población de 1938 a 2018.

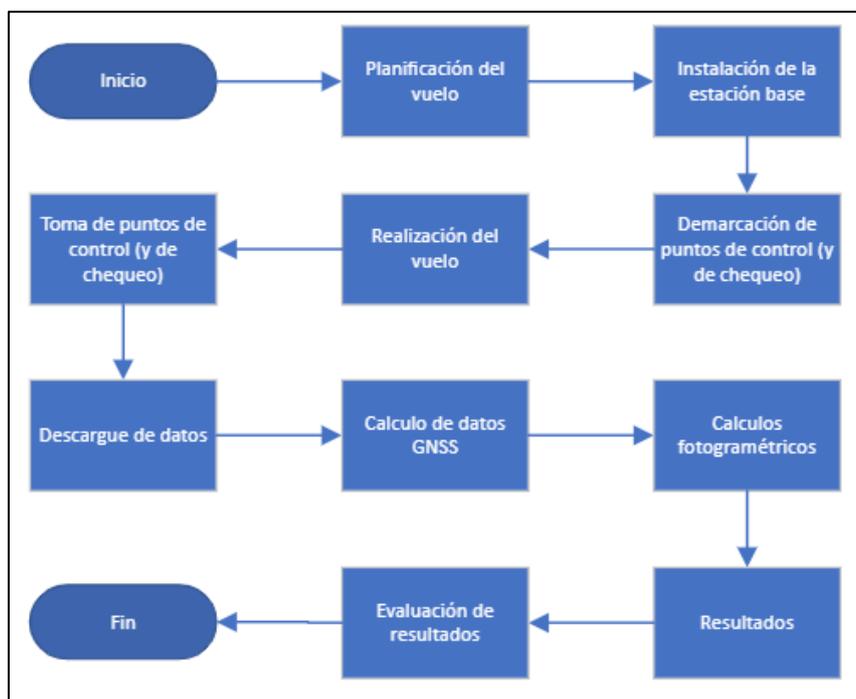
Así las cosas, se observa que el área de estudio corresponde a un municipio principalmente rural, con una población con tendencia a la disminución y que se encuentra ubicada en las

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

mayores alturas sobre el nivel medio del mar de la cordillera oriental de Colombia, lo que lo convierte en un área ideal para realizar esta investigación

La siguiente figura presenta el flujo metodológico utilizado en la presente investigación, el cual inicia con la planificación del vuelo, que corresponde al trabajo previo a éste, continúa con la inspección del área, la realización del vuelo, la toma de puntos de control y de chequeo, el descargue y el cálculo de datos GNSS y el posprocesamiento fotogramétrico hasta la obtención de resultados y el análisis de estos.

Figura 3. Metodología



Fuente. Elaboración propia

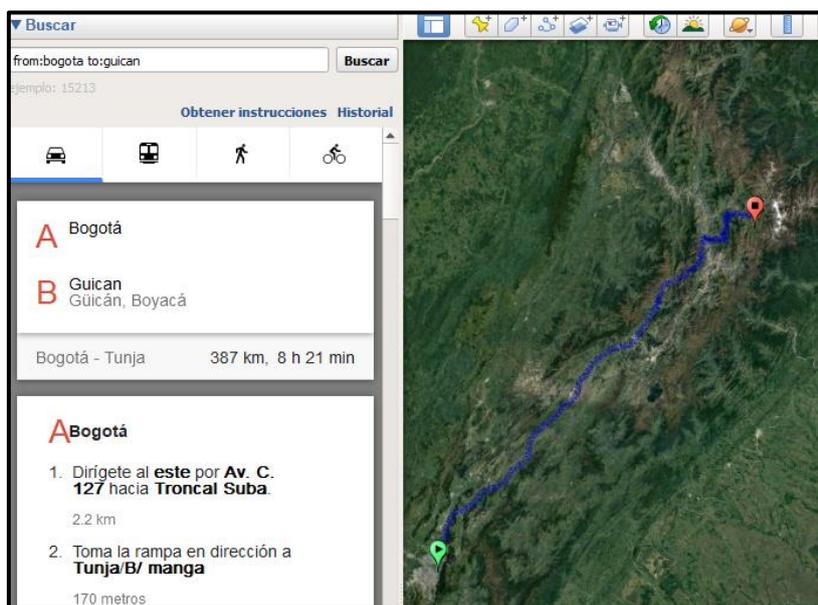
5.2. Planificación del vuelo.

Antes de la realización del vuelo, es necesario efectuar la planificación de este; la cual consiste en la verificación del área en la cual se debe hacer el vuelo. Desde aplicaciones como Google Earth se puede examinar el sitio seleccionado para calcular las distancias y modos de acceso,

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

entre otros aspectos. Por ejemplo, la indagación preliminar establece que, desde Bogotá hasta el municipio de Güicán, existen 387 Km de recorrido, que en carro particular toman alrededor de 8 horas y 21 minutos, de acuerdo con la figura 4. Estos datos son relevantes en la medida que hay que prever, dentro de la planificación, que se requieren destinar mínimo dos días en los viajes de ida y de regreso, aparte de los días necesarios para realizar el trabajo en campo.

Figura 4. Recorrido Bogotá – Güicán de la sierra



Fuente: Elaboración propia en Google Earth, 2022

5.2.1. Planificación del vuelo usando programa informático para información geográfica

Haciendo uso de Google Earth, que es una plataforma para el manejo de información geográfica, se pueden importar los polígonos de trabajo del área de estudio, en esta etapa, sirve para elaborar diagnósticos preliminares como, las mediciones de longitudes horizontales y de desniveles, los accesos y, los lugares potenciales para colocar la estación base, los puntos de control y de chequeo, con una distribución lo más homogéneamente posible sobre

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

el área de vuelo. El límite del área urbana se puede obtener a partir de capas de información geográfica dispuestas por el DANE, el IGAC o generadas en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) vigente del municipio. El polígono que se usó se extrajo del EOT porque contiene también el área definida como de expansión urbana, la delimitación de estas áreas y otros aspectos se encuentran en la siguiente figura.

Figura 5. Polígono del área urbana y de expansión urbana, planificación de puntos de chequeo, control y localización de estación base en la cancha de fútbol del municipio



Fuente: elaboración propia sobre Google Earth. Polígono extraído del EOT vigente realizado en el año 2.000

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

El área del polígono abarca 39 hectáreas, sin embargo, con ayuda de Google Earth, se puede establecer que de Norte a Sur hay una longitud de 1 km aproximadamente y de Occidente a Oriente de 800 metros aproximadamente, lo que equivale a un levantamiento fotogramétrico rectangular de aproximadamente 80 Hectáreas. Lo anterior para tener la certeza de levantar todo el polígono irregular que encierra el área urbana. Por otra parte, analizando el desnivel, se establece que la parte más baja está en la parte occidental, a 2810 m.s.n.m aproximadamente y, la parte más alta se encuentra a 2980 m.s.n.m., esto equivale a un desnivel aproximado de 170 metros.

La localización de la estación base se establece a 2930 m.s.n.m aproximadamente; este dato es importante para conocer la altura a la que se debe volar sin peligro de que la aeronave se vaya a chocar y que los traslapes entre fotografías queden bien definidos, ya que el vuelo va a ser realizado con altura fija desde el punto de despegue; también debe ser ejecutado, en lo posible, desde el sitio donde se localiza la estación base, es decir la cancha de futbol. Todo lo dicho anteriormente, desde luego puede cambiar, pues la realidad será la que imponga las condiciones reales del vuelo.

5.2.2. Aplicativos para planificación automática del vuelo

Existen, en la actualidad, un número significativo de aplicaciones tanto para equipos móviles y de escritorio, para la realización automatizada de líneas de vuelo fotogramétrico en sistemas UAS. Entre otros se destacan:

Mission Planner (ARDUPILOT, 2021), un aplicativo para computador de código abierto sobre el cual se puede planificar misiones, configurar tarjetas de vuelo autopilotos de hardware abierto para volar aeronaves y conducir vehículos en tierra y botes en agua.

UgCs for DJI (UgCS for DJI app, 2022) es una aplicación comercial para computador y para móviles que funciona en aeronaves de la firma DJI, su particularidad es que se pueden realizar

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

muchos modos de vuelo, incluso el modo de seguimiento del terreno, el cual garantiza conservar el nivel de vuelo sobre el terreno.

Desde luego que existen más aplicaciones, pero para el caso de la presente investigación se opta por la aplicación comercial Dronelink (Dronelink, 2022) por cuanto ofrece realizar planificación de vuelos desde el navegador de internet sin necesidad de instalar programas y posee aplicaciones para tabletas y teléfonos móviles con las cuales se puede comandar el vuelo. El diseño de los vuelos es sincronizado, es decir, si se hace un diseño de vuelo en el computador, este se verá reflejado en la aplicación móvil que desde luego debe estar conectada a internet para sincronizarlo.

Para la presente investigación, se generaron 6 líneas de vuelo que cubren la totalidad del área urbana del municipio de Güicán, se diseñó con un traslape frontal de 75% y lateral de 60%, en dirección Norte-Sur, con una velocidad de vuelo de 40 Km/h y altura de 150 metros sobre el sitio de despegue, lo que genera un tamaño de píxel en suelo de aproximadamente 6 centímetros. La figura siguiente muestra el resultado de la planificación del vuelo.

Figura 6. Planificación del vuelo fotogramétrico



Fuente: Elaboración propia sobre aplicación dronelink.

Cabe resaltar que, la actual regulación colombiana (UAEAC, 2018) permite realizar vuelos de hasta 123 metros de altura, siempre y cuando la aeronave se encuentre registrada, el vuelo debe ser con fines comerciales, el piloto debe tener licencia y se haya pedido permiso a la aeronáutica civil para la realización de las misiones.

Finalmente, se debe tener en cuenta el pronóstico meteorológico previsto para el día del vuelo, para ello es necesario consultar páginas como las del IDEAM para conocer la probabilidad de lluvia, la nubosidad, la velocidad y la dirección del viento. Todo lo anterior conlleva a lograr misiones seguras.

5.3. Instalación de la estación base

Uno o varios días antes de la realización del vuelo fotogramétrico, se debe recorrer el área a volar para buscar el mejor punto para la instalación de la estación base. Este lugar debe quedar localizado, en lo posible, dentro del área de vuelo o cerca de este; y es recomendable que no se encuentre a una distancia superior de 20 km, para asegurar un procesamiento de datos con mayor calidad, puesto que, tanto la base como el rover recolectarán los mismos satélites. La estación base se debe instalar en sitios seguros contra robos, perturbaciones por animales y personas; así como también, en terreno estable y libre de obstáculos.

La siguiente fotografía, muestra el sitio de instalación de la estación base. Este es el solar de un predio urbano que se localiza dentro del área de vuelo y se encuentra resguardado. La altura instrumental se fijó en tres metros para evitar multipath o señales reflejadas por objetos cercanos.

Fotografía 2. Instalación de la estación base

Fuente: Presente investigación

En vista que, este es un vuelo con carácter investigativo, no fue necesario materializar con pilastra este punto.

Otro aspecto para tener en cuenta es que, se debe hacer un recorrido inspeccionando los puntos planificados para hacer el control y chequeo con el fin de verificar la instalación de estos.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

El día anterior al vuelo, se debe verificar que todos los elementos asociados a la estación base estén listos, como los trípodes, bastones, espacio en la tarjeta o disco duro para la recepción de datos, la o las baterías totalmente cargadas, inspección de radios, antenas, y proformas para la descripción de la localización de la estación.

Es necesario aclarar que, si la estación base se monta sobre una pilastra con coordenadas conocidas, la lectura de datos se hará mientras transcurra el vuelo y la toma de puntos de control y chequeo. En cambio, si se hace sobre un punto sin coordenadas conocidas, se debe dejar por un tiempo de lectura prolongado para asegurar una buena fijación de coordenadas bien sea por métodos recomendados por el IGAC, es decir utilizando triangulación geodésica con base en estaciones de orden cero de la red MAGNA-SIRGAS, o por métodos alternativos, más efectivos y tan precisos como los anteriores; esto es, utilizando los servicios geodésicos de cálculo de coordenadas precisas ofrecidos por gobiernos como los de Canadá, Estados Unidos, Australia o de empresas privadas como Trimble. En el desarrollo de los resultados se ahondará en detalles de estos métodos que son poco conocidos en Colombia, pero que, en los países más avanzados, son los métodos preferidos.

La toma de datos se hace con una antena que recolecta datos L1 y L2 Swift (*Swift Navigation*, 2021) y se configura para la recepción de las constelaciones NavStar-GPS y GLONAS con frecuencia a 6 Hertz, es decir, 6 puntos por segundo, lo anterior para tener sincronía con los datos GNSS que tomará la antena L1 montada sobre el sistema UAS.

5.4. Demarcación de Puntos de control y de Chequeo

Como se indicó anteriormente, previamente se hace la planificación para tomar los puntos de control y de chequeo. Esto se puede hacer sobre la plataforma Google Earth o un programa de SIG. En campo se precisan y para esta investigación, se tomaron 33 puntos, distribuidos tanto en el área urbana como en el área rural. En el área urbana se demarcaron algunas

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

intersecciones de calles y carreras con pintura resistente a la intemperie y con alto contraste con el fin de ser reconocidas fácilmente en las aerofotografías, también se utilizaron las tapas de alcantarillas. Para la parte rural se utilizó tela de alto contraste, en este caso de color rojo y negro y con poca reflexión de luz para evitar empastelamiento de colores.

En el procesamiento fotogramétrico se decidirá la escogencia de algunos puntos para hacer control y el resto actuarán como chequeo para evaluar la calidad de la reconstrucción fotogramétrica representada en los productos principales, es decir la ortoimagen, el modelo digital de superficies y de terreno.

Las fotografías siguientes muestran algunos puntos de control tomados en el área de sitio de vuelo.

Fotografía 3. Punto tomado en superficie dura demarcado con pintura



Fuente: Presente investigación.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Fotografía 4. Punto tomado sobre tapa de alcantarilla pintada para un mejor contraste



Fuente: Presente investigación.

Fotografía 5. Puntos tomados sobre área rural en tela con colores de alto contraste y baja reflectancia



Fuente: Presente investigación.

5.5. Realización del vuelo fotogramétrico

Como se dijo anteriormente, para que se pueda realizar postprocesamiento cinemático, es necesario que la estación base esté posicionada, nivelada y tomando datos durante la misión para poder realizar cálculos PPK.

Por su parte, La realización del vuelo fotogramétrico exige seguir con rigurosidad los protocolos de seguridad como lo son verificar el estado general del sistema UAS, la carga de la batería, establecer puntos de emergencia, establecer el área de despegue y aterrizaje en área despejada y segura, tener con carga plena el dispositivo móvil y el mando de control y verificar que la tarjeta SD esté instalada y con espacio suficiente para la toma de aerofotografías.

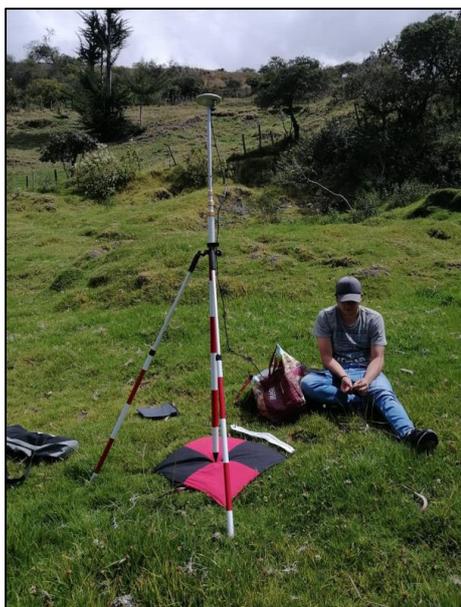
Además de lo anterior, como el sistema UAS está equipado con una antena GNSS L1, hay que configurar y encender dicha antena antes de la aeronave para verificar que la antena esté tomando datos de forma correcta, enseguida se enciende el drone y se vuela de forma automática para tener los mejores resultados con los parámetros de traslape, velocidad y altura previamente establecidos en la etapa de planificación del vuelo. Una vez que se completa la misión, se verifica el estado general de la aeronave, se verifican los motores palpando el calor de estos buscando sobrecalentamiento de estos, se verifica que la antena GNSS tome datos de forma correcta, se apaga tanto el sistema GNSS L1, como el drone y se desmonta la tarjeta SD para verificar en campo que la toma de fotografías y la calidad de estas sean las esperadas, de lo contrario hay que volver a repetir la misión. Como dato anecdótico, la realización del vuelo transcurrió como fue planeada, pero en la última línea aproximadamente a mitad de ella, la aeronave paró de hacer la misión. Hubo necesidad de reiniciarla desde ese punto y continuó tomando fotografías a través de la línea planificada.

5.6. Toma de Puntos de control y de Chequeo

Enseguida de haber realizado el vuelo fotogramétrico, de haber hecho la inspección postvuelo, de recolectado los elementos de la comisión topográfica y limpiado el lugar de despegue y aterrizaje, se procede a realizar la toma de puntos de control y de chequeo, utilizando el método denominado estático rápido (IGAC, 2011), el cual consiste en realizar recolección de datos GNSS en cada punto de control. El tiempo estipulado para este estudio es de 5 minutos por punto, tomando datos con una frecuencia de 6 Hertz, lo que asegura tener 1800 puntos por GCP.

La antena de la marca Swift (*Swift Navigation, 2021*), se monta sobre un bípode con bastón extensible. En la parte rural se despliega hasta los dos metros y en la parte urbana hasta los 4 metros para asegurar una toma de datos preferiblemente por encima o a nivel de los techos de las construcciones. Las fotografías siguientes muestran el despliegue y montaje de la antena GNSS sobre algunos puntos de control y/o de chequeo.

Fotografía 6. A. despliegue de bastón a 2 metros, B. Despliegue de bastón 4 metros.



Fuente: Presente investigación.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Luego de terminada la recolección de datos sobre cada uno de los puntos, se van recogiendo los objetivos de tela y luego del último punto barrido, se procede a desplazarse hasta la estación base, para corroborar que la burbuja sigue centrada, parar la recolección de datos, recoger todos los elementos y limpiar el lugar.

5.7. Descargue de Datos

Se descarga los datos GNSS crudos tanto de la antena GNSS L1 montada en la aeronave (formato original *.ubx), como de la estación base y de la estación rover (formato original *.sbp), estos son procesados para convertirlos en datos RINEX 3.0. También es necesario descargar todas las fotografías tomadas por el sensor montado sobre la aeronave, éstas vienen en formato *.jpg. En total se tomó 99 fotografía de las cuales 97 son utilizadas en el procesamiento fotogramétrico, las dos no utilizadas es debido a que fueron tomadas en sentido horizontal.

Otros datos que son importantes se obtienen del servicio geodésico internacional (IGS), estos son datos de efemérides precisas y datos ionosféricos.

5.8. Cálculo de Datos GNSS

Antes de realizar los cálculos GNSS se debe convertir los archivos originales al formato RINEX. Para esta investigación se utilizó el software de uso libre RTK LIB.

5.8.1. Tarjeta Emlid y antena Tallyzman

Esta tarjeta tiene un chip GNSS de la marca ublox (UBLOX, 2022) serie NEO-M8P, la cual recibe señal a través de la antena Tallysman (Tallyzman, 2022), de las constelaciones Beidou,

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

GLONASS,y GPS en la banda para uso civil L1. El formato de datos crudos es UBX, debe ser convertido al formato RINEX mediante una modificación especial realizada por la compañía Emlid al software de libre uso RTK LIB (Takasu, 2013), el cual sirve para la conversión, análisis y procesamiento de datos geodésicos.

5.8.2. Tarjeta Swift Navigation y Antena Harxon HXCGPS500

La tarjeta es desarrollada por la empresa Swift Navigation (*Swift Navigation*, 2021), recolecta datos crudos a través de la antena GPS500 Mini-Survey (Swiftnav, 2020), provenientes de las constelaciones GPS (L1/L2), GLONASS (G1/G2), BEIDOU B1/B2/B3 Y GALILEO E1/E5b. El formato crudo recolectado tiene la extensión *.SBP, el cual se convierte al formato RINEX mediante una librería denominada sbp2RINEX (Swift Navigation, 2022) que funciona con comandos D.O.S de Windows. Esta fue la antena utilizada tanto para la estación base, como para el rover.

5.8.3. Cálculo de coordenadas precisas de la estación base.

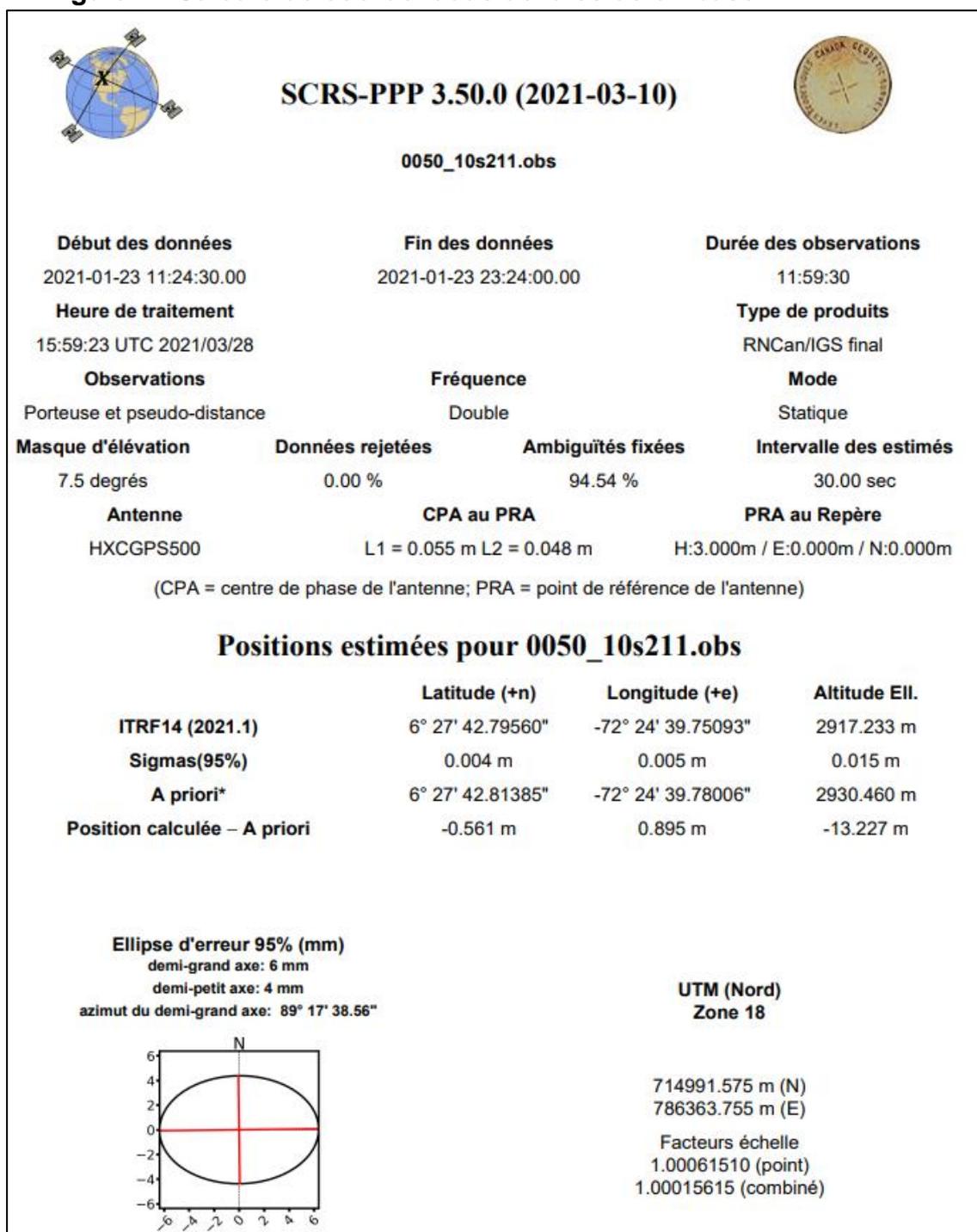
Lo primero que hay que realizar con los datos RINEX, es el cálculo de coordenadas precisas en formato ECEF (geocéntricos) o elipsoidales (Latitud, longitud, altura elipsoidal) bajo el ITRF 2014 a la época actual. Para la realización de este proceso, se puede utilizar dos métodos. El primero, que es el que el IGAC utiliza (IGAC, 2017), consiste en hallar las coordenadas precisas utilizando la red geodésica de orden cero o continua del IGAC, para lo cual se realiza una serie de triangulaciones geodésicas utilizando software comercial. Además, se necesitan datos adicionales como las efemérides precisas y otros datos que son descargadas del IGS. El resultado esperado depende de la distancia a la cual se encuentran las estaciones de referencia continua, el tiempo de recolección de datos, las condiciones físicas del lugar de

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

toma, es decir presencia o ausencia de árboles, oclusión por obstáculos, etc. El segundo método, no es muy conocido en Colombia, pero de amplio uso a nivel mundial y sobre todo en los países desarrollados. Es tan preciso o más que el anterior. Consiste en la utilización de servicios geodésicos en línea sobre internet. Estos tienen un desarrollo de más de 15 años y son ofrecidos entre otros por el servicio geodésico de Canadá (Natural Resources Canada, 2020), Opus de los Estados Unidos (NOAA, n.d.), AUSPOS desarrollado por el servicio geodésico de Australia (Australia, 2014) o por empresas comerciales como Trimble (Trimble, 2020). Este postproceso es mucho menos complicado que aquel realizado con la metodología que utiliza el IGAC. Este, simplemente consiste en conocer la altura instrumental, la marca de la antena y enviar el archivo en formato RINEX a cualquiera de estos servicios, que además son de libre uso para el usuario y en el término de 5 a 15 minutos luego de haber enviado el archivo, están regresando los resultados a través de una cuenta de correo.

Para esta investigación, hubo lectura de datos en la estación base por 11 horas y 59 minutos, se descargaron los datos, se convirtieron al formato RINEX y se envió el archivo al servicio geodésico de Canadá después de haber transcurrido 18 días para que el cálculo se realice con efemérides precisas. El resultado es el que se presenta en la siguiente figura. En el anexo 1 se presenta todo el informe de forma detallada.

Figura 7. Cálculo de coordenadas de la estación base



Fuente, Datos RINEX, presente estudio, cálculos: Servicio geodésico de los recursos naturales de Canadá.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Las coordenadas con exactitud al 95% de confianza basadas en ITRF-14, son las que se extraen a continuación:

Latitud: 6° 27' 42.79560"N (+/-) 0.004m

Longitud: 72° 24' 39.75093"W (+/-) 0.005m

Altura Elipsoidal: 2917.233 (+/-) 0.015m

Con base en estas coordenadas se procede a calcular en modo PPK, el recorrido cinemático de la antena montada sobre la aeronave y la selección de eventos (momento de toma de la aerofotografía) con sus coordenadas de gran exactitud y el cálculo de los puntos de control terrestre en modo estático rápido.

5.8.4. Cálculo de coordenadas precisas de los eventos (centro de la aerofotografía)

Una vez los datos son descargados y convertidos a formato RINEX, como se explicó en los apartados anteriores, se procede a realizar los cálculos geodésicos GNSS. Este cálculo se realiza en el denominado procesamiento cinemático PPK. Este consiste en que a partir de la estación base que está estática, se resuelven ambigüedades del rover o antena en movimiento. Para lo anterior, se utiliza el software de uso libre RTK LIB (Takasu, 2013), que permite parametrizar el cálculo con el objetivo de regresar coordenadas precisas, en este caso con calidad Q1 que significa resolución de ambigüedades. Como se mencionó anteriormente, las bandas utilizadas son L1 para el caso GPS y G1 de la constelación GLONASS.

Para el desarrollo del cálculo se necesita los siguientes archivos.

1. Archivos RINEX de la Antena montada sobre el rover (sistema UAS)
2. Archivos RINEX de la Antena de la estación base

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

3. Archivos de efemérides precisas (.sp3) descargados de la IGS
4. Archivo ngs14.atx que contine todas las antenas registradas en el IGS
5. Arvhivos de navegación .nav
6. Coordenadas calculadas de la estación base

Los datos GNSS corresponden a la semana GPS 2141. El vuelo fue realizado el 23 de enero de 2021, cae dentro de dicha semana y corresponde al día 6. El inicio fue a las 18:18:50.2 y el final a las 18:43:20.0 (Tiempo GPS), lo que indica un tiempo total de 24 minutos con 30 segundos. Lo anterior no significa que el vuelo duró esa cantidad de tiempo, se registra ese tiempo pues la antena GNSS es encendida previamente y permanece en el suelo mientras se hace el chequeo completo del sistema UAS.

Una vez descargado y montados todos los archivos en el software RTK LIB, utilizando la librería para postprocesamiento RTK POST, se parametrizó en diferentes configuraciones. Finalmente, se obtuvo los mejores resultados fijando la máscara de elevación en 15 grados, procesando datos en modo "Forward" o de ida. El resultado gráfico se muestra en la figura siguiente.

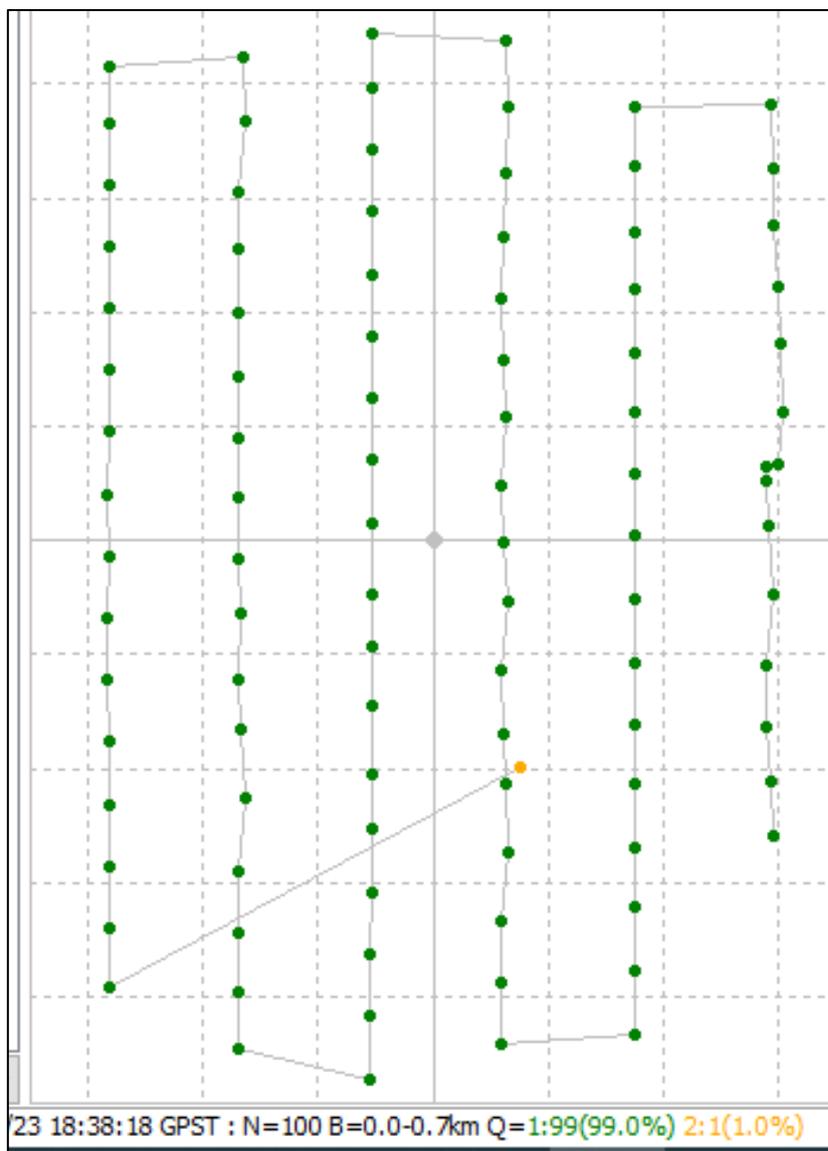
Figura 8. Resultado gráfico del procesamiento GNSS cinemático.

Fuente, elaboración propia utilizando la librería RTK Plot.

Como se observa, hubo fijación de ambigüedades para el 88.5% ($Q=1$) de los datos y para 11.5 no hubo resolución ($Q=2$). Lo anterior no afecta la calidad de los datos del vuelo, porque como se observa, las líneas de vuelo están con calidad $Q1$. La calidad $Q2$ se observa cuando la antena estaba en el suelo. (Puntos de color naranja).

El cálculo automáticamente genera y aísla los puntos que registran el momento preciso en que se tomó la fotografía, garantizando que el centro de la foto tiene la orientación exterior, es decir las coordenadas de latitud, longitud y altura elipsoidal. La figura siguiente muestra el resultado gráfico.

Figura 9. Extracción de eventos asociados a las fotografías tomadas durante la misión del vuelo



Fuente, elaboración propia utilizando la librería RTK Plot.

Como se observa, hubo un total de 99 eventos con calidad 1, es decir con resolución de ambigüedades. Cada evento corresponde a la toma de una fotografía. Hubo también un evento (tomado en el piso antes del vuelo) sin resolución de ambigüedades y este evento es normal, se genera al momento de iniciar la tarjeta GNSS Emlid L1. Así que todas las fotografías cuentan con coordenadas con gran exactitud posicional. La tabla siguiente muestra el resultado del postprocesamiento GNSS.

Cuadro 2. Coordenada (orientación exterior) del centro de las fotografías aéreas.

No	Foto	Latitud	Longitud	Alt. Elipsoidal
1	DJI_0456.JPG	6.46006673	-72.41428671	3130.3275
2	DJI_0457.JPG	6.460548647	-72.41428664	3131.3492
3	DJI_0458.JPG	6.461040178	-72.41428619	3131.1668
4	DJI_0459.JPG	6.461527606	-72.41428645	3131.204
5	DJI_0460.JPG	6.462020563	-72.41428689	3131.0003
6	DJI_0461.JPG	6.462508891	-72.41428806	3129.8627
7	DJI_0462.JPG	6.462998879	-72.41428788	3129.8747
8	DJI_0463.JPG	6.463491615	-72.41428696	3130.1812
9	DJI_0464.JPG	6.463979652	-72.41428753	3130.6449
10	DJI_0465.JPG	6.464472812	-72.41428693	3130.8409
11	DJI_0466.JPG	6.464961769	-72.41428687	3131.1306
12	DJI_0467.JPG	6.465450502	-72.41428689	3130.5829
13	DJI_0468.JPG	6.465939011	-72.41428629	3130.5872
14	DJI_0469.JPG	6.466421907	-72.41428412	3130.0175
15	DJI_0470.JPG	6.466918264	-72.41428678	3130.6177
16	DJI_0471.JPG	6.46736465	-72.41428567	3131.0602
17	DJI_0472.JPG	6.467441004	-72.41323051	3128.7979
18	DJI_0473.JPG	6.466943104	-72.41321492	3128.9879
19	DJI_0474.JPG	6.466378082	-72.41326003	3130.5021
20	DJI_0475.JPG	6.465915784	-72.41325689	3130.1986
21	DJI_0476.JPG	6.465419982	-72.41326242	3130.6722
22	DJI_0477.JPG	6.464912533	-72.41326357	3130.516
23	DJI_0478.JPG	6.46442907	-72.41326218	3129.5247
24	DJI_0479.JPG	6.463956755	-72.41326482	3129.8194
25	DJI_0480.JPG	6.463466144	-72.41326325	3129.4032
26	DJI_0481.JPG	6.463033989	-72.41324609	3129.4715
27	DJI_0482.JPG	6.46250522	-72.41326457	3128.8
28	DJI_0483.JPG	6.462116823	-72.4132398	3129.0033
29	DJI_0484.JPG	6.461575644	-72.41321576	3129.151
30	DJI_0485.JPG	6.461001365	-72.41326496	3129.9413
31	DJI_0486.JPG	6.460509151	-72.4132613	3129.8259
32	DJI_0487.JPG	6.460043649	-72.41326019	3129.8403
33	DJI_0488.JPG	6.459582216	-72.41326348	3130.0132
34	DJI_0489.JPG	6.459345189	-72.41222698	3129.7113
35	DJI_0490.JPG	6.459849796	-72.41222583	3129.9792
36	DJI_0491.JPG	6.460342308	-72.41222679	3130.757

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

No	Foto	Latitud	Longitud	Alt. Elipsoidal
37	DJI_0492.JPG	6.460830247	-72.4122256	3130.519
38	DJI_0493.JPG	6.461323034	-72.41222522	3130.5618
39	DJI_0494.JPG	6.461762263	-72.41221669	3130.0019
40	DJI_0495.JPG	6.462311183	-72.41222241	3129.468
41	DJI_0496.JPG	6.462781851	-72.41222359	3128.3581
42	DJI_0497.JPG	6.463179012	-72.41220906	3128.9116
43	DJI_0498.JPG	6.463757725	-72.41222238	3128.1118
44	DJI_0499.JPG	6.46425951	-72.41222495	3128.8992
45	DJI_0500.JPG	6.464747354	-72.41222261	3128.4128
46	DJI_0501.JPG	6.465230113	-72.4122237	3128.4902
47	DJI_0502.JPG	6.465725956	-72.41222158	3129.0043
48	DJI_0503.JPG	6.466217982	-72.41222397	3129.8771
49	DJI_0504.JPG	6.46670771	-72.41222211	3130.5332
50	DJI_0505.JPG	6.467199069	-72.41222359	3130.9622
51	DJI_0506.JPG	6.467629532	-72.41222203	3130.0522
52	DJI_0507.JPG	6.467567217	-72.41116746	3129.3897
53	DJI_0508.JPG	6.467046456	-72.41114853	3129.0731
54	DJI_0509.JPG	6.466530732	-72.41117428	3128.415
55	DJI_0510.JPG	6.466016269	-72.41119305	3129.1724
56	DJI_0511.JPG	6.46552496	-72.41119573	3130.4546
57	DJI_0512.JPG	6.465037796	-72.4111934	3129.2374
58	DJI_0513.JPG	6.464587178	-72.41117067	3128.3509
59	DJI_0514.JPG	6.464051164	-72.41119504	3129.2013
60	DJI_0515.JPG	6.463590853	-72.41118709	3129.2725
61	DJI_0516.JPG	6.463133757	-72.41114798	3128.5128
62	DJI_0517.JPG	6.462583287	-72.41119619	3129.4812
63	DJI_0518.JPG	6.462083807	-72.41119173	3129.6337
64	DJI_0519.JPG	6.461678622	-72.41115932	3128.3357
65	DJI_0520.JPG	6.461152988	-72.41115505	3128.7377
66	DJI_0521.JPG	6.460597399	-72.41119796	3129.6826
67	DJI_0522.JPG	6.460116317	-72.41119633	3129.5326
68	DJI_0523.JPG	6.459632423	-72.41119563	3129.1493
69	DJI_0524.JPG	6.45970045	-72.41016174	3129.1701
70	DJI_0525.JPG	6.460206432	-72.41016087	3129.5693
71	DJI_0526.JPG	6.460716638	-72.41015997	3129.4858
72	DJI_0527.JPG	6.46118414	-72.410158	3129.3043
73	DJI_0528.JPG	6.461690039	-72.41015635	3128.8663
74	DJI_0529.JPG	6.462162151	-72.41015645	3129.2753
75	DJI_0530.JPG	6.462651532	-72.41015546	3129.4615
76	DJI_0531.JPG	6.463142871	-72.41015368	3129.3055
77	DJI_0532.JPG	6.463648149	-72.4101517	3129.0344
78	DJI_0533.JPG	6.464141222	-72.41015401	3128.565
79	DJI_0534.JPG	6.464632718	-72.41015582	3128.7916

No	Foto	Latitud	Longitud	Alt. Elipsoidal
80	DJI_0535.JPG	6.465102199	-72.41015524	3128.6248
81	DJI_0536.JPG	6.465609375	-72.41015554	3129.043
82	DJI_0537.JPG	6.466062161	-72.410148	3129.3647
83	DJI_0538.JPG	6.466588398	-72.41015478	3129.1028
84	DJI_0539.JPG	6.467057625	-72.41015434	3128.9484
85	DJI_0540.JPG	6.467066608	-72.40908447	3127.2741
86	DJI_0541.JPG	6.466555826	-72.40907261	3128.5938
87	DJI_0542.JPG	6.466115402	-72.40906557	3127.9516
88	DJI_0543.JPG	6.465628469	-72.4090383	3127.5714
89	DJI_0544.JPG	6.465168534	-72.40900794	3127.9417
90	DJI_0545.JPG	6.464622884	-72.40900148	3128.7436
91	DJI_0546.JPG	6.464210776	-72.40903077	3129.3322
92	DJI_0547.JPG	6.464193576	-72.40912655	3126.984
93	DJI_0548.JPG	6.464086845	-72.40912346	3127.3265
94	DJI_0549.JPG	6.463724163	-72.40909883	3127.9339
95	DJI_0550.JPG	6.463189555	-72.40905942	3127.1661
96	DJI_0551.JPG	6.462616549	-72.40911634	3128.0224
97	DJI_0552.JPG	6.462133068	-72.40912373	3127.8382
98	DJI_0553.JPG	6.461699068	-72.4090851	3126.8816
99	DJI_0554.JPG	6.461273349	-72.40906073	3127.196

Fuente: elaboración propia. Coordenadas en grados decimales. Datum WGS84

5.8.5. Cálculo de coordenadas precisas de los GPC

Para la realización del cálculo de las coordenadas con gran exactitud posicional de los puntos de control/chequeo terrestre, igualmente se realiza con el software de uso libre RTK LIB. En este caso se configura para realizar resoluciones en modo estático. Como se dijo anteriormente, el rastreo se hace por un tiempo de 5 minutos y por ello (IGAC, 2011), se le denomina "Estático Rápido".

Es necesario realizar el cálculo punto a punto pues el programa no permite el ingreso más que para uno a la vez, lo cual es un poco engorroso, pero permite realizar diferentes configuraciones para poder seleccionar la mejor configuración y llegar al objetivo que es resolver ambigüedades.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

El proceso es similar al anterior, es decir se necesita el mismo número de archivos. Los dos parámetros que cambian es que se selecciona postprocesamiento en estático y como las dos antenas (rover y base) leen bandas L1/L2, se selecciona esta opción. Los datos provienen de la constelación GPS y GLONAS.

En la realización del cálculo, sobre todos los puntos se resolvieron ambigüedades. La siguiente figura muestra un ejemplo del reporte de configuración y el resultado.

```

% program      : RTKPOST ver.2.4.2
% inp file    : D:\0_Colombia\GUICAN\fligs\GNSS\ROVER\23-01-2021\RINEX\0042\0042.obs
% inp file    : D:\0_Colombia\GUICAN\fligs\GNSS\BASE\BASE_POTRERO\RINEX\0049_BaseGuicanPotrero2021-01-23_1\0049.obs
% inp file    : D:\0_Colombia\GUICAN\fligs\GNSS\BASE\BASE_POTRERO\RINEX\0049_BaseGuicanPotrero2021-01-23_1\0049.nav
% inp file    : D:\0_Colombia\GUICAN\fligs\GNSS\EPHEMERIS\sp3\*
% obs start   : 2021/01/23 00:45:44.0 GPST (week2141 521144.0s)
% obs end     : 2021/01/23 00:50:35.0 GPST (week2141 521435.0s)
% pos mode    : static
% freqs       : L1+L2
% solution    : combined
% elev mask   : 15.0 deg
% dynamics    : off
% tidecorr    : off
% ionos opt   : broadcast
% tropo opt   : saastamoinen
% ephemeris   : precise
% navi sys    : gps glonass
% amb res     : fix and hold
% amb glo     : on
% val thres   : 3.0
% antenna1   : HXCGPS500      NONE ( 0.0000  0.0000  4.0000)
% antenna2   : HXCGPS500      NONE ( 0.0000  0.0000  3.0000)
% ref pos    : 1916097.2563  -6044345.2022  713363.3171
%
% (x/y/z-ecef=WGS84,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
% GPST      x-ecef(m)  y-ecef(m)  z-ecef(m)  Q  ns  sdx(m)  sdy(m)  sdz(m)  sdx(y)(m)  sdy(z)(m)
2021/01/23 00:45:44.000  1916199.3675  -6044331.1486  713362.6867  1  15  0.0003  0.0006  0.0003  -0.0003  -0.0002

```

Fuente, Elaboración propia Software RTK LIB

En el reporte se observa la configuración o parametrización de la realización del cálculo, el resultado se muestra en coordenadas ECEF o geocéntricas (xyz). La calidad es 1, significa resolución de ambigüedades, se utilizó 15 satélites y las desviaciones estándar señalan exactitudes micrométricas. Lo anterior es importante, porque de acuerdo con la normatividad vigente(IGAC, 2020), los puntos de control deben ser como mínimo tres veces superior a la exactitud esperada en el proceso fotogramétrico, es decir de carácter centimétrico debido al tamaño del píxel (6.25cm para esta investigación).

El resultado para cada uno de los puntos se muestra a continuación.

Cuadro 3. Coordenadas finales de los puntos de control/chequeo para evaluación de exactitud posicional

ID	Latitud	Longitud	Altura_Elipsoidal	Solucion	No Satelites	sdx-m	sdym	sdz-m
40	6.462198	-72.4108004	2923.16	1	16	0.0003	0.0005	0.0002
41	6.460934	-72.41041577	2923.781	1	17	0.0003	0.0005	0.0003
42	6.461864	-72.41012394	2934.495	1	15	0.0003	0.0006	0.0003
43	6.462282	-72.41016646	2934.781	1	14	0.0003	0.0007	0.0003
44	6.464006	-72.4103351	2933.679	1	14	0.0004	0.0008	0.0003
45	6.463846	-72.41121636	2917.559	1	14	0.0004	0.0008	0.0003
46	6.461613	-72.41110895	2914.998	1	13	0.0004	0.0007	0.0003
47	6.460377	-72.41101704	2899.238	1	12	0.0062	0.009	0.0038
48	6.460538	-72.41201229	2888.007	1	10	0.0004	0.0006	0.0003
49	6.46124	-72.41330667	2876.828	1	11	0.0003	0.0007	0.0003
50	6.462761	-72.41215497	2892.071	1	11	0.0003	0.0008	0.0003
51	6.463466	-72.41418295	2875.042	1	12	0.0003	0.0009	0.0003
52	6.461731	-72.41174642	2899.338	1	12	0.0003	0.001	0.0003
53	6.466707	-72.41122106	2948.214	1	12	0.0003	0.0007	0.0002
54	6.465822	-72.41053535	2943.351	1	7	0.0004	0.0008	0.0003
55	6.465128	-72.41192663	2910.452	1	12	0.0005	0.0008	0.0003
56	6.464303	-72.41222118	2898.475	1	11	0.0006	0.0009	0.0003
57	6.464749	-72.41268962	2888.911	1	12	0.0005	0.0007	0.0003
58	6.465854	-72.41424806	2850.181	1	10	0.0005	0.0008	0.0003
59	6.464927	-72.41509146	2828.375	1	9	0.0006	0.001	0.0004
60	6.46462	-72.41369613	2861.567	1	10	0.0005	0.0007	0.0003
61	6.461966	-72.41408073	2854.747	1	9	0.0005	0.0007	0.0003
62	6.461798	-72.41502996	2830.38	1	10	0.0004	0.0007	0.0003
64	6.463075	-72.41542639	2825.096	1	10	0.0004	0.0009	0.0003
65	6.460638	-72.41321387	2864.146	1	15	0.0003	0.0006	0.0002

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

ID	Latitud	Longitud	Altura_Elipsoidal	Solucion	No Satelites	sdx-m	sdy-m	sdz-m
66	6.460638	-72.4132139	2864.142	1	15	0.0003	0.0006	0.0002
73	6.467069	-72.41086429	2959.042	1	8	0.0003	0.0007	0.0003
74	6.465372	-72.40988867	2958.335	1	7	0.0004	0.0009	0.0003
75	6.465249	-72.40860641	3011.56	1	8	0.0005	0.0008	0.0003
76	6.463043	-72.40815683	3003.928	1	8	0.0006	0.0007	0.0003
77	6.463491	-72.40892862	2959.769	1	8	0.0006	0.0007	0.0003
79	6.461037	-72.40966754	2922.442	1	6	0.0005	0.0008	0.0003
80	6.458844	-72.41191544	2831.893	1	7	0.0005	0.0009	0.0003
Base	6.461888	-72.41104186	2917.2159	1	20	0.003	0.005	0.016

Fuente, elaboración propia. Calculos geodésicos en RTK LIB

En total son 34 puntos, incluyendo la estación base, puesto que como se observa en la fotografía 1, se instaló en el suelo una marca y como ella se encuentra dentro de la zona del vuelo, esta sirve para hacer chequeo de la calidad fotogramétrica.

Por otra parte, el punto más elevado es el identificado con el número 75 con 3011.560 m de altura elipsoidal y el más bajo es el identificado con el número 64 con 2825.096m de altura elipsoidal, lo que significa un desnivel de 186.464 metros entre el más alto y el más bajo, lo que denota claramente que el terreno no es ni plano ni ondulado, sino de corte moderada a fuertemente escarpado. Lo anterior en concordancia a los valores que se observan en la columna de alturas elipsoidales de cada punto.

5.8.6. Conversión de altura elipsoidal a altura ortométrica.

Como se observa en los cuadros anteriores, las alturas calculadas están basadas en el elipsoide, por tanto, es necesario convertirlas a alturas ortométricas basadas en el modelo geoidal (IGAC, 2022) para Colombia GEOCOL2004. Para hacer esto, el IGAC (IGAC, 2021)

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

dispuso para uso libre un programa denominado MAGNA-SIRGAS, que entre otras funcionalidades, tiene un módulo para nivelación GPS. Este necesita el archivo que contenga organizados en una tabla los campos: Punto, Latitud, Longitud, Altura Elipsoidal y Altura Nivelada. Se necesita tener cercano al área de estudio dos puntos NP que contengan alturas niveladas y que van a servir para hacer el amarre y transformación de alturas. Dentro de la base de datos del IGAC se buscó los puntos más cercanos al área de vuelo, el resultado arrojó que son el punto 23-B0-5 Localizado en el municipio de El Espino – Boyacá y que se utilizó para la apertura, y el punto 35-BO-5 Localizado en el municipio de Guacamayas que se utilizó para el cierre. Los puntos se encuentran aproximadamente a 9 y 14 Km del área de vuelo.

Este cálculo se realiza para la estación base, los puntos de control/chequeo y los puntos del centro de las fotografías aéreas. El resultado de esta transformación de alturas se localiza en el anexo 2, y 3. y estos son los tomados para el procesamiento fotogramétrico. De esta forma, quedan listas las coordenadas de latitud, longitud y altura ortométricas.

5.9. Cálculos Fotogramétricos

El procedimiento fotogramétrico se realiza utilizando el software Agisoft (AGISOFT, 2022), de origen ruso que está a la vanguardia para realizar procesamiento fotogramétrico basado en algoritmos SfM (Tomás-Jover et al., 2016), que consiste, como en los procesos fotogramétricos realizados con cámaras métricas, en convertir las imágenes de las fotografías aéreas en formato ortogonal corrigiendo las desviaciones debido al relieve, los movimientos de la cámara y la proyección cónica de los rayos que salen del foco de la cámara hacia el objetivo en tierra.

En la realización de dichos cálculos se necesita como insumos los siguientes elementos.

1. Fotografías aéreas digitales

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

2. Archivo de orientación exterior (Coordenadas longitud, latitud y altura ortogonal del centro de la foto aérea (Ver anexo 3).
3. Archivo de coordenadas de los puntos de chequeo y/o control (Ver anexo 2)

Primero se cargan las fotos, enseguida el archivo de orientación exterior, el cual debe configurarse en las columnas correctas para evitar errores, por ejemplo, poner las coordenadas de Latitud en donde debe ir las coordenadas de Longitud, es decir acá deben empatar los campos. Para una mejor ilustración, la figura siguiente muestra el proceso.

Figura 10. Configuración del archivo de orientación exterior.

Label	Latitude	Longitude	Altitude
1 Foto	Lat	Long	AltNivOrtoIGAC
2 DJI_0456.JPG	6.46006673	-72.41428671	3111.47
3 DJI_0457.JPG	6.460548647	-72.41428664	3112.489
4 DJI_0458.JPG	6.461040178	-72.41428619	3112.304
5 DJI_0459.JPG	6.461527606	-72.41428645	3112.338
6 DJI_0460.JPG	6.462020563	-72.41428689	3112.131
7 DJI_0461.JPG	6.462508891	-72.41428806	3110.991

Fuente: Elaboración propia sobre software Agisoft.

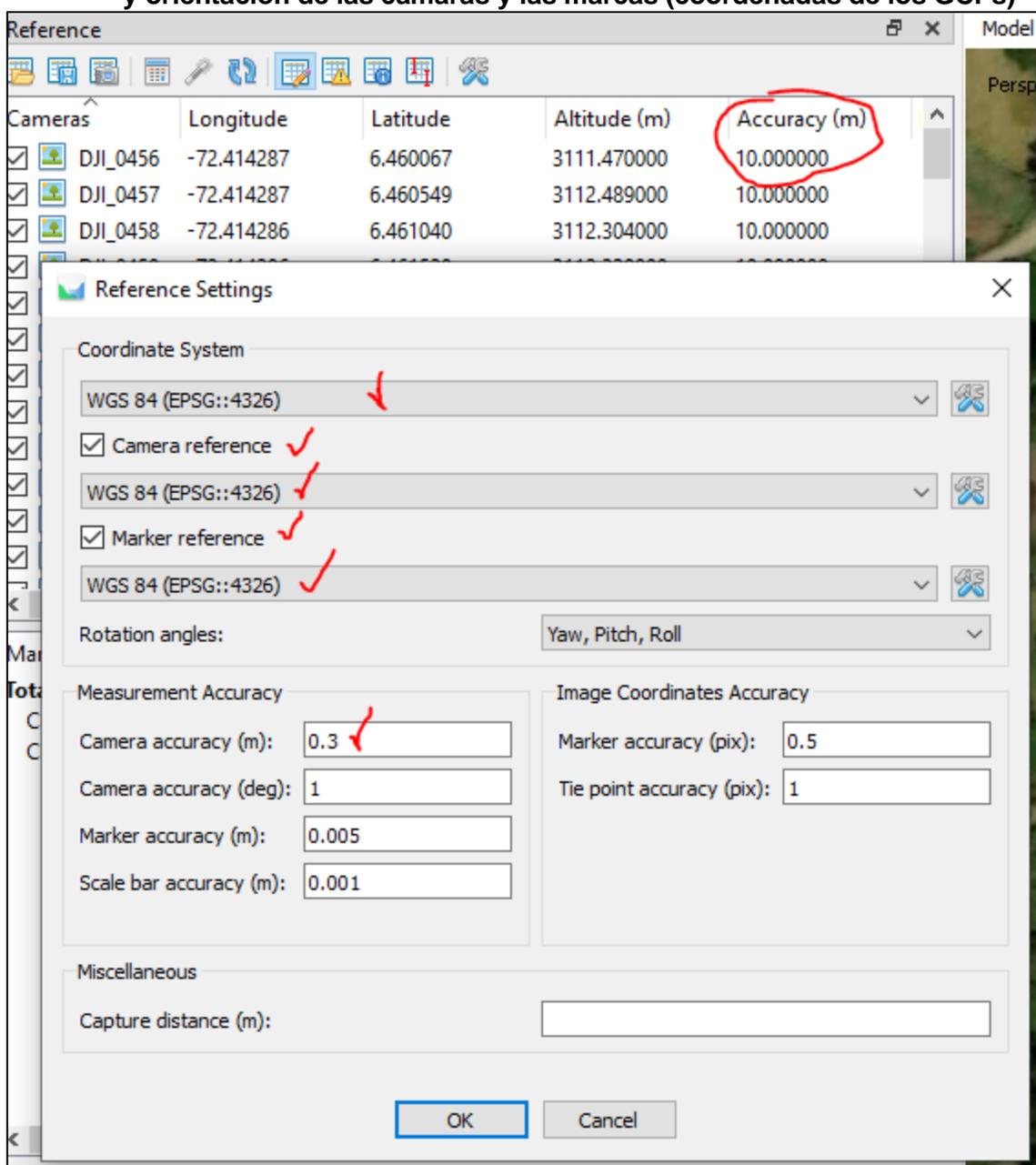
Obsérvese en la parte derecha de la figura anterior, los puntos que corresponden al centro de las fotografías dan cuenta de la distribución espacial encima del área objeto de levantamiento fotogramétrico.

Enseguida, es necesario configurar algunos parámetros que son necesarios para asegurar que sean los correctos, por ejemplo, seleccionar los sistemas de referencia para la entrada de datos, en este caso WGS84, así como también la exactitud de los datos de entrada que

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

originalmente están configurados para 10 metros, pero se supone que la antena L1 mejora la precisión, por tanto, esta casilla se configura con una precisión de 30 centímetros. Lo anterior asegura que el proceso fotogramétrico se desarrolla de forma mucho más rápido puesto que la búsqueda de puntos coincidentes se hace en menos tiempo al definir un radio más restringido. La figura siguiente muestra los campos que se deben configurar.

Figura 11. Configuración del sistema de referencia y exactitud de posicionamiento y orientación de las cámaras y las marcas (coordenadas de los GCPs)



Fuente: Elaboración propia sobre software Agisoft.

El cargue de los puntos de control y/o de chequeo, se hacer enseguida. Esto se hace de la misma manera que el proceso señalado en la figura 10.

Enseguida se puede hacer el proceso fotogramétrico, el cual consiste en seguir los siguientes pasos.

1. Realizar el alineamiento de las fotografías. Consiste en hacer la triangulación de las fotografías. Para ello utiliza datos de orientación interior de la cámara (distancia focal, coeficientes de distorsión de lentes y coordenadas del punto central) y orientación exterior (Latitud, Longitud, Altura). El resultado es una nube de emparejamiento primario o puntos de paso (Tie points)
2. Hacer la corrección de la triangulación utilizando las coordenadas de los puntos de control que se requieran configurar como "control" y de aquellos que se quieran configurar como "chequeo" para evaluar la calidad de exactitud del levantamiento fotogramétrico. Este es un paso muy importante para asegurar la calidad de la exactitud posicional del resultado fotogramétrico, es decir el mosaico de ortoimágenes, el modelo digital de superficies y el de terreno.
3. Se hace una optimización de cámara s para que se haga un ajuste de los parámetros internos de la cámara (ajuste de distancia focal, distorsión de lentes y punto central) y la rotación y traslación relacionada con el amarre de las coordenadas xyz definidas por los puntos de control.
4. Hacer la nube de puntos densa. En este panel se configura la calidad general que tiene valores desde muy baja hasta extremadamente alta. Para esta investigación se selecciona alta por la cantidad de recursos que demanda hacer la ultra alta.
5. Construir el modelo DEM. Este se hace utilizando la nube de puntos densa, la cual interpola para realizar un archivo raster que contiene la altura de cada celda. Es de

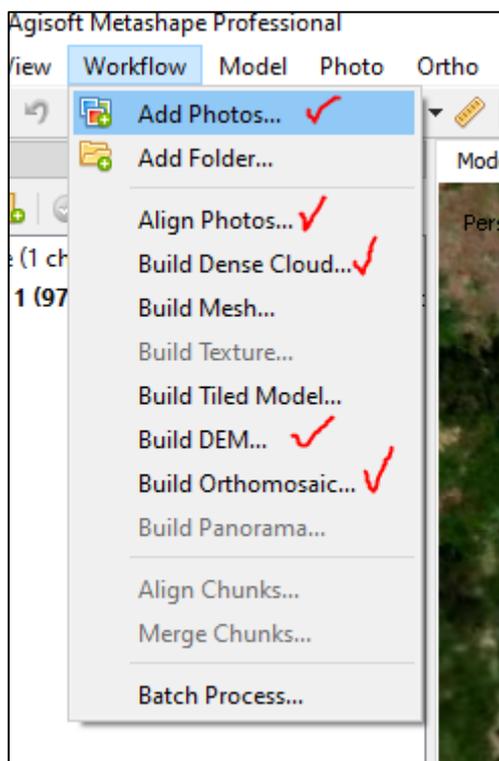
Vuelo fotogramétrico en área montañosa

anotar que este modelo, si previamente no se ha hecho una clasificación de la nube de puntos densa, selecciona todos los puntos de la nube y por tanto el resultado es un modelo digital de superficie (DSM) por sus siglas en inglés. Este es el parámetro escogido para posteriormente hacer el ortofotomosaico.

6. Construir el orfotomosaico. Este paso crea dentro del proyecto un orfotomosaico basado en el DMS creado anteriormente.

La figura de abajo muestra parte de este flujo diagrama.

Figura 12. Flujodiagrama del proceso fotogramétrico



Fuente: Agisoft

Luego del proceso de alineación y ajuste del modelo a los puntos de control se puede hacer un reporte que va a mostrar los cálculos de calidad. Es importante subrayar que, en esta investigación, aunque se cargan todos los puntos GCP, solo se utilizarán algunos pocos. Su cantidad dependerá de las diferentes configuraciones en las cuales se analizarán los resultados.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Finalmente se crea y exporta el ortofotomosaico y el modelo digital de superficies DSM al formato geotiff, enseguida son cargados al software ArcGis donde se hará el proceso de verificación de la calidad de la exactitud posicional de los resultados.

Se harán diferentes configuraciones para evaluar en cuales se obtienen los mejores resultados e igualmente ver la importancia de utilizar puntos de control terrestre y de chequeo en sistemas UAS equipados con antena GNSS L1. El siguiente cuadro muestra las configuraciones que se van a probar.

Cuadro 4. Configuración de procesamiento fotogramétrico

No.	Parámetros del procesamiento
1	P1. Se hace teniendo en cuenta la importación de coordenadas precisas calculadas por métodos geodésicos tanto de las fotografías como de los puntos de control terrestre. Se selecciona 5 puntos de control terrestre y se hace el procedimiento. No se deseleccionan las fotos.
2	P2. Se hace lo mismo que el anterior, salvo que en este procesamiento se deseleccionan las fotos que, de acuerdo con varios videos colocados en youtube se deben deseleccionar para que las imágenes tomen como referencia las marcas de los 5 puntos de control seleccionados (https://www.youtube.com/watch?v=dRsurGsc1nw&ab_channel=SIGArteaga)
3	P3. Se hace todo el procedimiento como en P1. Pero sin amarrar a puntos de control terrestre.
4	P4. Se hace procedimiento utilizando la georreferenciación que viene por defecto en cada foto, es decir la realizada por la antena GNSS de navegación normal de la aeronave.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

5	P5. Se utiliza procedimiento con orientación exterior precisa. Se realiza el procedimiento utilizando la calibración de cámara realizada en P1
6	P6. Se hace lo mismo que en P5. Solo que en este se deja accuracy camera a 0.3m.
7	P7. En este procesamiento se hace lo mismo que en P6, pero la calibración de la cámara se deja "fija". Con esto quiere decir que conserva la misma distancia focal y correcciones fijas para todas las fotografías.
8	P8. Se hace lo mismo que en P7, pero se deja fija la calibración de la distancia focal. Los demás parámetros se dejan variables.
9	P9. Se utiliza el archivo de calibración de cámara desarrollado en P1 y se amarra con 1 puntos de control. El resto serán de chequeo a utilizar en ArcGis
10	P10. Se utiliza el archivo de calibración de cámara desarrollado en P1 y se amarra con 2 puntos de control. El resto serán de chequeo a utilizar en ArcGis
11	P11. Se utiliza el archivo de calibración de cámara desarrollado en P1 y se amarra con 3 puntos de control. El resto serán de chequeo a utilizar en ArcGis
12	P9. Se utiliza el archivo de calibración de cámara desarrollado en P1 y se amarra con 4 puntos de control. El resto serán de chequeo a utilizar en ArcGis
13	P9. Se utiliza el archivo de calibración de cámara desarrollado en P1 y se amarra con 6 puntos de control. El resto serán de chequeo a utilizar en ArcGis

Fuente. Presente investigación.

6. RESULTADOS

Se evalúan los resultados de 13 configuraciones dentro del software Agisoft tal como se mencionó en el capítulo anterior, primero del proceso fotogramétrico, enseguida de la calidad medida como la exactitud posicional alcanzada y enseguida valorada en términos de los estándares internacionales y nacionales para finalmente hacer un análisis integral de los resultados.

6.2. Resultados fotogramétricos.

Las siguientes figuras muestra un ejemplo de los resultados de los productos fotogramétricos ortofotomosaico y Modelo Digital de Superficies - DSM. El tamaño de píxel en tierra para la ortoimagen es de 6.27 centímetros y para el DSM es de 12.5 centímetros.

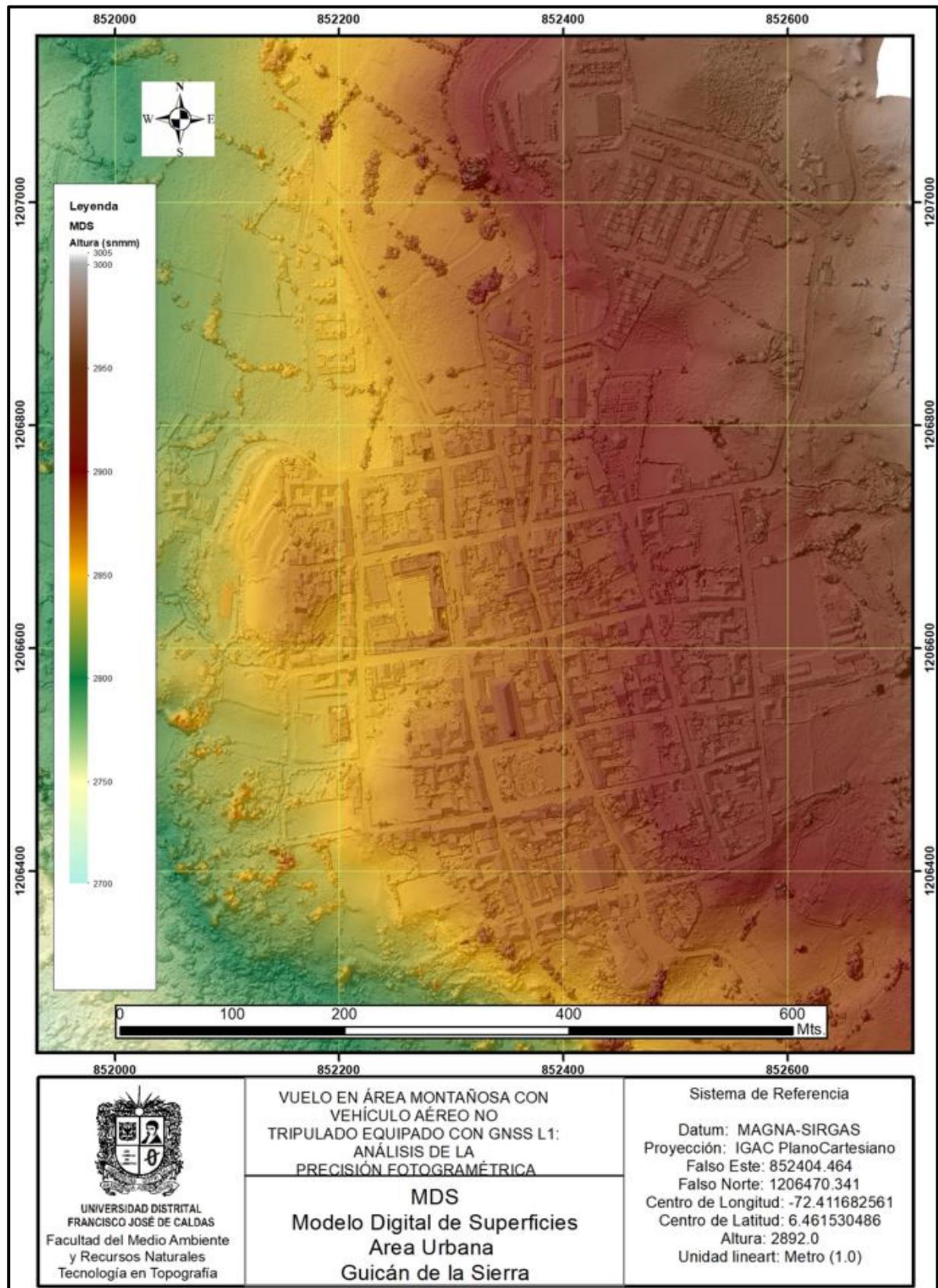
Se puede ver el detalle y la calidad del ortofotomosaico en la figura 13, donde se aprecia el área urbana consolidada, el área rural periurbana y sin costuras. Por su parte, la figura 14, se observa la escala hipsométrica, la cual da cuenta de una diferencia de nivel de aproximadamente 300 metros desde la parte más baja (Color azul claro) hasta la parte más alta (Color gris claro). Lo anterior demuestra el gran desnivel que tiene este proyecto.

Figura 13. Ortofotomosaico área urbana y periurbana de Güicán de la Sierra



Fuente, Elaboración propia en Software Agisoft.

Figura 14. Modelo Digital de Superficies (DSM)



Fuente, Elaboración propia en Software Agisoft.

6.2. Calidad de los resultados

Luego de haber realizado todos los procesamientos fotogramétricos planificados, es necesario configurar el ambiente de trabajo en ArcGIS para poder hacer las mediciones a los puntos de chequeo. Primero que todo, incluye una etapa muy importante para asegurar la mayor calidad del resultado, esto es crear una proyección local de coordenadas cartesianas. Para ello se recurre al aplicativo desarrollado por el IGAC denominado Magna Sirgas 5.0 y se busca el origen local del municipio. La figura siguiente muestra los parámetros calculados por el IGAC.

Figura 15. Coordenadas Cartesianas Magna – Municipio de Guicán

Departamento		Municipio		Descripción	
Boyacá		GÜICÁN		ORIGEN GENERADO A PARTIR DE LAS COORDENADAS PLANAS DE GAUSS DEL CENTROIDE DEL ÁREA URBANA	
Elipsoidales					
	GG	MM	SS,DDDD	Hemisferio	
Latitud origen:	6	27	41.50975	N	
Longitud origen:	72	24	42.05722	W	
Planas					
Falso norte (m):	1206470.341				
Falso este (m):	852404.464				
Plano de proyección (m):	2892.000				

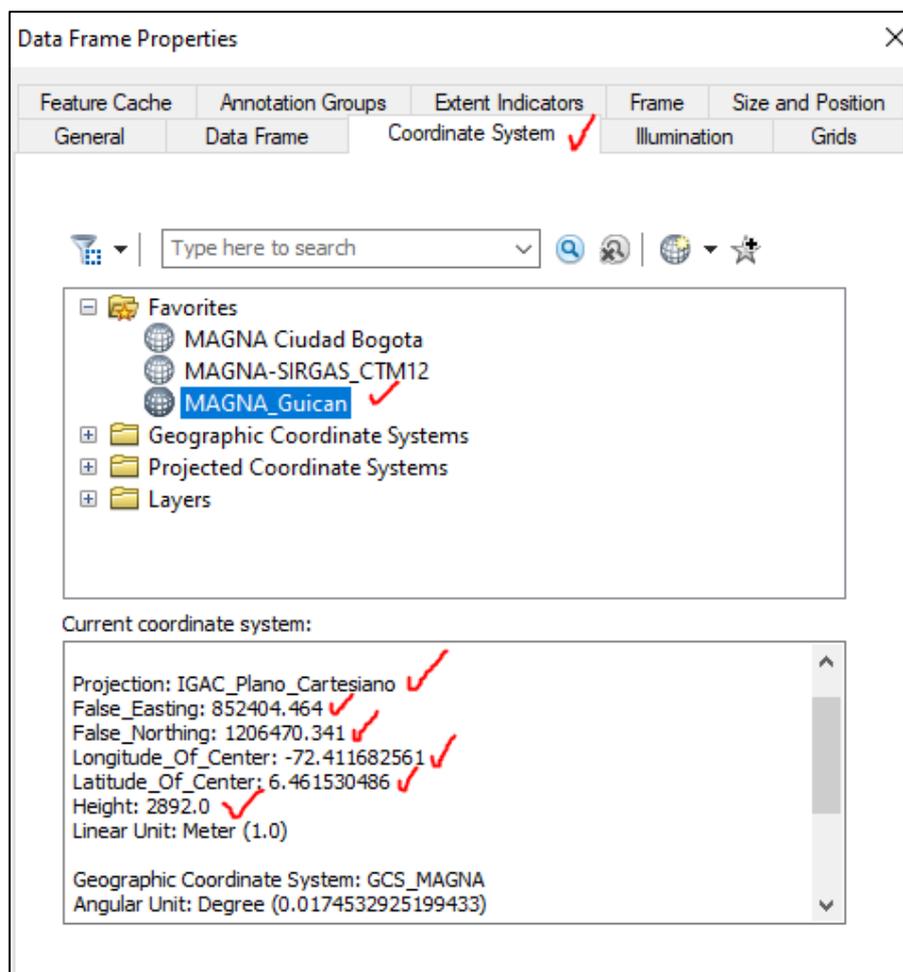
Fuente. Software Magna Sirgas Pro 5.0 – IGAC

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Como se observa, aún no está para esta versión del software las coordenadas bajo el nuevo Origen Nacional, por tanto, en esta investigación se trabajará bajo este sistema.

Con base en dichos parámetros, se procede a crear el sistema de proyección de coordenadas en ArcGis, debido a que por defecto no existe. Para ello se abre ArcMap, se escoge una proyección tipo cartesiano creada previamente, se copia y se modifican los parámetros de acuerdo con los encontrados en la figura anterior. La siguiente figura muestra el resultado.

Figura 16. Realización de sistema de proyección de cartesianas con origen MAGNA_Guicán en Software ArcGis



Fuente: Elaboración propia sobre ArcGis V. 10.8

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

El objetivo es poder medir las discrepancias que existe entre las coordenadas de los puntos calculados con los métodos geodésicos (estático rápido) y a los cuales se les considera los de referencia o posición verdadera, contra los puntos capturados de la ortoimagen (coordenadas XY) y del modelo DSM (coordenada Z). Para ello se crea una file geodatabase, donde se espacializan y guardaran los puntos. Para ello, a partir de las coordenadas calculadas se crea una capa, enseguida se proyecta al sistema creado "MAGNA_Guicán". El archivo se denomina "CHP_MAGNA_GUICAN". El siguiente es el paso a paso como se operó hasta obtener las medidas estadísticas como lo son la media, la desviación estándar, el error medio cuadrático RMSE de cada una de las tres coordenadas XYZ, el error medio cuadrático radial (RMSr) de las coordenadas XY, el 95% de confianza de las coordenadas XY y de la coordenada Z.

El siguiente es el flujo de trabajo en el Software ArcMap 10.8

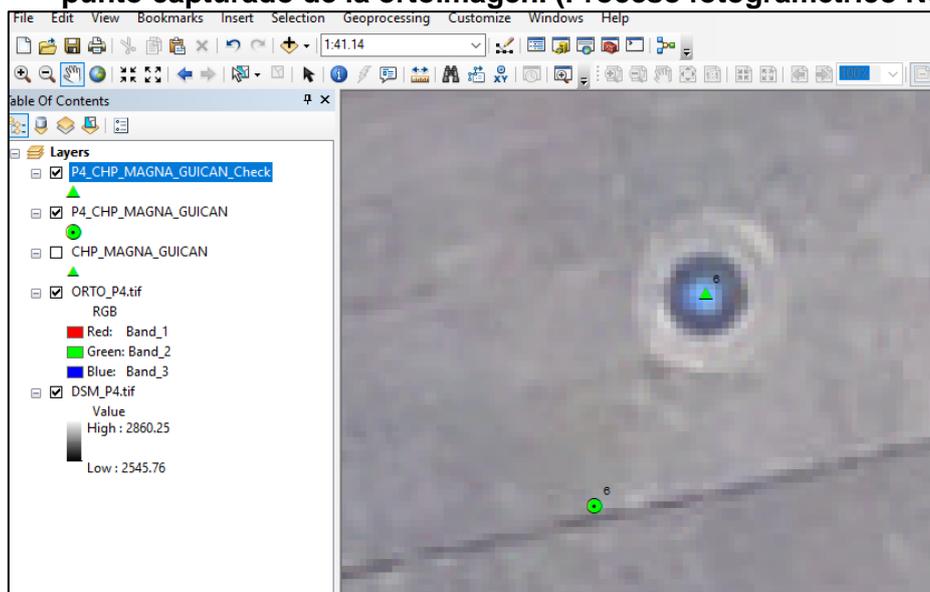
1. Cargue de Puntos de chequeo GNSS "CHP_MAGNA_GUICAN", la ortoimagen y el modelo DSM. (ejemplo "ORTO_P13.TIF" y "DSM_P13.TIF")
2. Copiar "CHP_MAGNA_GUICAN" a un nuevo archivo hacer copia y renombrar a "P13_CHP_MAGNA_GUICAN" (ahí se va a guardar los puntos calculados GNSS)
3. Borrar de "P13_CHP_MAGNA_GUICAN" aquellos puntos que fueron utilizados para control (ejemplo para p13: P2, P11, P13, P15, P19 Y P25) en el proceso fotogramétrico sobre Agisoft.
4. Guarde el anterior archivo como "P13_CHP_MAGNA_GUICAN_check" y borre todos los puntos para que quede vacío. (Ahí va a guardar todos los puntos capturados de la ortoimagen "ORTO_P13.TIF")
5. En el anterior archivo comience a capturar con base en la ortoimagen "ORTO_P13" todos los puntos de chequeo (27 en este caso). Haga buenos acercamientos para utilizar el mejor criterio de captura.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

6. Capture en la tabla de atributos las coordenadas XY. Utilice la herramienta de ArcGis “Add XY coordinates Datamanegement”
7. Capture la coordenada Z del modelo “DSM_P13.tif”. Utilice la herramienta de ArcGis “Extract Values to points (Spatial Analyst). Esta herramienta genera un nuevo archivo. Por tanto, copie y reemplácelo en el archivo “P13_CHP_MAGNA_GUICAN_check
8. Extraiga en un archivo de texto las coordenadas xyz del archivo anterior. Nómbrelo “P13_Fotogrametrica_Check”
9. Extraiga en un archivo de texto las coordenadas xy del archivo “P13_CHP_MAGNA_GUICAN”. Nómbrelo “P13 GNSS”
10. Abra los anteriores archivos en Excel, configure para que se presente en columnas, copie y pegue dichos valores para aplicar las fórmulas de obtención de la media, la desviación estándar, el error medio cuadrático radial RMSEr de las tres coordenadas, el 95% de confianza horizontal y el vertical.

La figura siguiente muestra gráficamente algunos resultados de parte del proceso que fue aplicado a cada uno de los 13 proyectos fotogramétricos.

Figura 17. Punto GNSS calculado con métodos geodésicos (estático rápido) vs punto capturado de la ortoimagen. (Proceso fotogramétrico No. 4)



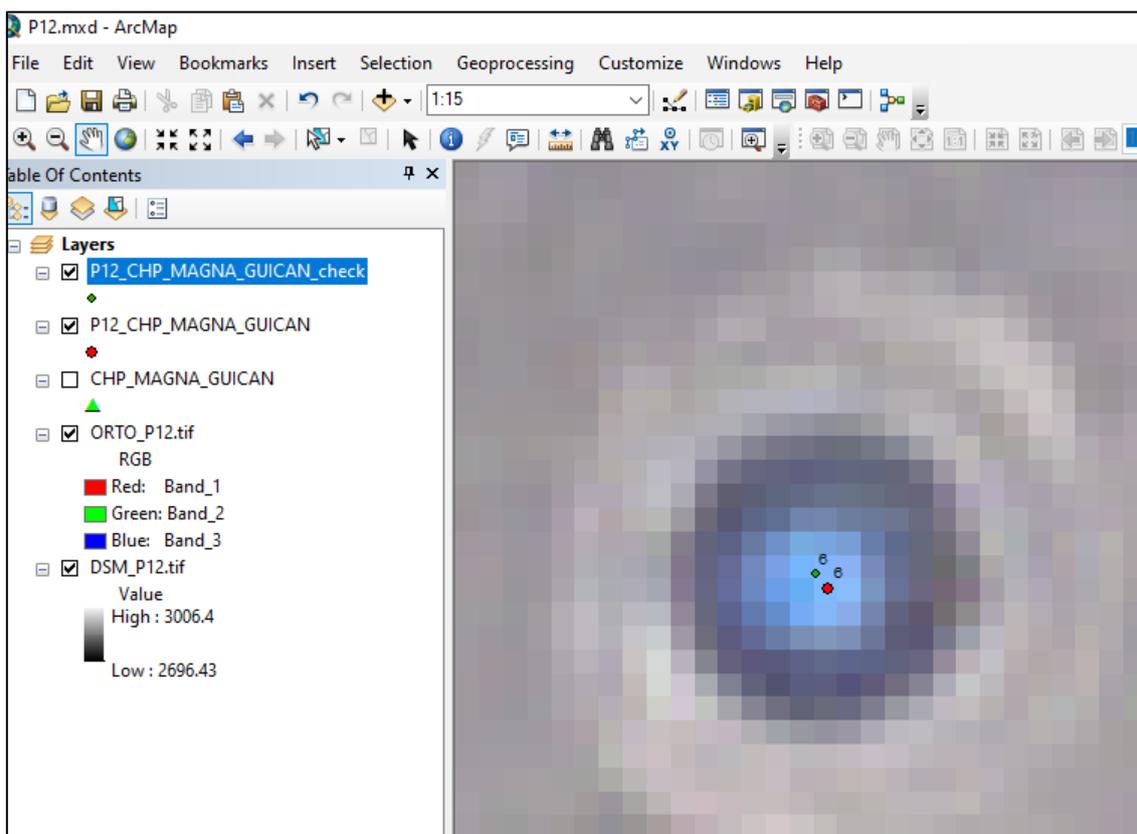
Fuente, Elaboración propia. Punto GNSS de referencia (circulo verde), Punto de chequeo sobre el resultado fotogramétrico (triangulo verde)

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Obsérvese en la figura de arriba que la discrepancia es evidente (punto de chequeo figura verde en forma de triángulo y posición precisa en color verde y forma de círculo proveniente de cálculos GNSS), debido a que, para el desarrollo de este proceso no se tuvo en cuenta el amarre con puntos de control, ni las coordenadas calculadas de la antena L1, sino aquellas proporcionadas por la antena de navegación de la aeronave.

Figura 18. Punto GNSS calculado con métodos geodésicos (estático rápido – punto color rojo) vs punto capturado sobre la ortoimagen – punto de color verde.

(Proceso fotogramétrico No. 12)



Fuente. Elaboración propia

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Como se observa en la figura de arriba, la discrepancia es mínima por cuanto se tuvo en cuenta para el procesamiento fotogramétrico las coordenadas calculadas de la línea de vuelo y se utilizó 4 puntos de control.

6.3. Evaluación conforme a estándares nacionales e internacionales.

La evaluación se hace con base en los estándares de la ASPRS y que son acogidas a nivel nacional tanto por el IGAC como por la NTC 6271. Es importante mencionar que la diferencia entre los estándares del IGAC y la norma NTC 6271 radica en que para la realización de cartografía básica oficial se comienza desde la escala 1:1000, es decir ahí no se tiene en cuenta escalas más grandes que son recogidas en la NTC6271.

Las fórmulas para realizar las medidas estadísticas están descritas por la ASPRS (Tabib Mahmoudi et al., 2014) que igual son recogidas en las diferentes resoluciones del IGAC (471 de 2020, 388 de 2020) y NTC6271 para dar cuenta de la confiabilidad de la exactitud posicional de los datos.

La media se calcula mediante la fórmula:

$$\bar{x} = \frac{1}{(n)} \sum_{i=1} X_i$$

Donde

X_i = es el error en la dirección específica (coordenada X o Y)

n = es el número de puntos de chequeo testeados,

i = un numero entero de rango 1 a n .

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Para el cálculo de la desviación estándar que da cuenta de la variación de las medidas respecto a la media, entre más pequeña sea, los datos son más consistentes y por tanto de mayor calidad. La fórmula siguiente es utilizada:

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Dónde;

S_x = Desviación estándar

X_i = es el error o discrepancia en la dirección específica (coordenada X o Y)

\bar{x} = Es la media en la dirección específica (XYZ)

n = Es el número de puntos de chequeo

i = Un número entero de rango 1 a n

Para el cálculo del error medio cuadrático de las coordenadas XYZ, se emplea la siguiente fórmula:

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i(\text{mapa}) - X_i(\text{GNSS}))^2}$$

Donde:

RMSE_x = Error medio cuadrático de la coordenada X (se debe calcular para las tres coordenadas)

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

$X_i(\text{mapa})$ coordenada X capturada sobre el mapa. Se hace para las tres coordenadas y se obtiene XY de la ortoimagen y la Z del modelo DSM

$X_i(\text{GNSS})$ = Coordenada calculada con métodos geodésicos, es la coordenada considerada verdadera o de referencia.

n = es el número de puntos de chequeo

i = un número entero de rango 1 a n

Para el cálculo de la exactitud de la posición al 95% de confianza de las coordenadas XY , se utiliza la siguiente fórmula:

$$2.4477 \left(\frac{RMSE_r}{1.4142} \right)$$

Para el cálculo de la exactitud de la posición al 95% de confianza de la coordenada Z , se utiliza la siguiente fórmula:

$$1.9600(RMSE_z)$$

Para recolectar los datos que dan cuenta de las mediciones, se diseñó una plantilla que fue utilizada para escribir los resultados de la evaluación fotogramétrica de cada uno de los 13 procesamientos. La tabla siguiente muestra un ejemplo. En el anexo 4, se puede ver el resultado sobre cada uno de los 13 proyectos fotogramétricos.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Cuadro 5. Evaluación de la exactitud posicional de la ortoimagen y del modelo

DSM. Procesamiento No. 12

Procesamiento 12 - datos GNSS				Procesamiento 12 -datos Fotogrametría (ArcGis)				Deltas			Deltas al cuadrado		
NAME	POINT_X	POINT_Y	POINT_Z	NAME	POINT_X	POINT_Y	RASTERVALU	DX	DY	DZ	DX^2	DY^2	DZ^2
1	852502.091	1206544.23	2904.201	1	852502.043	1206544.23	2904.129639	0.048	-0.001	0.071	0.002	1E-06	5E-03
3	852576.952	1206507.27	2915.526	3	852576.885	1206507.29	2915.480713	0.067	-0.021	0.045	0.005	4E-04	2E-03
4	852572.246	1206553.5	2915.807	4	852572.212	1206553.52	2915.790039	0.034	-0.023	0.017	0.001	5E-04	3E-04
5	852553.583	1206744.23	2914.7	5	852553.54	1206744.23	2914.659668	0.043	-0.005	0.04	0.002	3E-05	2E-03
6	852456.057	1206726.48	2898.575	6	852456.026	1206726.52	2898.551758	0.031	-0.037	0.023	0.001	0.001	0.001
7	852467.944	1206479.43	2896.009	7	852467.903	1206479.44	2896.000244	0.041	-0.010	0.009	0.002	0.000	0.000
8	852478.115	1206342.71	2880.244	8	852478.151	1206342.69	2880.194824	-0.035	0.019	0.049	0.001	0.000	0.002
9	852367.974	1206360.51	2869.108	9	852367.954	1206360.53	2869.031006	0.019	-0.025	0.077	0.000	0.001	0.006
11	852352.185	1206606.5	2873.062	11	852352.166	1206606.5	2873.07666	0.019	0.009	-0.015	0.000	0.000	0.000
12	852127.754	1206684.45	2856.128	12	852127.749	1206684.48	2856.203369	0.005	-0.034	-0.075	0.000	0.001	0.006
13	852397.397	1206492.57	2880.319	13	852397.41	1206492.58	2880.367188	-0.013	-0.011	-0.048	0.000	0.000	0.002
14	852455.537	1207043.07	2929.19	14	852455.519	1207043.13	2929.195068	0.018	-0.062	-0.005	0.000	0.004	0.000
16	852377.454	1206868.33	2891.418	16	852377.471	1206868.35	2891.426514	-0.017	-0.019	-0.009	0.000	0.000	0.000
17	852344.857	1206777.06	2879.436	17	852344.819	1206777.08	2879.402588	0.038	-0.022	0.033	0.001	0.000	0.001
18	852293.016	1206826.45	2869.867	18	852292.966	1206826.47	2869.950195	0.050	-0.023	-0.083	0.002	0.001	0.007
20	852027.213	1206846.11	2809.421	20	852027.062	1206846.15	2809.442139	0.152	-0.033	-0.021	0.023	0.001	0.000
21	852181.629	1206812.18	2842.608	21	852181.626	1206812.16	2842.6875	0.003	0.016	-0.080	0.000	0.000	0.006
22	852139.066	1206518.49	2835.783	22	852139.005	1206518.52	2835.939209	0.061	-0.021	-0.156	0.004	0.000	0.024
23	852034.017	1206499.92	2811.411	23	852033.944	1206499.96	2811.508545	0.073	-0.038	-0.098	0.005	0.001	0.010
24	851990.146	1206641.21	2806.122	24	851990.045	1206641.3	2806.19458	0.101	-0.091	-0.073	0.010	0.008	0.005
25	852234.996	1206371.58	2845.158	25	852234.976	1206371.64	2845.27417	0.020	-0.054	-0.116	0.000	0.003	0.013
26	852495.019	1207083.09	2939.923	26	852495.052	1207083.07	2940.120606	-0.033	0.026	-0.198	0.001	0.001	0.039
27	852602.986	1206895.41	2939.211	27	852602.97	1206895.43	2939.411621	0.017	-0.019	-0.201	0.000	0.000	0.040
28	852744.89	1206881.75	2992.431	28	852744.901	1206881.7	2992.625244	-0.010	0.048	-0.194	0.000	0.002	0.038
30	852709.234	1206687.28	2940.63	30	852709.251	1206687.27	2940.769775	-0.017	0.012	-0.140	0.000	0.000	0.020
31	852627.461	1206415.69	2903.298	31	852627.475	1206415.67	2903.490723	-0.014	0.018	-0.193	0.000	0.000	0.037
32	852378.692	1206173.14	2812.844	32	852378.624	1206173.09	2813.046631	0.068	0.046	-0.203	0.005	0.002	0.041
Drn_f1	852475.678	1206501.89	2898.489	Drn_f1	852475.665	1206502	2898.455566	0.013	-0.111	0.033	0.000	0.012	0.001
Base	852475.368	1206509.86	2898.022	Base	852475.246	1206509.83	2898.315186	0.122	0.025	-0.293	0.015	0.001	0.086
Media								0.031	-0.015	-0.062			
Desviación Esandar								0.045	0.036	0.101			
RMSE (xyz)											0.054	0.039	0.117
RMSEr											0.066		
Exactitud Horizontal 95% de confianza											0.115		
Exactitud Vertical 95% de confianza											0.229		

Fuente, Elaboración propia.

Una vez realizados todos los procesamientos, se compilan los resultados de la media, la desviación estándar, el error medio cuadrático, el error medio cuadrático radial para las coordenadas XY, la exactitud horizontal al 95% de confianza y la exactitud vertical al 95% de confianza. La siguiente tabla recoge los resultados de todos los procesamientos fotogramétricos.

Cuadro 6. Compilación de resultados de los proyectos fotogramétricos.

Procesamiento	MEDIA			Desv. Stnd			RMSE			RMSr	95% Conf	95% Conf	CHP	GCP
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	(XY)	(XY)	Z		
P1	0.003	-0.015	-0.037	0.037	0.024	0.103	0.036	0.027	0.108	0.045	0.079	0.211	27	5
P2	-0.009	-0.011	0.107	0.042	0.031	0.097	0.042	0.032	0.143	0.053	0.092	0.280	27	5
P3	0.197	0.152	0.223	0.163	0.155	0.112	0.254	0.216	0.249	0.333	0.576	0.487	33	0
P4	-1.042	-2.069	147.619	0.061	0.146	0.810	1.044	2.074	147.621	2.322	4.019	289.337	33	0
P5	0.186	0.113	2.029	0.174	0.169	0.372	0.253	0.201	2.061	0.323	0.560	4.040	33	0
P6	0.198	0.156	2.321	0.150	0.150	0.437	0.247	0.214	2.360	0.327	0.565	4.626	33	0
P7	0.265	0.303	0.656	0.554	0.568	0.341	0.606	0.636	0.737	0.879	1.521	1.444	33	0
P8	0.199	0.156	0.470	0.154	0.150	0.127	0.251	0.215	0.486	0.330	0.571	0.953	33	0
P9	-0.026	0.021	-0.022	0.139	0.160	0.124	0.140	0.159	0.124	0.212	0.366	0.244	32	1
P10	-0.003	-0.009	-0.106	0.039	0.036	0.090	0.038	0.036	0.138	0.053	0.091	0.271	31	2
P11	-0.003	-0.006	0.074	0.037	0.032	0.098	0.037	0.032	0.122	0.049	0.085	0.238	30	3
P12	0.031	-0.015	-0.062	0.045	0.036	0.101	0.054	0.039	0.117	0.066	0.115	0.229	29	4
P13	0.014	-0.014	-0.027	0.040	0.036	0.114	0.041	0.038	0.115	0.056	0.097	0.225	27	6

Fuente. Elaboración propia

6.4. Análisis integral

Como se observa en la figura anterior, obtener exactitudes con calidad topográfica es posible en áreas montañosas o de relieve cambiante, ver los resultados de los procesamientos P1, P2, P3, P5, P8, P9, P10, P11, P12 Y P13. Sin embargo, es necesario hacer la configuración correcta para sacar el máximo provecho.

6.4.1. Análisis de resultados comparativo por procesamiento

Se observa en el procesamiento P4, que los errores son métricos en las tres coordenadas, esto debido a que no se tomó en cuenta las coordenadas de la antena GNSS L1, sino la que viene por defecto montada en el sistema UAS Phantom 4 Pro V2, que es de tipo GNSS L1/AC, lo que quiere decir que es de tipo navegación. También se observa que para la coordenada

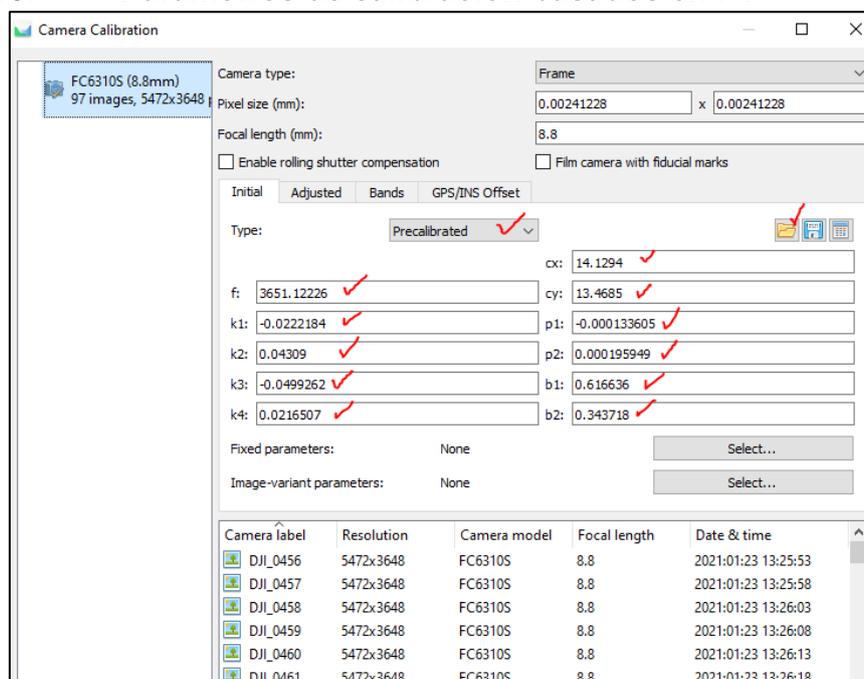
Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Z el error es de cientos de metros, esto probablemente a un error en la programación de fábrica de la aeronave.

Los procesamientos P3, P5, P6, P7 Y P8, se hacen sin utilizar puntos de control terrestre- En P3, se observa que las exactitudes que arroja basado en los 33 puntos de chequeo es bastante interesante, ya que la precisión es submétrica en los tres ejes. El error medio cuadrático RMSE es 0.25m, 0.21m, 0.25m para las coordenadas XYZ, lo que da cuenta que con una antena L1 es posible obtener buenos resultados, sin embargo, es necesario colocar algunos puntos de control para mejorar substancialmente la calidad como se demuestra en los procesamientos P1, P2, Y P9 A P13.

Los procesamientos P5 y P6 para los cuales no se utiliza puntos de control, arrojan resultados similares; unas precisiones aceptables para las coordenadas XY, con nivel de confianza al 95% de 0.5m. No siendo así para la coordenada Z cuya confianza al 95% es de 4 metros. Esto demuestra que no se debe seleccionar en Agisoft el procesamiento con calibración precisa de cámara (ver figura de abajo), seguramente por cuanto esta cámara no es métrica.

Figura 19. Parámetros de calibración basados en P1

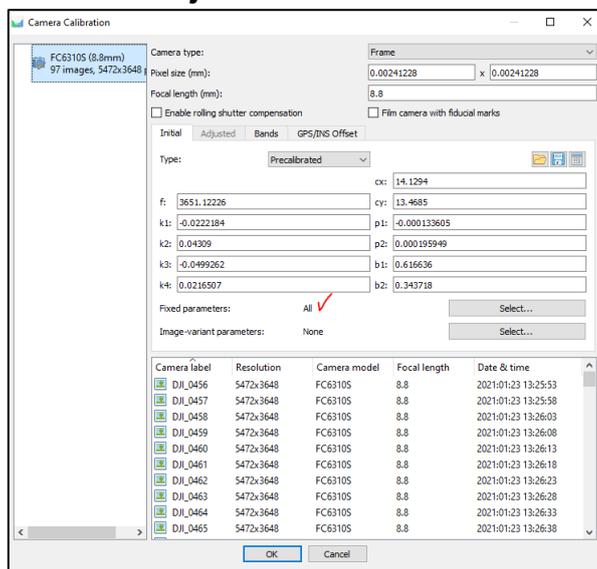


Fuente. Elaboración propia sobre Agisoft.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

El procesamiento P7, en el cual se utiliza los datos de calibración de la cámara y se deja fija para todos los parámetros (ver figura de abajo), arroja unos resultados peores que para P5 Y P6 en las coordenadas XY, pero mejora en la coordenada Z. sin embargo no es mejor que P3

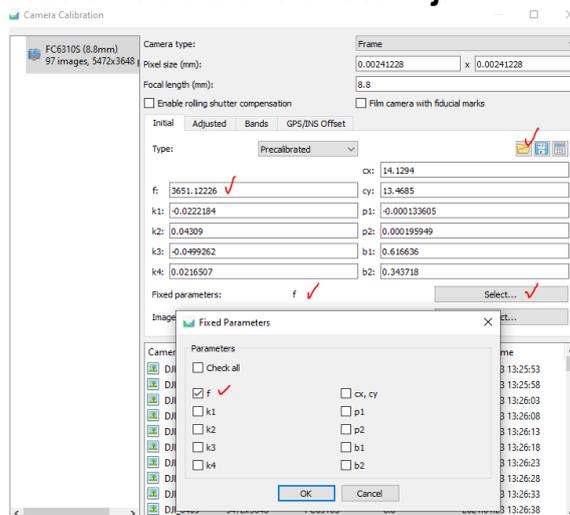
Figura 20. Parámetros fijos de calibración de la cámara.



Fuente. Elaboración propia sobre Agisoft.

En P8, que tiene los mismos parámetros que P7, Excepto que para el procesamiento se deja la distancia focal "fija" para todas las fotos (Ver figura de abajo), son mejores los resultados en general en los tres ejes, pero no son mejores que P3.

Figura 21. Selección de distancia focal fija



Fuente. Elaboración propia sobre Agisoft.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Por su parte, los procesamientos P1, P2, P9 a P13 se selecciona algunos puntos para hacer control terrestre, los resultados son bastante prometedores y demuestran que es posible obtener excelentes resultados de fotogrametría con algoritmos SfM en áreas montañosas.

El procesamiento P1, en el cual se selecciona 5 puntos de control terrestre y 27 para chequeo, arroja resultados de RMSE 0.036, 0.027 y 0.107 metros respectivamente para las coordenadas XYZ y con intervalo de confianza al 95% de 0.079m para XY y 0.21m para Z.

El procesamiento P2, cuya configuración es idéntica a la realizada en P1, salvo que se deseleccionan las imágenes para que tome únicamente como referencia las coordenadas de los 5 puntos de control seleccionados, arroja un resultado no mejor que en P1, aunque bastante cercano. Se desmitifica el hecho que se tengan que deseleccionar las coordenadas de la orientación exterior de la fotografía, probablemente esto se deba a que éstas son calculadas con métodos de precisión GNSS.

El procesamiento P9 en el cual se selecciona solo un punto para control y 32 para chequeo, arroja un resultado bastante interesante, el error medio cuadrático RMSE para las tres coordenadas XYZ es de 0.140m, 0.159m y 0.124m y con intervalo de confianza del 95% de los datos en XY de 0.366m y en Z de 0.24, demuestra que utilizando un solo punto de control mejora en aproximadamente el doble su precisión, respecto al procesamiento P3.

En el procesamiento P10, en el cual se utiliza dos puntos de control y 31 de chequeo, se observa que la exactitud mejora en aproximadamente 3 veces para las coordenadas XY respecto al procesamiento P9, el resultado para los errores RMSE de las coordenadas XY es de 0.038m y 0.036m, se ingresa en el orden subdecimétrico. No obstante, para la coordenada Z, el resultado es bastante similar al registrado en P9. Esto y como se observa para todos los

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

procesamientos que utilizan puntos de control, donde se aprecia que el RMSE de la coordenada Z se sitúa alrededor de los 11 centímetros, seguramente tiene que ver con el hecho de que el tamaño de píxel del modelo DSM es de 12.6 centímetros y por tanto ha perdido calidad al hacer una generalización de la nube de puntos densa creada en el software Agisoft.

Los procesamientos P11 (3 puntos de control), P12 (4 puntos de control) y P13 (6 puntos de control), se mantienen relativamente homogéneos con intervalo de confianza del 95% para XY en torno a los 10 centímetros y de 22 centímetros para Z. Lo que demuestra que utilizando 2 o tres puntos de control es suficiente para asegurar una calidad topográfica de excelentes resultados.

6.4.2. Análisis de resultados bajo la norma ASPRS - 2014

Bajo la norma (Tabib Mahmoudi et al., 2014) de la APSRS 2014, se estipula que para realizar el aseguramiento y control de calidad de datos fotogramétricos digitales para cámaras métricas de gran y medio formato, se deben tomar 20 puntos de chequeo para áreas menores a 500 Km². En esta investigación se tomó 34 puntos con métodos GNSS, en 33 de los cuales se utilizó doble frecuencia y en uno de ellos se utilizó la frecuencia L1. Para el chequeo se utilizó de 27 a 34 puntos dependiendo del tipo de procesamiento realizado.

El tamaño de píxel del presente vuelo fotogramétrico es de 6.27 centímetros, lo que se puede clasificar dentro del rango de 7.5 centímetros de la tabla B.5 de la norma ASPRS 2014. Ver tabla de abajo.

Cuadro 7. Cuadro parcial B.5 extraído de ASPRS 2014

Common Orthoimagery Pixel Sizes	Recommended Horizontal Accuracy Class RMSE _x and RMSE _y (cm)	Orthoimage RMSE _x and RMSE _y in terms of pixels	Recommended use ⁷
1.25 cm	≤1.3	≤1-pixel	Highest accuracy work
	2.5	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥3.8	≥3-pixels	Visualization and less accurate work
2.5 cm	≤2.5	≤1-pixel	Highest accuracy work
	5.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥7.5	≥3-pixels	Visualization and less accurate work
5 cm	≤5.0	≤1-pixel	Highest accuracy work
	10.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥15.0	≥3-pixels	Visualization and less accurate work
7.5 cm	≤7.5	≤1-pixel	Highest accuracy work
	15.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥22.5	≥3-pixels	Visualization and less accurate work
15 cm	≤15.0	≤1-pixel	Highest accuracy work
	30.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥45.0	≥3-pixels	Visualization and less accurate work

Tomado de (Tabib Mahmoudi et al., 2014)

De acuerdo con los resultados obtenidos para los procesamientos P1, P2 y P10 A P13, puede recomendarse para trabajo de alta precisión, puesto que la exactitud RMSE de XY está por debajo de 7.5 centímetros de error o menor a un píxel. Para el procesamiento P9 (Un punto de control), se recomienda para uso de mapas estándar y trabajos de SIG. Los otros procesamientos la recomendación es para trabajos de menor calidad.

Respecto a la escala de trabajo recomendada para dichos procesamientos, de acuerdo con el tamaño de píxel obtenido y a la exactitud posicional evaluada con los puntos de chequeo, la tabla B.6 del estándar ASPR 2014 muestra la clasificación.

Cuadro 8. Cuadro parcial B.6 extraído de ASPRS 2014

ASPRS 2014				Equivalent to map scale in		Equivalent to map scale in NMAS
Horizontal Accuracy Class RMSE _x and RMSE _y (cm)	RMSE _x (cm)	Horizontal Accuracy at the 95% Confidence Level (cm)	Approximate GSD of Source Imagery (cm)	ASPRS 1990 Class 1	ASPRS 1990 Class 2	
0.63	0.9	1.5	0.31 to 0.63	1:25	1:12.5	1:16
1.25	1.8	3.1	0.63 to 1.25	1:50	1:25	1:32
2.5	3.5	6.1	1.25 to 2.5	1:100	1:50	1:63
5.0	7.1	12.2	2.5 to 5.0	1:200	1:100	1:127
7.5	10.6	18.4	3.8 to 7.5	1:300	1:150	1:190
10.0	14.1	24.5	5.0 to 10.0	1:400	1:200	1:253
12.5	17.7	30.6	6.3 to 12.5	1:500	1:250	1:317

Fuente: Tomado de (Tabib Mahmoudi et al., 2014)

En este caso, debido a que el tamaño de píxel del vuelo fotogramétrico fue de 6.25cm, lo aloja dentro del rango GSD de 3.8 a 7.5 centímetros, este trabajo fotogramétrico sirve para escalas de trabajo de 1:300 clase 1 y 1:150 clase 2 de la norma ASPRS de 1990. Sin embargo, por exactitud posicional evaluada debería ser para escalas 1:200 y 1:100 respectivamente.

En relación con la exactitud vertical, la tabla B.8 del estándar ASPR 2014 muestra parte de las clasificaciones.

Cuadro 9. Cuadro B.8 parcial extraído de ASPRS 2014

Vertical Accuracy Class	RMSE _z Non-Vegetated (cm)	Equivalent Class 1 contour interval per ASPRS 1990 (cm)	Equivalent Class 2 contour interval per ASPRS 1990 (cm)	Equivalent contour interval per NMAS (cm)
1-cm	1.0	3.0	1.5	3.29
2.5-cm	2.5	7.5	3.8	8.22
5-cm	5.0	15.0	7.5	16.45
10-cm	10.0	30.0	15.0	32.90
15-cm	15.0	45.0	22.5	49.35
20-cm	20.0	60.0	30.0	65.80
33.3-cm	33.3	99.9	50.0	109.55

Fuente: Tomado de (Tabib Mahmoudi et al., 2014)

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

En este caso, el resultado lo ubica dentro de la clase de 15 centímetros, con lo cual se pueden hacer curvas de nivel de 45 y 22.5 centímetros para las clases 1 y 2 de la ASPRS 1990 respectivamente.

6.4.3. Análisis bajo la resolución 471 del 2020 del IGAC.

Uno de los objetivos principales es demostrar que los trabajos fotogramétricos utilizando algoritmos SfM en vuelos no tripulados y con cámaras no métricas en áreas montañosas, pueden ser utilizados para hacer cartografía básica que sirva como insumo para hacer cartografía catastral multipropósito y para ordenamiento territorial. En ese sentido se analiza el resultado bajo la resolución 471 del 2020 del IGAC.

Esta resolución (IGAC, 2020) y aquellas que la han modificado como lo son la 529 de 2020 y la 197 de 2022, establece las especificaciones técnicas que deben tener los productos de cartografía básica oficial en Colombia, para ello, de acuerdo a las escalas de trabajo definidas (1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10000 y 1:25000) se debe cumplir con unas exactitudes posicionales.

Por tamaño de píxel que en esta investigación es de 6.25 centímetros, ingresaría a ser insumo de los productos carto1000 o lo que es lo mismo cartografía básica para escala 1:1000, es decir la cartografía de más alta exactitud posicional. El Modelo Digital de Terreno (MDT) que se puede obtener con esta fotogrametría es generalmente 5 veces el tamaño de píxel del modelo DSM, es decir de aproximadamente 60 centímetros lo que lo pone dentro de la denominación MDT1.

De acuerdo con la tabla 5 de la resolución 471 de 2020 (IGAC, 2020), los procesamientos P1, P2, P9 a P13 cumplen con los parámetros de precisión para el GSD 0.1m, donde el RMSEr es de 0.3m y en los procesamientos realizados en esta investigación estuvieron entre 5 y 6

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

veces superiores. Esto es importante de resaltar puesto que con un solo punto de control sería suficiente para hacer cartografía a escala 1:1000.

El procesamiento P3 que no utiliza puntos de control, de acuerdo con los resultados de RMSr (0.333m) y confianza del 95% (0.576m) son óptimos para hacer cartografía a escala 1:2.000.

Por su parte, en relación con el modelo DTM, la tabla 6 de la resolución 471 del 2020 del IGAC (IGAC, 2020), muestra que para el MDT1 el RMSEz es de 0.3m y con confianza al 95% debe ser inferior a 0.6m. Los resultados de P1, P2 y P9 A P13 fueron de 2 a 3 veces superiores. Incluso el procesamiento P3 que no utiliza puntos de control cumple con los parámetros para DTM1. Esto demuestra que para garantizar producto MDT1 bastaría con utilizar solo un punto de control.

6.4.4. Análisis bajo la norma NTC 6271

El ICONTEC en 2018 expide la norma técnica 6271 -(ICONTEC, 2018) que trata de información geográfica, específicamente relacionada con los estudios topográficos. Es una norma muy importante para la profesión topográfica ya que fija lineamientos estandarizados para la captura, procesamiento y control de datos fundamentales que solo pueden suministrar con garantía los topógrafos licenciados. Establece los requisitos técnicos básicos para la realización de pliegos de condiciones, garantizar la calidad de los datos y estandarizar todas las actividades inmersas en los estudios topográficos a nivel nacional.

Bajo esta norma, en la tabla 17, se integra los conceptos de precisiones y exactitudes posicionales que pueden obtenerse a partir de datos fotogramétricos de la norma ASPRS (Tabib Mahmoudi et al., 2014). Establece también, que se debe utilizar un Plano Topográfico Local (PTL), para graficar los datos y en relación con el sistema vertical, se deben referenciar teniendo como datum de partida el nivel medio del mar medido en Buenaventura, Si no hay in punto NP en la zona de estudio, se debe utilizar métodos de cálculo GNSS haciendo traslado

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

con modelos geoidales, lo cual se hizo en esta investigación. Todo lo anterior, desde luego es para garantizar las mayores precisiones en el traslado de datos topográficos a la representación gráfica en planos topográficos.

La tabla 26 de la NTC 6271 es una copia de la tabla B.5 del estándar ASPRS 2014, que da cuenta de la precisión horizontal de acuerdo con el tamaño de píxel y la tabla 28 copia la tabla B.6 que fija las escalas de acuerdo con las exactitudes obtenidas. En este sentido, los análisis y resultados son los mismos que aquellos analizados con el estándar ASPRS 2014.

6.4.5. Análisis visual con respecto a productos fotogramétricos del IGAC.

El IGAC es la máxima autoridad en Colombia para productos de cartografía básica, que son definidos como la ortoimagen, el DTM y la base de datos vectorial. Para el área de estudio, el departamento de Boyacá contrató al IGAC para actualizar la cartografía básica he hizo vuelos fotogramétricos tripulados, utilizando la cámara fotogramétrica Vexcel Ultracam D (IGAC, 2019). Este se hizo el 24 de diciembre de 2015, La ortoimagen resultado tiene un GSD de 25 centímetros y fue hecho para escala 1:5.000 de acuerdo con la ficha técnica.

Utilizando el software ArcGis, se sobre puso el procesamiento P1 y la ortoimagen obtenida por el IGAC. La figura de abajo muestra una sobreposición de las misas.

Figura 22. Sobreposición de ortoimagen del procesamiento P1 y ortoimagen del IGAC



Fuente. Presente investigación y ortoimagen del IGAC, del 2019.

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

En primer lugar, se debe decir que la escala del corte es 1:300 y se puede apreciar la calidad visual inferior de la ortoimagen del IGAC (mitad inferior) debido a que esta tiene un GSD de 25 centímetros, es decir, por cada pixel de esta imagen hay 16 pixeles del vuelo fotogramétrico de esta investigación, sin embargo, aparentemente la posición espacial es adecuada de acuerdo con la línea de corte, donde no se aprecia mucha diferencia entre la una y la otra, salvo por ejemplo en la edificación ubicada en la parte occidental, donde si se ve un ligero desplazamiento del techo.

La ortoimagen del IGAC fue generada en el año 2019, sin embargo, las fotografías aéreas fuente son del 24 de diciembre de 2015 y las del presente vuelo fueron tomadas el 23 de enero de 2021, lo cual genera una diferencia en tiempo de 5 años. Aunque esta área urbana no crece en población de acuerdo con los datos censales del DANE, se puede apreciar sobre la figura siguiente que hay cambios en el uso del suelo.

Figura 23. Detección de cambios en 5 años



Fuente. Imagen Izquierda, ortoimagen IGAC, Imagen derecha, ortoimagen de la presente investigación

Se observa un total de 6 nuevas construcciones realizadas en el transcurso de 5 años en la parte norte del área urbana. No son construcciones menores, es decir no corresponde a vivienda tipo particular, sino a vivienda colectiva, lugares de acopio y de esparcimiento. Esto

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

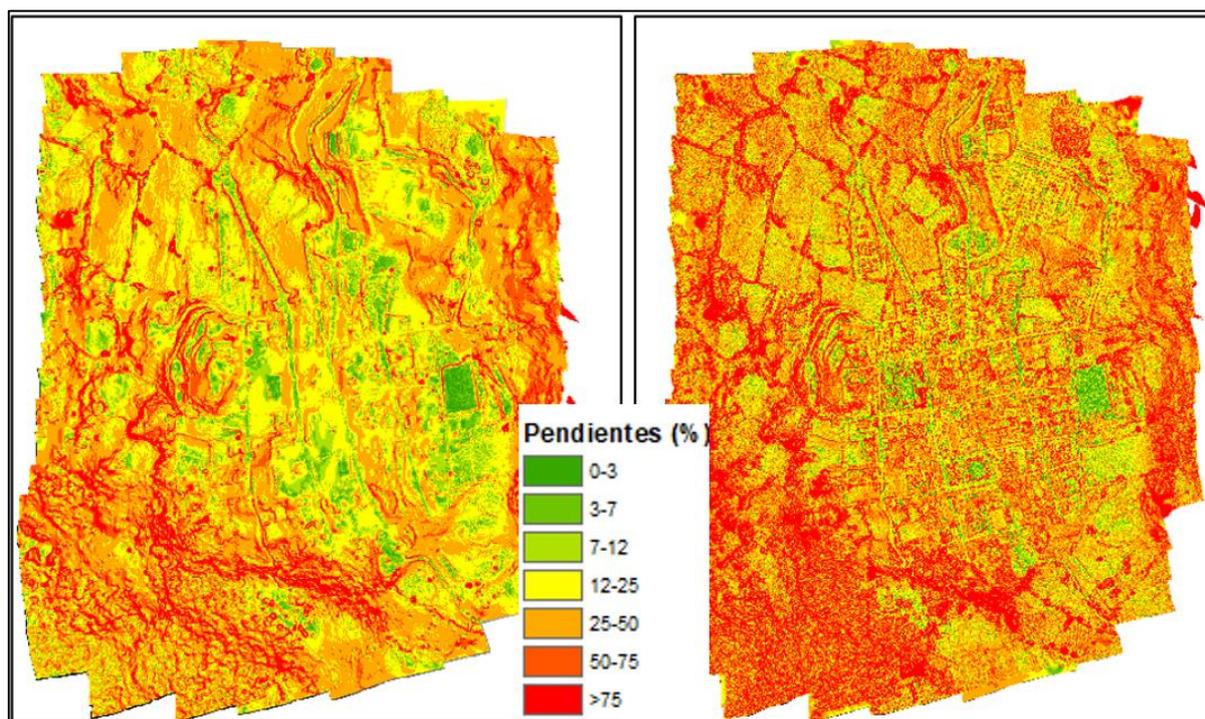
es importante para el catastro multipropósito, para el ordenamiento territorial, para los servicios públicos, para la estratificación, y en general para la planificación territorial. Con la utilización de ortoimágenes se puede hacer seguimiento a todas estas políticas.

6.4.6 Análisis del terreno – Mapa de pendientes

Como se ha venido mencionando, el objetivo de este trabajo es evaluar la calidad fotogramétrica en terrenos montañosos o de altos cambios de pendiente. Para ello se elaboró dos mapas de pendientes. El primero fue elaborado para el modelo DSM y el segundo para el modelo DTM.

El DSM es un modelo fácil de obtener pues no hay que realizar ningún tratamiento, este es generado de forma automática a partir de la nube de puntos densa, sin embargo, el DTM es generado a partir de procesamientos automáticos y de limpieza manual de la nube de puntos, donde el objetivo es eliminar cualquier elemento artificial (construcciones) y la cobertura arbórea presente en el área de vuelo para obtener el terreno desnudo.

Luego de haber generado los dos modelos DTM y DSM, se procede a generar el mapa de pendientes sobre cada uno de ellos y clasificarlas en 7 categorías de acuerdo con el estándar del IGAC (IGAC, 2014), es decir plana, ligeramente inclinada, moderadamente inclinada, fuertemente inclinada, ligeramente escarpada, moderadamente escarpada y fuertemente escarpada para hacer las respectivas comparaciones. La figura siguiente muestra los resultados visuales

Figura 24. Pendientes (%) DTM (izquierda) y DSM (derecha)

Fuente, elaboración propia. Imagen izquierda DTM e imagen derecha DSM

Como se observa en la figura anterior, la imagen de la izquierda expone las pendientes del modelo DTM, el cual es más suavizado debido a que en este modelo se quitan los árboles y las construcciones, por tanto, representa el modelo del terreno. Se observa visualmente, mayores representaciones de pendientes escarpadas en el modelo DSM debido a la pendiente escarpada que crean las construcciones y los árboles. El modelo DTM contiene una proporción importante de pendientes fuertemente inclinadas. La tabla siguiente extrae las proporciones calculadas para cada una de las categorías.

Cuadro 10. Cálculo de área por rangos de pendiente

PENDIENTES		DSM		DTM		
PENDIENTE	RANGO %	AREA (Ha)	PORCENTAJE	AREA_HA	PORCENTAJE	COLOR
Plana	0-3	2.1	2%	1.20	1%	
Ligeramente Inclinada	3-7	2.8	3%	4.03	4%	
Moderadamente Inclinada	7-12	5.8	6%	7.76	8%	
Fuertemente Inclinada	12-25	19.7	19%	27.98	27%	
Ligeramente Escarpada	25-50	30.9	30%	38.29	37%	
Moderadamente Escarpada	50-7	16.2	16%	13.72	13%	
Fuertemente Escarpada	>75	25.9	25%	10.09	10%	
TOTAL		103	100%	103	100%	

Fuente: Elaboración propia, presente investigación.

Comparando el DTM versus el DSM, se observan cambios importantes por clase. El área plana es menor en el DTM, La pendiente ligeramente inclinada es un punto mayor en el DTM. El área moderadamente inclinada creció 2% en el DTM. Por su parte el área de pendientes fuertemente inclinada creció 8% en el DTM respecto a la presentada en el DSM. Lo mismo sucedió con las pendientes ligeramente escarpadas creció 7%, pero tuvo reducción en las pendientes moderadamente escarpadas en 3% y sobre todo en la pendiente fuertemente escarpada, donde registró 15% menos de área.

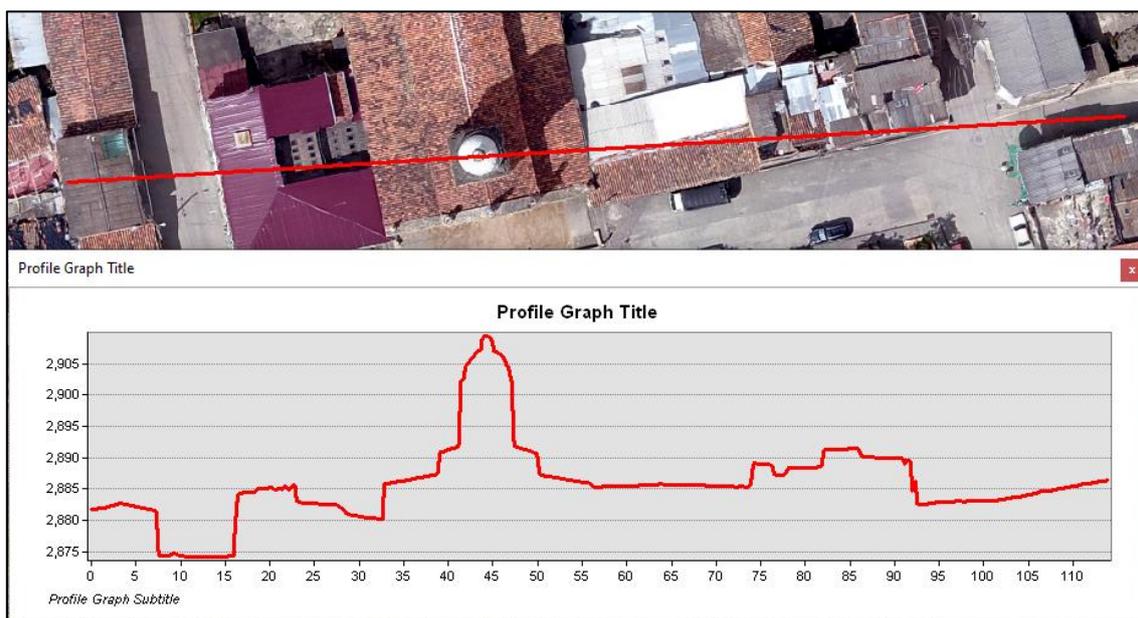
Se observa que la mayor proporción del área presenta alta tasa de pendiente. Los intervalos desde fuertemente inclinada hasta fuertemente escarpada, representa para juntos modelos más del 90% del área, esto demuestra que definitivamente el trabajo no se hizo sobre un área plana y, por tanto, cumple con el objetivo de tener grandes cambios de pendiente.

Desde el punto de vista técnico y de usabilidad, los dos modelos son importantes, el DTM sirve para planificar obras de infraestructura, estudios de riesgos, circulación de drenajes y el modelo DSM igualmente sirve para modelamiento por ejemplo de flujos, planificación de construcciones, cálculo de altura de las actuales edificaciones, modelo de sombras para proyectos de arquitectura, entre otros. La figura de abajo muestra un perfil del modelo DSM

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

atravesando de occidente a oriente, una construcción que tiene techo a dos aguas con una altura de aproximadamente 8 metros respecto a la vía, enseguida sigue una construcción de aproximadamente 10 metros de altura, para continuar con la iglesia que tiene una cúpula de aproximadamente 35 metros, continua por una serie de construcciones relativamente homogéneas con altura de 10 metros (3 pisos) y desciende hasta la calle, donde se observa que tiene una pendiente moderada.

Figura 25. Perfil longitudinal modelo DSM



Fuente: Elaboración propia sobre ArcMap

7. CONCLUSIONES

La principal conclusión es que sí es posible obtener resultados fotogramétricos de la más alta calidad por su exactitud posicional y precisión en áreas montañosas, utilizando antena GNSS L1 y realizando procesamiento PPK. Sin embargo, se debe tener especial cuidado en la configuración del procesamiento fotogramétrico.

Se debe mencionar que, aunque el resultado fotogramétrico sin utilizar puntos de control es bueno cuando se hace el procesamiento correcto, el cual en este caso fue el realizado en P3, es recomendable como mínimo utilizar dos o tres puntos de control para obtener el máximo potencial.

No es recomendable utilizar parámetros fijos que provengan de la calibración de la cámara previamente calculada. Los resultados obtenidos de P5 a P8 lo confirman. Esto probablemente debido a que la cámara no es métrica.

Hacer fotogrametría por medio de aeronaves remotamente tripuladas, con sensores no métricos y utilizando algoritmos SfM es posible en áreas montañosas, se obtiene resultados tan exactos y precisos como en las áreas planas y se cumple con los estándares internacionales y nacionales.

No obstante, la anterior afirmación, se hace necesario seguir investigando en otro tipo de áreas montañosas para corroborar los resultados obtenidos en esta investigación. En la presente, se utilizó un tipo de sensor y con una configuración específica, se necesita más vuelos, con otras alturas, traslapes, sensores, etc, que puedan seguir alimentando la investigación para la fotogrametría por medio de UAS en áreas montañosas.

Hacer fotogrametría por medio de sistemas UAS no es difícil, mejora costos y tiempos. Además, se prevé que unido a las políticas públicas territoriales que se vienen implementando en Colombia, la utilización será recurrente para que los mandatarios locales puedan hacer seguimiento y planeación de forma más eficiente y eficaz.

8. BIBLIOGRAFÍA

AGISOFT. (2022). *Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 1.8*.

ARDUPILOT. (2021). *Mission Planner Home — Mission Planner documentation*.

<https://ardupilot.org/planner/>

Australia, G. (2014). *AUSPOS - Online GPS Processing Service*. c\=AU;o\=Australian Government\;ou\=Geoscience Australia.

Burdziakowski, P., & Bobkowska, K. (2021). Uav photogrammetry under poor lighting conditions—accuracy considerations. *Sensors*, 21(10).

<https://doi.org/10.3390/s21103531>

Castro, A. F., Jeison, T., Urrego, E., Universidad, F., Francisco, D., De Caldas, J., De, F., Ambiente, M., & Naturales, Y. R. (2018). *EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON EL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN GENERADA CON RPAS-(REMOTEY PILOTED AIRCRAFT SYSTEM)*.

DANE. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*.

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>

DJI. (2020). *Phantom 4 RTK - DJI*. <https://www.dji.com/phantom-4-rtk>

DJI. (2022). *Phantom 4 Pro V2.0 - Specifications - DJI*. <https://www.dji.com/phantom-4-pro-v2/specs>

Dronelink. (2022). *Dronelink*. <https://app.dronelink.com/dron>

Elkhrachy, I. (2021). Accuracy Assessment of Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry. *Alexandria Engineering Journal*, 60(6), 5579–5590.

<https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2021.04.011>

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

GPS World. (2019). *GeoCue enables third-party GNSS use with Phantom : GPS World.*

2019. <https://www.gpsworld.com/geocue-enables-third-party-gnss-use-with-phantom-4-rtk/>

ICONTEC. (2018). *NTC 6271 Información geográfica. Estudios Topograficos.*

IGAC. (2011). *Manual de procedimientos. Levantamientos topográficos de precisión.*

IGAC. (2014). *Códigos para los levantamientos de suelos.*

IGAC. (2017). *Procesamiento de información GNSS en software Leica GeoOffice y Magnet Tools.*

IGAC. (2019). *Guican de la sierra 1:5000 (p. 1).*

IGAC. (2020, May 14). *Resolución 471 de 2020.* IGAC.

https://igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/normograma/resolucion_471_de_2020.pdf

IGAC. (2021). *Magna Sirgas Pro 5.1.*

IGAC. (2022). *Modelo Geoidal de Colombia | Instituto Geográfico Agustín Codazzi.*

<https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/modelo-geoidal-de-colombia>

IGS. (2022). *Products – International GNSS Service.* <https://igs.org/products/>

Manfreda, S., Dvorak, P., Mullerova, J., Herban, S., Vuono, P., Justel, J. J. A., & Perks, M.

(2019). Assessing the Accuracy of Digital Surface Models Derived from Optical Imagery Acquired with Unmanned Aerial Systems. *Drones 2019, Vol. 3, Page 15, 3(1), 15.*

<https://doi.org/10.3390/DRONES3010015>

Mulakala, J. (2019). *Measurement Accuracy of the DJI Phantom 4 RTK & Photogrammetry.*

Natural Resources Canada. (2020, August 8). *Precise Point Positioning.*

<https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php?locale=en>

NOAA. (n.d.). *OPUS: the Online Positioning User Service, process your GNSS data in the*

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

National Spatial Reference System. Retrieved May 11, 2022, from

<https://geodesy.noaa.gov/OPUS/>

Odijk, D., Teunissen, P. J. G., & Zhang, B. (2012). Single-Frequency Integer Ambiguity Resolution Enabled GPS Precise Point Positioning. *Journal of Surveying Engineering*, 138(4), 193–202. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000085](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000085)

PHASEONE. (2022). *Aerial Cameras - Industrial Cameras, Controller and Lenses*.

<https://geospatial.phaseone.com/cameras/>

Swift Navigation. (2021). <https://www.swiftnav.com/>

Swift Navigation. (2022, March 26). *Swift Navigation Support*.

<https://support.swiftnav.com/support/solutions/articles/44001907895-sbp-to-rinex-converter-and-data-post-processing>

Swiftnav. (2020). *GNSS Antena GPS500*. www.swiftnav.com

Tabib Mahmoudi, F., Samadzadegan, F., & Reinartz, P. (2014). *ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*. <https://doi.org/10.14358/PERS.81.3.A1-A26>

Takasu, T. (2013). *RTKLIB ver. 2.4.2 Manual*.

Tallyzman. (2022). *TW4721 Single Band GNSS Antenna | Tallysman*.

<https://www.tallysman.com/product/tw4721-single-band-gnss-antenna/>

Tomás-Jover, R., Guill, R., González, M., Fernández, A. A., & Jordá, L. (2016). *Structure from Motion (SfM): una técnica fotogramétrica de bajo coste para la caracterización y monitoreo de macizos rocosos - Dialnet*.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6459555>

Trimble. (2020, August 8). *Trimble CenterPoint RTX Post-Processing Service*.

<https://trimblertx.com/>

TRIMBLE APPLANIX. (2019). *APV-15 UAV*. www.applanix.com

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

UAEAC. (2018). *Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil Oficina de Transporte Aéreo-Grupo de Normas Aeronáuticas.*

UBLOX. (2022). *NEO-M8P u-blox M8 high precision GNSS modules Data sheet Title NEO-M8P Subtitle u-blox M8 high precision GNSS modules Document type Data sheet Document number This document applies to the following products: Product name Type number ROM/FLASH version PCN reference Content Status. www.u-blox.com*

UgCS for DJI app. (2022). *UgCS for DJI. <https://www.ugcs.com/page/ugcs-for-dji>*

Zhang, H., Aldana-Jague, E., Clapuyt, F., Wilken, F., Vanacker, V., & Van Oost, K. (2019). Evaluating the potential of post-processing kinematic (PPK) georeferencing for UAV-based structure- from-motion (SfM) photogrammetry and surface change detection. *Earth Surface Dynamics*, 7(3), 807–827. <https://doi.org/10.5194/esurf-7-807-2019>

9. ANEXOS

Anexo 1. Informe cálculos geodésicos estación base.



SCRS-PPP 3.50.0 (2021-03-10)



0050_10s211.obs

Début des données	Fin des données	Durée des observations
2021-01-23 11:24:30.00	2021-01-23 23:24:00.00	11:59:30
Heure de traitement		Type de produits
15:59:23 UTC 2021/03/28		RNCan/IGS final
Observations	Fréquence	Mode
Porteuse et pseudo-distance	Double	Statique
Masque d'élévation	Données rejetées	Ambiguïtés fixées
7.5 degrés	0.00 %	94.54 %
Antenne	CPA au PRA	PRA au Repère
HXCGPS500	L1 = 0.055 m L2 = 0.048 m	H:3.000m / E:0.000m / N:0.000m

(CPA = centre de phase de l'antenne; PRA = point de référence de l'antenne)

Positions estimées pour 0050_10s211.obs

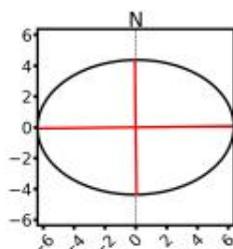
	Latitude (+n)	Longitude (+e)	Altitude Ell.
ITRF14 (2021.1)	6° 27' 42.79560"	-72° 24' 39.75093"	2917.233 m
Sigmas(95%)	0.004 m	0.005 m	0.015 m
A priori*	6° 27' 42.81385"	-72° 24' 39.78006"	2930.460 m
Position calculée – A priori	-0.561 m	0.895 m	-13.227 m

Ellipse d'erreur 95% (mm)

demi-grand axe: 6 mm

demi-petit axe: 4 mm

azimut du demi-grand axe: 89° 17' 38.56"

UTM (Nord)
Zone 18

714991.575 m (N)

786363.755 m (E)

Facteurs échelle

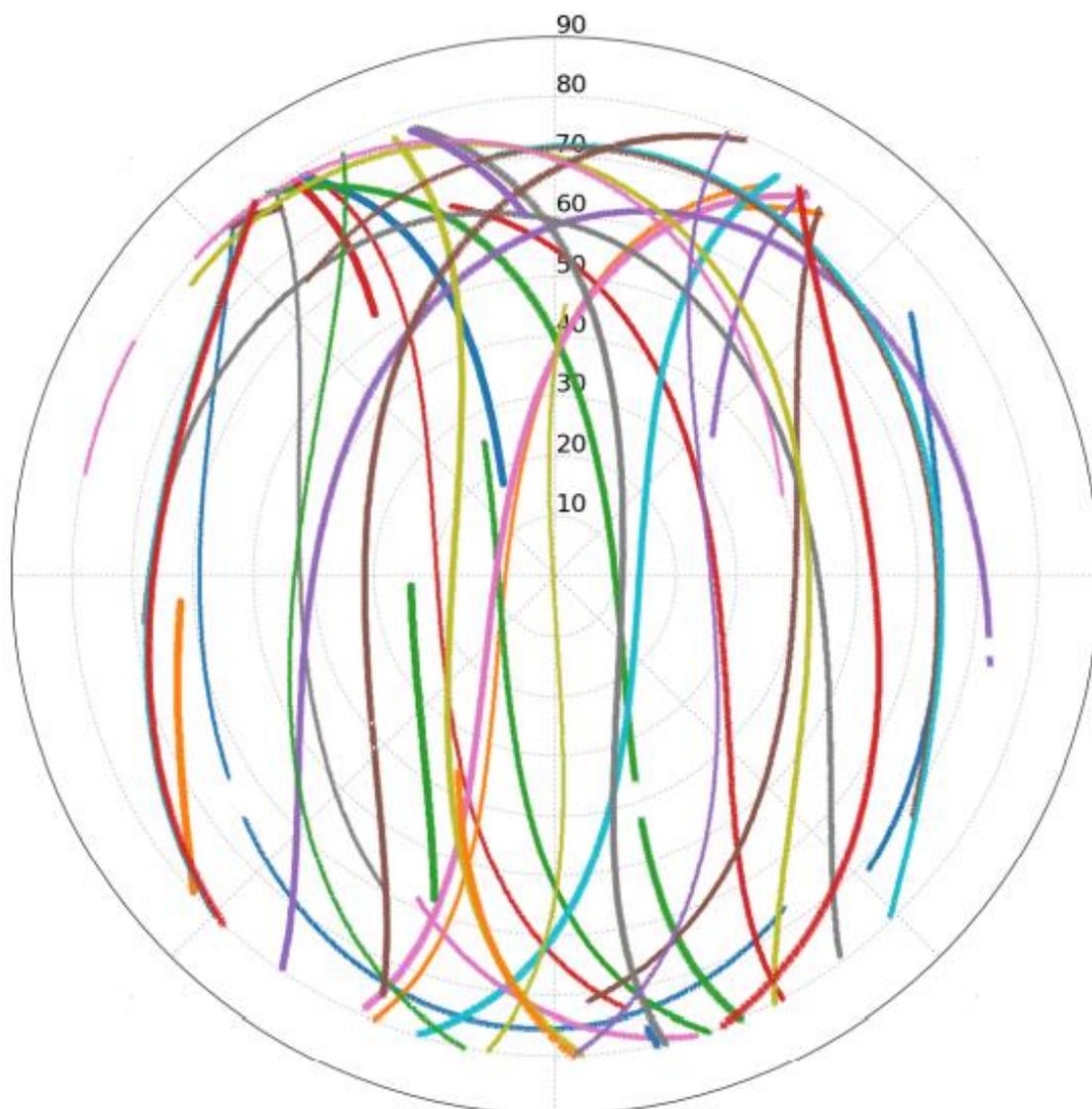
1.00061510 (point)

1.00015615 (combiné)

*(Position a priori initialisée à partir des coordonnées de l'en-tête du RINEX)

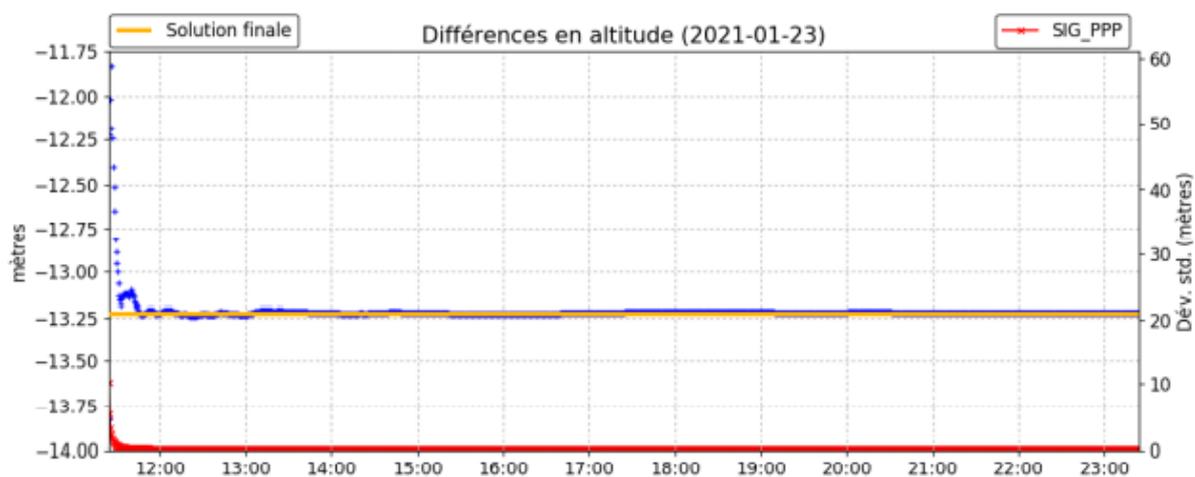
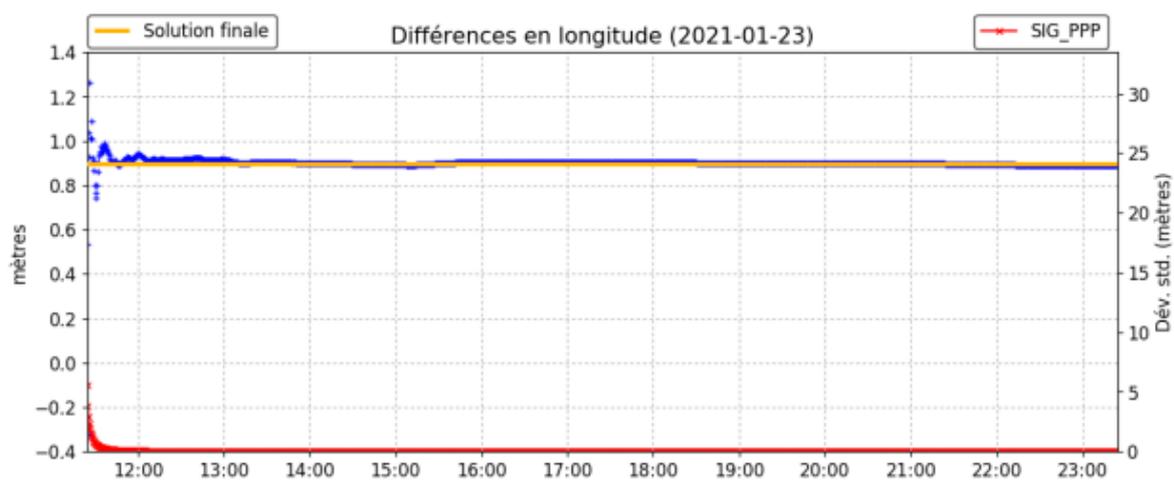
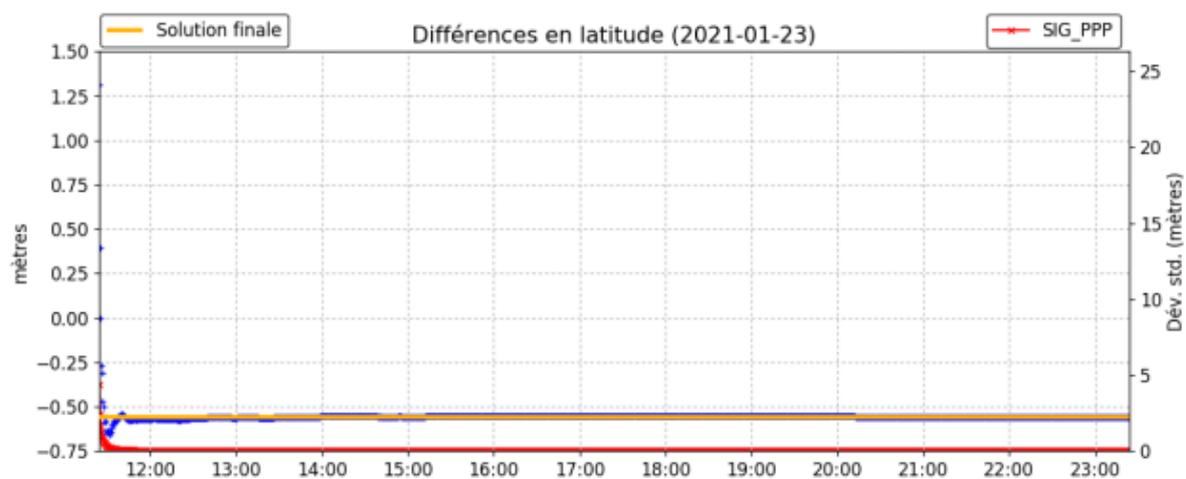
Vuelo fotogramétrico en área montañosa

Distribution spatiale des satellites

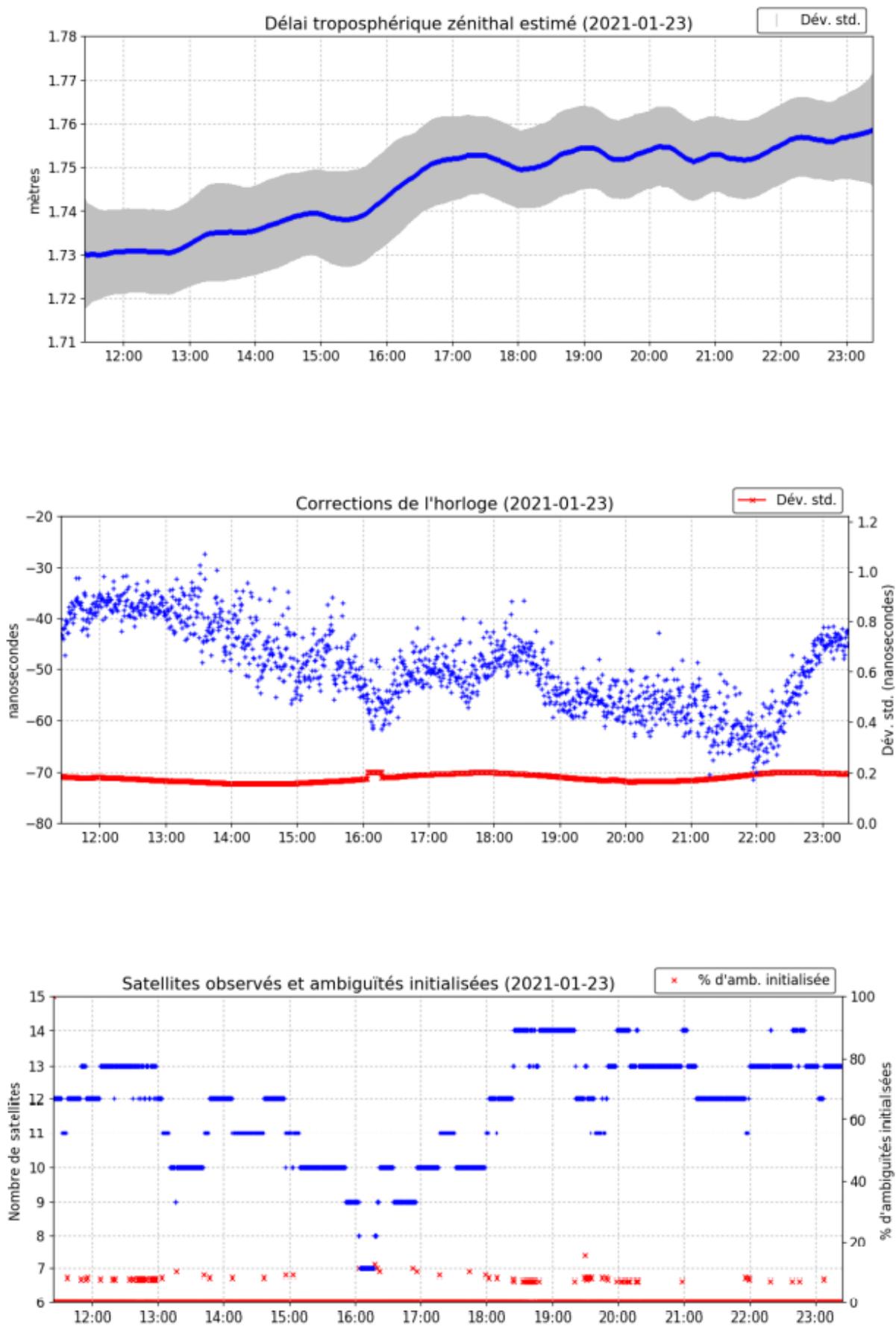


• G03	• G12	• G24	• G31	• R05	• R17
• G04	• G14	• G25	• G32	• R08	• R18
• G07	• G15	• G26	• R01	• R13	• R19
• G08	• G17	• G27	• R02	• R14	• R21
• G09	• G18	• G29	• R03	• R15	• R22
• G10	• G23	• G30	• R04	• R16	• R24

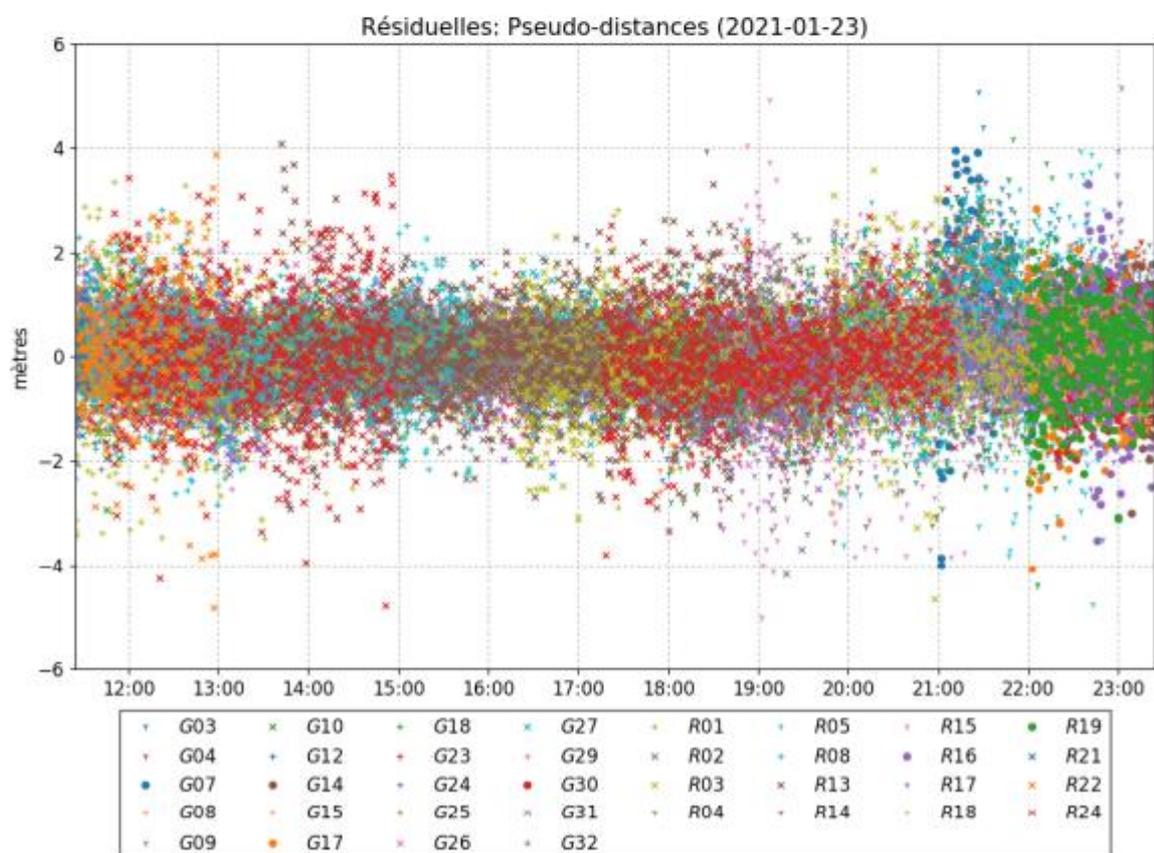
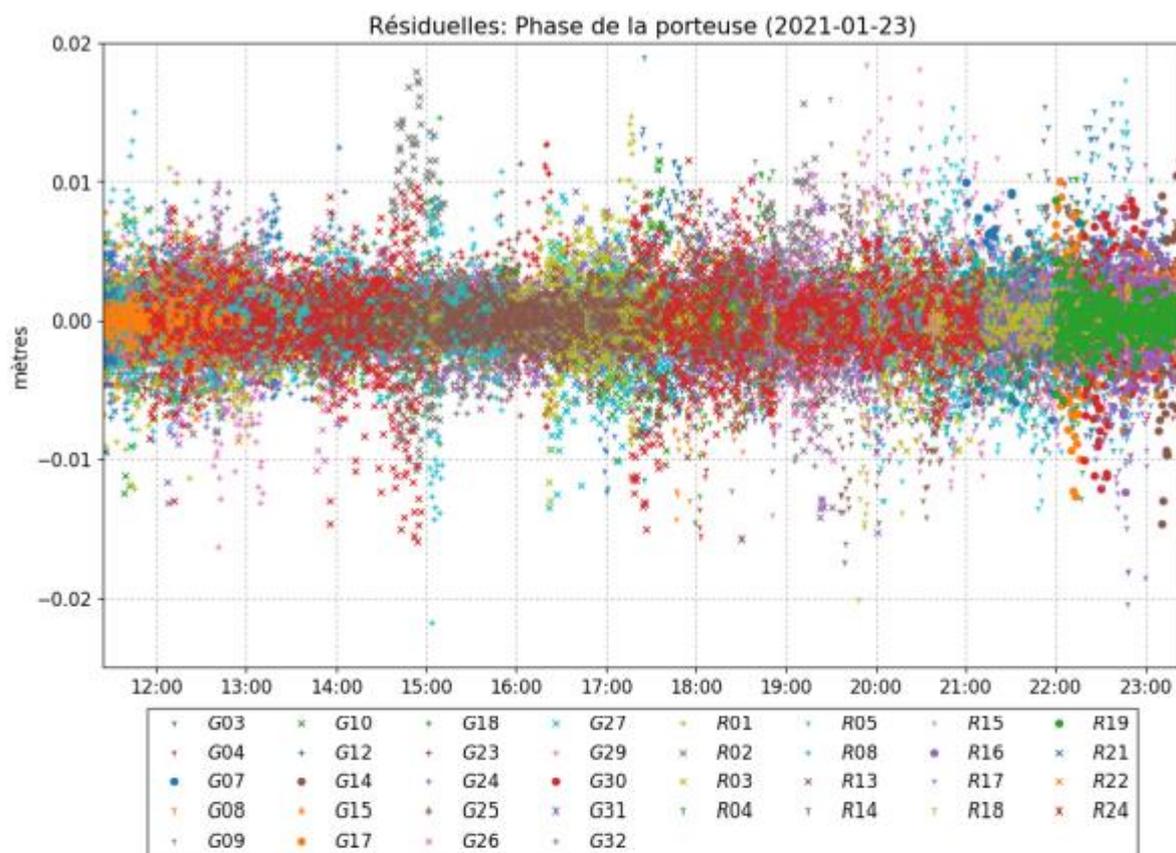
Vuelo fotogramétrico en área montañosa



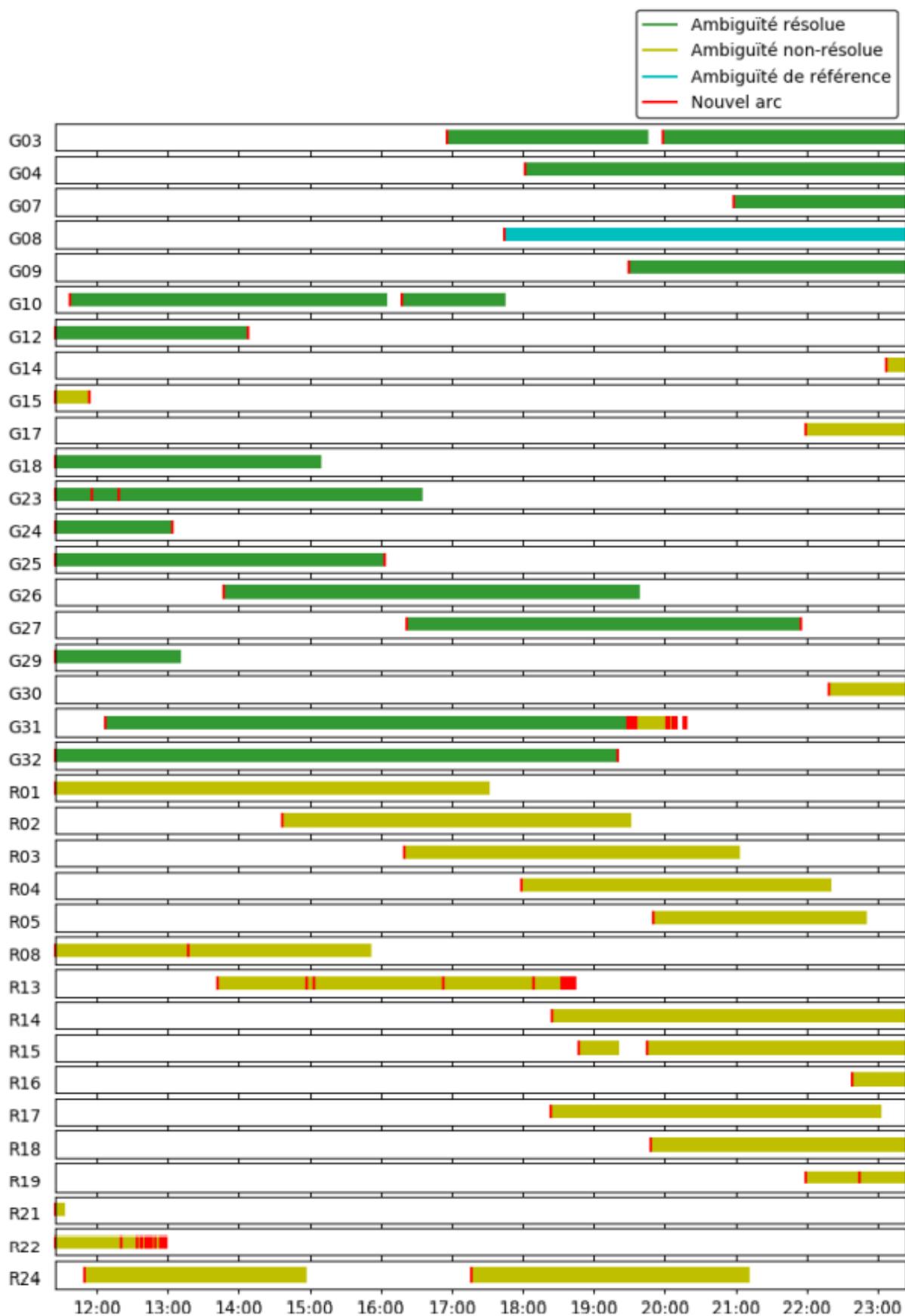
Vuelo fotogramétrico en área montañosa



Vuelo fotogramétrico en área montañosa



Statut des ambiguïtés de phase (2021-01-23)



~~~~ **Avis de non-responsabilité** ~~~~

**Ressources naturelles Canada n'accepte aucune responsabilité à l'égard de conséquences présumées, directes ou indirectes, d'éléments de son service de positionnement en ligne SCRS-PPP.**

**Si vous avez des questions, n'hésitez pas à contacter:**

**Services géodésiques intégrés  
Levés géodésiques du Canada  
Direction de l'arpenteur général  
Ressources naturelles Canada  
Gouvernement du Canada  
588 rue Booth, pièce 334  
Ottawa, Ontario K1A 0Y7  
Téléphone : 343-292-6617**

**Courriel : [nrcan.geodeticinformation-informationgeodesique.rncan@canada.ca](mailto:nrcan.geodeticinformation-informationgeodesique.rncan@canada.ca)**



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

Canada

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

## Anexo 2. Coordenadas elipsoidales XY y Alturas ortométricas puntos de control/chequeo

| ID     | Latitud    | Longitud    | Altura_Ortometrica | ID_original |
|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 1      | 6.4621983  | -72.4108004 | 2904.201           | 40          |
| 2      | 6.46093375 | -72.4104158 | 2904.817           | 41          |
| 3      | 6.46186422 | -72.4101239 | 2915.526           | 42          |
| 4      | 6.46228208 | -72.4101665 | 2915.807           | 43          |
| 5      | 6.46400598 | -72.4103351 | 2914.7             | 44          |
| 6      | 6.46384557 | -72.4112164 | 2898.575           | 45          |
| 7      | 6.46161265 | -72.411109  | 2896.009           | 46          |
| 8      | 6.46037686 | -72.411017  | 2880.244           | 47          |
| 9      | 6.46053776 | -72.4120123 | 2869.108           | 48          |
| 10     | 6.46124013 | -72.4133067 | 2857.924           | 49          |
| 11     | 6.46276119 | -72.412155  | 2873.062           | 50          |
| 12     | 6.46346565 | -72.414183  | 2856.128           | 51          |
| 13     | 6.46173137 | -72.4117464 | 2880.319           | 52          |
| 14     | 6.46670703 | -72.4112211 | 2929.19            | 53          |
| 15     | 6.46582189 | -72.4105353 | 2924.322           | 54          |
| 16     | 6.46512769 | -72.4119266 | 2891.418           | 55          |
| 17     | 6.46430273 | -72.4122212 | 2879.436           | 56          |
| 18     | 6.46474914 | -72.4126896 | 2869.867           | 57          |
| 19     | 6.46585379 | -72.4142481 | 2831.232           | 58          |
| 20     | 6.46492686 | -72.4150915 | 2809.421           | 59          |
| 21     | 6.46462013 | -72.4136961 | 2842.608           | 60          |
| 22     | 6.46196571 | -72.4140807 | 2835.783           | 61          |
| 23     | 6.46179787 | -72.41503   | 2811.411           | 62          |
| 24     | 6.46307487 | -72.4154264 | 2806.122           | 64          |
| 25     | 6.46063786 | -72.4132139 | 2845.158           | 66          |
| 26     | 6.46706881 | -72.4108643 | 2939.923           | 73          |
| 27     | 6.46537244 | -72.4098887 | 2939.211           | 74          |
| 28     | 6.46524897 | -72.4086064 | 2992.431           | 75          |
| 29     | 6.46304288 | -72.4081568 | 2984.794           | 76          |
| 30     | 6.46349129 | -72.4089286 | 2940.63            | 77          |
| 31     | 6.46103654 | -72.4096675 | 2903.298           | 79          |
| 32     | 6.45884422 | -72.4119154 | 2812.844           | 80          |
| Drn_f1 | 6.46181565 | -72.4110391 | 2898.489           | Drn_f1      |
| Base   | 6.46188764 | -72.4110419 | 2898.022           | Base        |

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

### Anexo 3. Coordenadas elipsoidales XY y Alturas ortométricas de la orientación exterior (centro de la fotografía)

| Foto         | Latotid     | Longitud     | Altra_Ortometrica |
|--------------|-------------|--------------|-------------------|
| DJI_0456.JPG | 6.46006673  | -72.41428671 | 3111.47           |
| DJI_0457.JPG | 6.460548647 | -72.41428664 | 3112.489          |
| DJI_0458.JPG | 6.461040178 | -72.41428619 | 3112.304          |
| DJI_0459.JPG | 6.461527606 | -72.41428645 | 3112.338          |
| DJI_0460.JPG | 6.462020563 | -72.41428689 | 3112.131          |
| DJI_0461.JPG | 6.462508891 | -72.41428806 | 3110.991          |
| DJI_0462.JPG | 6.462998879 | -72.41428788 | 3111              |
| DJI_0463.JPG | 6.463491615 | -72.41428696 | 3111.303          |
| DJI_0464.JPG | 6.463979652 | -72.41428753 | 3111.764          |
| DJI_0465.JPG | 6.464472812 | -72.41428693 | 3111.957          |
| DJI_0466.JPG | 6.464961769 | -72.41428687 | 3112.244          |
| DJI_0467.JPG | 6.465450502 | -72.41428689 | 3111.693          |
| DJI_0468.JPG | 6.465939011 | -72.41428629 | 3111.694          |
| DJI_0469.JPG | 6.466421907 | -72.41428412 | 3111.121          |
| DJI_0470.JPG | 6.466918264 | -72.41428678 | 3111.719          |
| DJI_0471.JPG | 6.46736465  | -72.41428567 | 3112.158          |
| DJI_0472.JPG | 6.467441004 | -72.41323051 | 3109.793          |
| DJI_0473.JPG | 6.466943104 | -72.41321492 | 3109.98           |
| DJI_0474.JPG | 6.466378082 | -72.41326003 | 3111.491          |
| DJI_0475.JPG | 6.465915784 | -72.41325689 | 3111.185          |
| DJI_0476.JPG | 6.465419982 | -72.41326242 | 3111.655          |
| DJI_0477.JPG | 6.464912533 | -72.41326357 | 3111.596          |
| DJI_0478.JPG | 6.46442907  | -72.41326218 | 3110.602          |
| DJI_0479.JPG | 6.463956755 | -72.41326482 | 3110.893          |
| DJI_0480.JPG | 6.463466144 | -72.41326325 | 3110.474          |
| DJI_0481.JPG | 6.463033989 | -72.41324609 | 3110.54           |
| DJI_0482.JPG | 6.46250522  | -72.41326457 | 3109.865          |
| DJI_0483.JPG | 6.462116823 | -72.4132398  | 3110.065          |
| DJI_0484.JPG | 6.461575644 | -72.41321576 | 3110.21           |
| DJI_0485.JPG | 6.461001365 | -72.41326496 | 3110.997          |
| DJI_0486.JPG | 6.460509151 | -72.4132613  | 3110.879          |
| DJI_0487.JPG | 6.460043649 | -72.41326019 | 3110.89           |
| DJI_0488.JPG | 6.459582216 | -72.41326348 | 3111.06           |
| DJI_0489.JPG | 6.459345189 | -72.41222698 | 3110.755          |
| DJI_0490.JPG | 6.459849796 | -72.41222583 | 3111.02           |
| DJI_0491.JPG | 6.460342308 | -72.41222679 | 3111.795          |
| DJI_0492.JPG | 6.460830247 | -72.4122256  | 3111.554          |
| DJI_0493.JPG | 6.461323034 | -72.41222522 | 3111.594          |
| DJI_0494.JPG | 6.461762263 | -72.41221669 | 3111.031          |
| DJI_0495.JPG | 6.462311183 | -72.41222241 | 3110.494          |
| DJI_0496.JPG | 6.462781851 | -72.41222359 | 3109.281          |

## Vuelo fotogramétrico en área montañosa

| Foto         | Latitud     | Longitud     | Altra_Ortometrica |
|--------------|-------------|--------------|-------------------|
| DJI_0497.JPG | 6.463179012 | -72.41220906 | 3109.832          |
| DJI_0498.JPG | 6.463757725 | -72.41222238 | 3109.029          |
| DJI_0499.JPG | 6.46425951  | -72.41222495 | 3109.813          |
| DJI_0500.JPG | 6.464747354 | -72.41222261 | 3109.324          |
| DJI_0501.JPG | 6.465230113 | -72.4122237  | 3109.398          |
| DJI_0502.JPG | 6.465725956 | -72.41222158 | 3109.909          |
| DJI_0503.JPG | 6.466217982 | -72.41222397 | 3110.779          |
| DJI_0504.JPG | 6.46670771  | -72.41222211 | 3111.432          |
| DJI_0505.JPG | 6.467199069 | -72.41222359 | 3111.858          |
| DJI_0506.JPG | 6.467629532 | -72.41222203 | 3110.945          |
| DJI_0507.JPG | 6.467567217 | -72.41116746 | 3110.28           |
| DJI_0508.JPG | 6.467046456 | -72.41114853 | 3109.96           |
| DJI_0509.JPG | 6.466530732 | -72.41117428 | 3109.299          |
| DJI_0510.JPG | 6.466016269 | -72.41119305 | 3110.053          |
| DJI_0511.JPG | 6.46552496  | -72.41119573 | 3111.333          |
| DJI_0512.JPG | 6.465037796 | -72.4111934  | 3110.112          |
| DJI_0513.JPG | 6.464587178 | -72.41117067 | 3109.223          |
| DJI_0514.JPG | 6.464051164 | -72.41119504 | 3110.07           |
| DJI_0515.JPG | 6.463590853 | -72.41118709 | 3110.139          |
| DJI_0516.JPG | 6.463133757 | -72.41114798 | 3109.376          |
| DJI_0517.JPG | 6.462583287 | -72.41119619 | 3110.341          |
| DJI_0518.JPG | 6.462083807 | -72.41119173 | 3110.491          |
| DJI_0519.JPG | 6.461678622 | -72.41115932 | 3109.19           |
| DJI_0520.JPG | 6.461152988 | -72.41115505 | 3109.589          |
| DJI_0521.JPG | 6.460597399 | -72.41119796 | 3110.531          |
| DJI_0522.JPG | 6.460116317 | -72.41119633 | 3110.378          |
| DJI_0523.JPG | 6.459632423 | -72.41119563 | 3110.091          |
| DJI_0524.JPG | 6.45970045  | -72.41016174 | 3110.009          |
| DJI_0525.JPG | 6.460206432 | -72.41016087 | 3110.405          |
| DJI_0526.JPG | 6.460716638 | -72.41015997 | 3110.319          |
| DJI_0527.JPG | 6.46118414  | -72.410158   | 3110.134          |
| DJI_0528.JPG | 6.461690039 | -72.41015635 | 3109.693          |
| DJI_0529.JPG | 6.462162151 | -72.41015645 | 3110.099          |
| DJI_0530.JPG | 6.462651532 | -72.41015546 | 3110.282          |
| DJI_0531.JPG | 6.463142871 | -72.41015368 | 3110.123          |
| DJI_0532.JPG | 6.463648149 | -72.4101517  | 3109.849          |
| DJI_0533.JPG | 6.464141222 | -72.41015401 | 3109.377          |
| DJI_0534.JPG | 6.464632718 | -72.41015582 | 3109.601          |
| DJI_0535.JPG | 6.465102199 | -72.41015524 | 3109.431          |
| DJI_0536.JPG | 6.465609375 | -72.41015554 | 3109.846          |
| DJI_0537.JPG | 6.466062161 | -72.410148   | 3110.165          |
| DJI_0538.JPG | 6.466588398 | -72.41015478 | 3109.9            |
| DJI_0539.JPG | 6.467057625 | -72.41015434 | 3109.742          |

## Vuelo fotogramétrico en área montañosa

| Foto         | Latitud     | Longitud     | Altra_Ortométrica |
|--------------|-------------|--------------|-------------------|
| DJI_0540.JPG | 6.467066608 | -72.40908447 | 3108.065          |
| DJI_0541.JPG | 6.466555826 | -72.40907261 | 3109.382          |
| DJI_0542.JPG | 6.466115402 | -72.40906557 | 3108.737          |
| DJI_0543.JPG | 6.465628469 | -72.4090383  | 3108.353          |
| DJI_0544.JPG | 6.465168534 | -72.40900794 | 3108.721          |
| DJI_0545.JPG | 6.464622884 | -72.40900148 | 3109.52           |
| DJI_0546.JPG | 6.464210776 | -72.40903077 | 3110.105          |
| DJI_0547.JPG | 6.464193576 | -72.40912655 | 3107.754          |
| DJI_0548.JPG | 6.464086845 | -72.40912346 | 3108.094          |
| DJI_0549.JPG | 6.463724163 | -72.40909883 | 3108.698          |
| DJI_0550.JPG | 6.463189555 | -72.40905942 | 3107.927          |
| DJI_0551.JPG | 6.462616549 | -72.40911634 | 3108.78           |
| DJI_0552.JPG | 6.462133068 | -72.40912373 | 3108.593          |
| DJI_0553.JPG | 6.461699068 | -72.4090851  | 3107.634          |
| DJI_0554.JPG | 6.461273349 | -72.40906073 | 3107.945          |

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

**Anexo 4. Resultados de Calidad Procesamientos fotogramétricos**

**4.1. Procesamiento fotogramétrico P1**

| Procesamiento 1 - datos GNSS |            |            |          | Procesamiento 1 -datos Fotogrametría (ArcGis) |            |            |            | Deltas                                       |                    |                    | Deltas al cuadrado |            |            |  |  |
|------------------------------|------------|------------|----------|-----------------------------------------------|------------|------------|------------|----------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|------------|--|--|
| NAME                         | POINT_X    | POINT_Y    | POINT_Z  | NAME                                          | POINT_X    | POINT_Y    | RASTERVALL | DX                                           | DY                 | DZ                 | DX2                | DY2        | DZ2        |  |  |
| 1                            | 852502.091 | 1206544.23 | 2904.201 | 1                                             | 852502.083 | 1206544.26 | 2904.16479 | 0.00848                                      | -0.03442999        | 0.0362051          | 7.19104E-05        | 0.00118542 | 0.00131081 |  |  |
| 3                            | 852576.952 | 1206507.27 | 2915.526 | 3                                             | 852576.902 | 1206507.31 | 2915.51147 | 0.04985                                      | -0.04487001        | 0.0145254          | 0.002485022        | 0.00201332 | 0.00021099 |  |  |
| 4                            | 852572.246 | 1206553.5  | 2915.807 | 4                                             | 852572.228 | 1206553.52 | 2915.84351 | 0.018627                                     | -0.02690001        | -0.0365059         | 0.000346965        | 0.00072361 | 0.00133268 |  |  |
| 5                            | 852553.583 | 1206744.23 | 2914.7   | 5                                             | 852553.55  | 1206744.24 | 2914.68896 | 0.032891                                     | -0.01175999        | 0.0110352          | 0.001081818        | 0.0001383  | 0.00012178 |  |  |
| 6                            | 852456.057 | 1206726.48 | 2898.575 | 6                                             | 852456.07  | 1206726.5  | 2898.55298 | -0.01289                                     | -0.02163           | 0.0220215          | 0.000166152        | 0.00046786 | 0.00048495 |  |  |
| 7                            | 852467.944 | 1206479.43 | 2896.009 | 7                                             | 852467.929 | 1206479.49 | 2896.02271 | 0.015165                                     | -0.06257           | -0.0137051         | 0.000229977        | 0.003915   | 0.00018783 |  |  |
| 8                            | 852478.115 | 1206342.71 | 2880.244 | 8                                             | 852478.145 | 1206342.71 | 2880.18604 | -0.029132                                    | -0.00752999        | 0.0579648          | 0.000848673        | 5.6701E-05 | 0.00335992 |  |  |
| 9                            | 852367.974 | 1206360.51 | 2869.108 | 9                                             | 852368.012 | 1206360.51 | 2868.98291 | -0.038618                                    | 0.00096            | 0.1250898          | 0.00149135         | 9.216E-07  | 0.01564746 |  |  |
| 10                           | 852224.728 | 1206438.22 | 2857.924 | 10                                            | 852224.781 | 1206438.25 | 2857.81543 | -0.053085                                    | -0.03401001        | 0.1085703          | 0.002818017        | 0.00115668 | 0.01178751 |  |  |
| 12                           | 852127.754 | 1206684.45 | 2856.128 | 12                                            | 852127.784 | 1206684.45 | 2856.12134 | -0.029787                                    | -0.00326           | 0.0066621          | 0.000887265        | 1.0628E-05 | 4.4384E-05 |  |  |
| 13                           | 852397.397 | 1206492.57 | 2880.319 | 13                                            | 852397.398 | 1206492.55 | 2880.38745 | -0.001428                                    | 0.01374            | -0.0684512         | 2.03918E-06        | 0.00018879 | 0.00468557 |  |  |
| 14                           | 852455.537 | 1207043.07 | 2929.19  | 14                                            | 852455.544 | 1207043.11 | 2929.13696 | -0.00724                                     | -0.04084001        | 0.0530371          | 5.24176E-05        | 0.00166791 | 0.00281293 |  |  |
| 16                           | 852377.454 | 1206868.33 | 2891.418 | 16                                            | 852377.486 | 1206868.34 | 2891.44824 | -0.032305                                    | -0.00844999        | -0.0302422         | 0.001043613        | 7.1402E-05 | 0.00091459 |  |  |
| 17                           | 852344.857 | 1206777.06 | 2879.436 | 17                                            | 852344.847 | 1206777.08 | 2879.44214 | 0.010398                                     | -0.01879           | -0.0061387         | 0.000108118        | 0.00035306 | 3.7684E-05 |  |  |
| 18                           | 852293.016 | 1206826.45 | 2869.867 | 18                                            | 852292.979 | 1206826.45 | 2869.94019 | 0.036971                                     | -0.00454           | -0.0731855         | 0.001366855        | 2.0612E-05 | 0.00535612 |  |  |
| 20                           | 852027.213 | 1206846.11 | 2809.421 | 20                                            | 852027.116 | 1206846.09 | 2809.40405 | 0.097476                                     | 0.02555            | 0.0169473          | 0.00950157         | 0.0006528  | 0.00028721 |  |  |
| 21                           | 852181.629 | 1206812.18 | 2842.608 | 21                                            | 852181.622 | 1206812.17 | 2842.63696 | 0.006933                                     | 0.00405001         | -0.0289629         | 4.86065E-05        | 1.6403E-05 | 0.00083885 |  |  |
| 22                           | 852139.066 | 1206518.49 | 2835.783 | 22                                            | 852139.068 | 1206518.49 | 2835.82495 | -0.002485                                    | 0.00639            | -0.0419512         | 6.17523E-06        | 4.0832E-05 | 0.0017599  |  |  |
| 23                           | 852034.017 | 1206499.92 | 2811.411 | 23                                            | 852034.028 | 1206499.94 | 2811.37085 | -0.011309                                    | -0.01105001        | 0.0401504          | 0.000127893        | 0.0001221  | 0.00161205 |  |  |
| 24                           | 851990.146 | 1206641.21 | 2806.122 | 24                                            | 851990.112 | 1206641.28 | 2806.03296 | 0.034313                                     | -0.07001           | 0.089041           | 0.001177382        | 0.00490414 | 0.0079283  |  |  |
| 26                           | 852495.019 | 1207083.09 | 2939.923 | 26                                            | 852495.034 | 1207083.09 | 2940.07861 | -0.015228                                    | 0.00544001         | -0.1556133         | 0.000231892        | 2.9594E-05 | 0.0242155  |  |  |
| 27                           | 852602.986 | 1206895.41 | 2939.211 | 27                                            | 852602.985 | 1206895.42 | 2939.41504 | 0.001541                                     | -0.00983           | -0.2040391         | 2.37468E-06        | 9.6629E-05 | 0.04163195 |  |  |
| 28                           | 852744.89  | 1206881.75 | 2992.431 | 28                                            | 852744.928 | 1206881.79 | 2992.61743 | -0.037514                                    | -0.03566           | -0.1864316         | 0.0014073          | 0.00127164 | 0.03475674 |  |  |
| 30                           | 852709.234 | 1206687.28 | 2940.63  | 30                                            | 852709.233 | 1206687.31 | 2940.81079 | 0.00089                                      | -0.02196999        | -0.180791          | 7.921E-07          | 0.00048268 | 0.03268539 |  |  |
| 31                           | 852627.461 | 1206415.69 | 2903.298 | 31                                            | 852627.514 | 1206415.71 | 2903.51978 | -0.052932                                    | -0.01299           | -0.2217754         | 0.002801797        | 0.00016874 | 0.04918433 |  |  |
| 32                           | 852378.692 | 1206173.14 | 2812.844 | 32                                            | 852378.685 | 1206173.12 | 2812.94092 | 0.006893                                     | 0.01461            | -0.096918          | 4.75134E-05        | 0.00021345 | 0.0093931  |  |  |
| Base                         | 852475.368 | 1206509.86 | 2898.022 | Base                                          | 852475.283 | 1206509.84 | 2898.26929 | 0.085082                                     | 0.01709999         | -0.2472871         | 0.007238947        | 0.00029241 | 0.06115091 |  |  |
|                              |            |            |          | <b>Media</b>                                  |            |            |            | <b>0.00302063</b>                            | <b>-0.01456481</b> | <b>-0.03743512</b> |                    |            |            |  |  |
|                              |            |            |          | <b>Desviación Esandar</b>                     |            |            |            | <b>0.03687064</b>                            | <b>0.02364097</b>  | <b>0.10301269</b>  |                    |            |            |  |  |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            | <b>RMSE (xyz)</b>                            |                    |                    | 0.036307278        | 0.02739214 | 0.10779601 |  |  |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            | <b>RMSEr</b>                                 |                    |                    | 0.045481291        |            |            |  |  |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            | <b>Exactitud Horizontal 95% de confianza</b> |                    |                    | 0.078719104        |            |            |  |  |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            | <b>Exactitud Vertical 95% de confianza</b>   |                    |                    | 0.21128017         |            |            |  |  |

**4.2. Procesamiento fotogramétrico P2**

| Procesamiento 2 - datos GNSS |            |            |          | Procesamiento 2 -datos Fotogrametría (ArcGis) |            |            |            | Deltas                                       |                    |                   | Deltas al cuadrado |             |            |  |  |
|------------------------------|------------|------------|----------|-----------------------------------------------|------------|------------|------------|----------------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------|------------|--|--|
| NAME                         | POINT_X    | POINT_Y    | POINT_Z  | NAME                                          | POINT_X    | POINT_Y    | RASTERVALL | DX                                           | DY                 | DZ                | DX2                | DY2         | DZ2        |  |  |
| 1                            | 852502.091 | 1206544.23 | 2904.201 | 1                                             | 852502.085 | 1206544.22 | 2904.04932 | 0.0067187                                    | 0.00357467         | 0.1516836         | 4.51409E-05        | 1.2778E-05  | 0.02300792 |  |  |
| 2                            | 852544.655 | 1206404.32 | 2904.817 | 2                                             | 852544.681 | 1206404.32 | 2904.58887 | -0.02555549                                  | -0.00255389        | 0.2281328         | 0.000653083        | 6.5224E-06  | 0.05204457 |  |  |
| 3                            | 852576.952 | 1206507.27 | 2915.526 | 3                                             | 852576.933 | 1206507.26 | 2915.31689 | 0.01952091                                   | 0.00725215         | 0.2091055         | 0.000381066        | 5.2594E-05  | 0.04372511 |  |  |
| 4                            | 852572.246 | 1206553.5  | 2915.807 | 4                                             | 852572.255 | 1206553.47 | 2915.6665  | -0.00887168                                  | 0.02453317         | 0.1404961         | 7.87067E-05        | 0.00060188  | 0.01973915 |  |  |
| 5                            | 852553.583 | 1206744.23 | 2914.7   | 5                                             | 852553.595 | 1206744.21 | 2914.54419 | -0.01161273                                  | 0.01308346         | 0.1558105         | 0.000134855        | 0.00017118  | 0.02427691 |  |  |
| 6                            | 852456.057 | 1206726.48 | 2898.575 | 6                                             | 852456.08  | 1206726.48 | 2898.45068 | -0.02294441                                  | -0.00014963        | 0.1243164         | 0.000526446        | 2.2389E-08  | 0.01545457 |  |  |
| 7                            | 852467.944 | 1206479.43 | 2896.009 | 7                                             | 852467.945 | 1206479.48 | 2895.87476 | -0.00138121                                  | -0.04411709        | 0.1342441         | 1.90775E-06        | 0.00194632  | 0.01802148 |  |  |
| 8                            | 852478.115 | 1206342.71 | 2880.244 | 8                                             | 852478.15  | 1206342.68 | 2880.0415  | -0.03407302                                  | 0.02099742         | 0.2024961         | 0.001160971        | 0.00044089  | 0.04100467 |  |  |
| 9                            | 852367.974 | 1206360.51 | 2869.108 | 9                                             | 852367.99  | 1206360.51 | 2868.88623 | -0.01628517                                  | -0.00391028        | 0.2217695         | 0.000265207        | 1.529E-05   | 0.04918171 |  |  |
| 10                           | 852224.728 | 1206438.22 | 2857.924 | 10                                            | 852224.749 | 1206438.22 | 2857.77759 | -0.02082813                                  | -0.00286531        | 0.1464121         | 0.000433811        | 8.21E-06    | 0.0214365  |  |  |
| 12                           | 852127.754 | 1206684.45 | 2856.128 | 12                                            | 852127.751 | 1206684.48 | 2856.11963 | 0.00277325                                   | -0.0383542         | 0.0083711         | 7.69091E-06        | 0.00147104  | 7.0075E-05 |  |  |
| 13                           | 852397.397 | 1206492.57 | 2880.319 | 13                                            | 852397.407 | 1206492.58 | 2880.31128 | -0.0103018                                   | -0.01300793        | 0.0077207         | 0.000106127        | 0.00016921  | 5.9609E-05 |  |  |
| 14                           | 852455.537 | 1207043.07 | 2929.19  | 14                                            | 852455.549 | 1207043.11 | 2928.89502 | -0.01207487                                  | -0.04344132        | 0.2949805         | 0.000145803        | 0.00188715  | 0.0870135  |  |  |
| 15                           | 852531.423 | 1206945.14 | 2924.322 | 15                                            | 852531.424 | 1206945.14 | 2924.13916 | -0.00111141                                  | -0.00388411        | 0.1828398         | 1.23522E-06        | 1.5086E-05  | 0.03343039 |  |  |
| 16                           | 852377.454 | 1206868.33 | 2891.418 | 16                                            | 852377.461 | 1206868.35 | 2891.33276 | -0.00701165                                  | -0.01686983        | 0.0852363         | 4.91632E-05        | 0.00028459  | 0.00726523 |  |  |
| 17                           | 852344.857 | 1206777.06 | 2879.436 | 17                                            | 852344.842 | 1206777.07 | 2879.35889 | 0.01522928                                   | -0.01007548        | 0.0771133         | 0.000231931        | 0.00010152  | 0.00594646 |  |  |
| 18                           | 852293.016 | 1206826.45 | 2869.867 | 18                                            | 852292.998 | 1206826.47 | 2869.88184 | 0.01870893                                   | -0.02018238        | -0.0148359        | 0.000350024        | 0.00040733  | 0.0002201  |  |  |
| 19                           | 852120.55  | 1206948.67 | 2831.232 | 19                                            | 852120.615 | 1206948.66 | 2831.10645 | -0.06550021                                  | 0.00579956         | 0.1255547         | 0.004290278        | 3.3635E-05  | 0.01576398 |  |  |
| 21                           | 852181.629 | 1206812.18 | 2842.608 | 21                                            | 852181.646 | 1206812.18 | 2842.57104 | -0.0165522                                   | -0.00509097        | 0.0369551         | 0.000273975        | 2.5918E-05  | 0.00136568 |  |  |
| 22                           | 852139.066 | 1206518.49 | 2835.783 | 22                                            | 852139.01  | 1206518.53 | 2835.86011 | 0.05568548                                   | -0.036411          | -0.0771074        | 0.003100873        | 0.00132576  | 0.00594554 |  |  |
| 23                           | 852034.017 | 1206499.92 | 2811.411 | 23                                            | 852033.992 | 1206499.97 | 2811.40088 | 0.02482829                                   | -0.04484138        | 0.10101211        | 0.000616444        | 0.00201075  | 0.0010244  |  |  |
| 24                           | 851990.146 | 1206641.21 | 2806.122 | 24                                            | 851990.082 | 1206641.29 | 2806.0919  | 0.06453681                                   | -0.07427232        | 0.0302031         | 0.004165           | 0.0051638   | 0.00091223 |  |  |
| 26                           | 852495.019 | 1207083.09 | 2939.923 | 26                                            | 852495.062 | 1207083.11 | 2939.79199 | -0.0432263                                   | -0.01088598        | 0.1310078         | 0.001868513        | 0.0001185   | 0.01716304 |  |  |
| 28                           | 852744.89  | 1206881.75 | 2992.431 | 28                                            | 852745.032 | 1206881.75 | 2992.22437 | -0.14181677                                  | -0.00246085        | 0.2066348         | 0.020111997        | 6.0558E-06  | 0.04269794 |  |  |
| 30                           | 852709.234 | 1206687.28 | 2940.63  | 30                                            | 852709.311 | 1206687.25 | 2940.50342 | -0.07746496                                  | 0.03684105         | 0.126582          | 0.006000819        | 0.00135726  | 0.016023   |  |  |
| 32                           | 852378.692 | 1206173.14 | 2812.844 | 32                                            | 852378.68  | 1206173.22 | 2812.82178 | -0.01190627                                  | -0.08782054        | 0.0222227         | 0.000141759        | 0.000771245 | 0.00049385 |  |  |
| Base                         | 852475.368 | 1206509.86 | 2898.022 | Base                                          | 852475.317 | 1206509.81 | 2898.11011 | 0.05186033                                   | 0.04831727         | -0.0881074        | 0.002689494        | 0.00233456  | 0.00776291 |  |  |
|                              |            |            |          | <b>Media</b>                                  |            |            |            | <b>-0.00906829</b>                           | <b>-0.01114058</b> | <b>0.10666515</b> |                    |             |            |  |  |
|                              |            |            |          | <b>Desviación Esandar</b>                     |            |            |            | <b>0.04188446</b>                            | <b>0.03081073</b>  | <b>0.09666304</b> |                    |             |            |  |  |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            | <b>RMSE (xyz)</b>                            |                    |                   | 0.042089992        | 0.03222196  | 0.14274149 |  |  |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            | <b>RMSEr</b>                                 |                    |                   | 0.053007753        |             |            |  |  |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            | <b>Exactitud Horizontal 95% de confianza</b> |                    |                   | 0.091745918        |             |            |  |  |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            | <b>Exactitud Vertical 95% de confianza</b>   |                    |                   | 0.27977332         |             |            |  |  |

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

4.3. Procesamiento fotogramétrico P3

| Procesamiento 3 - datos GNSS          |            |            |          | Procesamiento 3 - datos Fotogrametría (ArcGis) |            |            |            | Deltas     |             |            | Deltas al cuadrado |            |            |
|---------------------------------------|------------|------------|----------|------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|--------------------|------------|------------|
| NAME                                  | POINT_X    | POINT_Y    | POINT_Z  | NAME                                           | POINT_X    | POINT_Y    | RASTERVALL | DX         | DY          | DZ         | DX2                | DY2        | DZ2        |
| 1                                     | 852502.091 | 1206544.23 | 2904.201 | 1                                              | 852501.86  | 1206543.98 | 2903.86548 | 0.230997   | 0.24657001  | 0.3355215  | 0.053359614        | 0.06079677 | 0.11257468 |
| 2                                     | 852544.655 | 1206404.32 | 2904.817 | 2                                              | 852544.388 | 1206404.07 | 2904.45215 | 0.267123   | 0.24859     | 0.3648516  | 0.071354697        | 0.06179699 | 0.13311669 |
| 3                                     | 852576.952 | 1206507.27 | 2915.526 | 3                                              | 852576.693 | 1206506.97 | 2915.18774 | 0.258658   | 0.29502999  | 0.3382559  | 0.066903961        | 0.08704269 | 0.11441705 |
| 4                                     | 852572.246 | 1206553.5  | 2915.807 | 4                                              | 852572.05  | 1206553.21 | 2915.49341 | -0.19638   | 0.28522999  | 0.3135918  | 0.038565104        | 0.08135615 | 0.09833982 |
| 5                                     | 852553.583 | 1206744.23 | 2914.7   | 5                                              | 852553.48  | 1206743.96 | 2914.37622 | 0.102803   | 0.26809001  | 0.3237793  | 0.010568457        | 0.07187225 | 0.10483304 |
| 6                                     | 852456.057 | 1206726.48 | 2898.575 | 6                                              | 852455.954 | 1206726.28 | 2898.2373  | 0.102812   | 0.20037001  | 0.3376953  | 0.010570307        | 0.04014814 | 0.11403812 |
| 7                                     | 852467.944 | 1206479.43 | 2896.009 | 7                                              | 852467.698 | 1206479.23 | 2895.6665  | 0.246129   | 0.19934001  | 0.3424961  | 0.060579485        | 0.03973644 | 0.11730358 |
| 8                                     | 852478.115 | 1206342.71 | 2880.244 | 8                                              | 852477.837 | 1206342.43 | 2879.87646 | 0.27892    | 0.27302     | 0.3675352  | 0.077796366        | 0.07453992 | 0.13508212 |
| 9                                     | 852367.974 | 1206360.51 | 2869.108 | 9                                              | 852367.627 | 1206360.36 | 2868.7229  | 0.34653    | 0.15006     | 0.3850996  | 0.120083041        | 0.022518   | 0.1483017  |
| 10                                    | 852224.728 | 1206438.22 | 2857.924 | 10                                             | 852224.4   | 1206438.2  | 2857.60352 | 0.328378   | 0.02104     | 0.3204844  | 0.10783211         | 0.00044268 | 0.10271025 |
| 11                                    | 852352.185 | 1206606.5  | 2873.062 | 11                                             | 852351.963 | 1206606.37 | 2872.80688 | 0.22165    | 0.13865001  | 0.2551152  | 0.049128722        | 0.01922383 | 0.06508377 |
| 12                                    | 852127.754 | 1206684.45 | 2856.128 | 12                                             | 852127.512 | 1206684.52 | 2855.96973 | 0.241931   | -0.07216    | 0.1582734  | 0.058530608        | 0.00520707 | 0.02505047 |
| 13                                    | 852397.397 | 1206492.57 | 2880.319 | 13                                             | 852397.138 | 1206492.39 | 2880.07568 | 0.25854    | 0.18012001  | 0.2433164  | 0.066842932        | 0.03244322 | 0.05920287 |
| 14                                    | 852455.537 | 1207043.07 | 2929.19  | 14                                             | 852455.632 | 1207042.9  | 2928.92749 | -0.095387  | 0.16291     | 0.2625098  | 0.00909868         | 0.02653967 | 0.06891139 |
| 15                                    | 852531.423 | 1206945.14 | 2924.322 | 15                                             | 852531.444 | 1206944.88 | 2924.10986 | -0.020865  | 0.25341001  | 0.2121367  | 0.000435348        | 0.06421663 | 0.04500198 |
| 16                                    | 852377.454 | 1206868.33 | 2891.418 | 16                                             | 852377.422 | 1206868.22 | 2891.16968 | 0.031901   | 0.11618     | 0.2483223  | 0.001017674        | 0.0134979  | 0.06166396 |
| 17                                    | 852344.857 | 1206777.06 | 2879.436 | 17                                             | 852344.734 | 1206776.93 | 2879.12793 | 0.12275    | 0.12557     | 0.3080703  | 0.015067562        | 0.01576782 | 0.09490731 |
| 18                                    | 852293.016 | 1206826.45 | 2869.867 | 18                                             | 852292.902 | 1206826.38 | 2869.66846 | 0.114002   | 0.06558999  | 0.198543   | 0.012996456        | 0.00430205 | 0.03941932 |
| 19                                    | 852120.55  | 1206948.67 | 2831.232 | 19                                             | 852120.505 | 1206948.76 | 2831.0214  | 0.044633   | -0.09323    | 0.2107598  | 0.001992105        | 0.00869183 | 0.04441969 |
| 20                                    | 852027.213 | 1206846.11 | 2809.421 | 20                                             | 852026.914 | 1206846.24 | 2809.2044  | 0.29905    | -0.13192999 | 0.2168984  | 0.089430902        | 0.01740552 | 0.04704492 |
| 21                                    | 852181.629 | 1206812.18 | 2842.608 | 21                                             | 852181.536 | 1206812.21 | 2842.40527 | 0.093315   | -0.03281999 | 0.2027266  | 0.008707689        | 0.00107715 | 0.04109807 |
| 22                                    | 852139.066 | 1206518.49 | 2835.783 | 22                                             | 852138.651 | 1206518.5  | 2835.68018 | 0.415021   | -0.00552001 | 0.1028242  | 0.17224243         | 0.3471E-05 | 0.01057282 |
| 23                                    | 852034.017 | 1206499.92 | 2811.411 | 23                                             | 852033.564 | 1206500.02 | 2811.33081 | 0.452748   | -0.09780001 | 0.0801895  | 0.204980752        | 0.00956484 | 0.06043036 |
| 24                                    | 851990.146 | 1206641.21 | 2806.122 | 24                                             | 851989.707 | 1206641.4  | 2805.94566 | 0.439567   | -0.18581999 | 0.1764434  | 0.193219147        | 0.03452907 | 0.03113227 |
| 25                                    | 852234.996 | 1206371.58 | 2845.158 | 25                                             | 852234.616 | 1206371.5  | 2844.94006 | 0.38023    | 0.08024999  | 0.1775312  | 0.144574853        | 0.00644006 | 0.03151733 |
| 26                                    | 852495.019 | 1207083.09 | 2939.923 | 26                                             | 852495.178 | 1207082.83 | 2939.90405 | -0.159011  | 0.26682     | 0.0189473  | 0.025284498        | 0.07119291 | 0.000359   |
| 27                                    | 852602.986 | 1206895.41 | 2939.211 | 27                                             | 852602.981 | 1206895.13 | 2939.1897  | 0.005645   | 0.27641     | 0.0213027  | 3.1866E-05         | 0.07604249 | 0.00045381 |
| 28                                    | 852744.89  | 1206881.75 | 2924.431 | 28                                             | 852744.925 | 1206881.32 | 2922.46216 | -0.034903  | 0.43481999  | -0.0311582 | 0.001218219        | 0.18906842 | 0.00097083 |
| 30                                    | 852709.234 | 1206687.28 | 2940.63  | 30                                             | 852709.152 | 1206686.9  | 2940.45044 | 0.081764   | 0.38700001  | 0.1795605  | 0.006685352        | 0.14976901 | 0.03224197 |
| 31                                    | 852627.461 | 1206415.69 | 2903.298 | 31                                             | 852627.24  | 1206415.37 | 2903.15796 | 0.220462   | 0.32602     | 0.140041   | 0.048603493        | 0.10628904 | 0.01961148 |
| 32                                    | 852378.692 | 1206173.14 | 2812.844 | 32                                             | 852378.181 | 1206172.88 | 2812.64795 | 0.510572   | 0.25854001  | 0.1960508  | 0.260683768        | 0.06684294 | 0.03843592 |
| Drn_f1                                | 852475.678 | 1206501.89 | 2898.489 | Drn_f1                                         | 852475.459 | 1206501.76 | 2898.18262 | 0.219868   | 0.13575001  | 0.3063828  | 0.048341937        | 0.01842807 | 0.09387042 |
| Base                                  | 852475.368 | 1206509.86 | 2898.022 | Base                                           | 852475.066 | 1206509.62 | 2897.97412 | 0.302037   | 0.23591999  | 0.0478789  | 0.091226349        | 0.05565824 | 0.00229239 |
| Media                                 |            |            |          |                                                |            |            |            | 0.19709848 | 0.1518794   | 0.2230902  |                    |            |            |
| Desviación Esandar                    |            |            |          |                                                |            |            |            | 0.16259388 | 0.15528357  | 0.11152698 |                    |            |            |
| RMSE (xyz)                            |            |            |          |                                                |            |            |            |            |             |            | 0.253935955        | 0.21552179 | 0.24865757 |
| RMSEr                                 |            |            |          |                                                |            |            |            |            |             |            | 0.333066226        |            |            |
| Exactitud Horizontal 95% de confianza |            |            |          |                                                |            |            |            |            |             |            | 0.576471646        |            |            |
| Exactitud Vertical 95% de confianza   |            |            |          |                                                |            |            |            |            |             |            | 0.48736884         |            |            |

4.4. Procesamiento fotogramétrico P4

| Procesamiento 4 - datos GNSS |            |            |          | Procesamiento 4 - datos Fotogrametría (ArcGis) |            |            |            | Deltas    |             |            | Deltas al cuadrado |            |            |
|------------------------------|------------|------------|----------|------------------------------------------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|------------|--------------------|------------|------------|
| NAME                         | POINT_X    | POINT_Y    | POINT_Z  | NAME                                           | POINT_X    | POINT_Y    | RASTERVALL | DX        | DY          | DZ         | DX2                | DY2        | DZ2        |
| 1                            | 852502.091 | 1206544.23 | 2904.201 | 1                                              | 852503.084 | 1206546.21 | 2756.93091 | -0.993008 | -1.98342999 | 147.270092 | 0.98606489         | 3.93399453 | 21688.4799 |
| 2                            | 852544.655 | 1206404.32 | 2904.817 | 2                                              | 852545.657 | 1206406.21 | 2757.64331 | -1.00138  | -1.89034001 | 147.173689 | 1.002761906        | 3.57338535 | 21660.0949 |
| 3                            | 852576.952 | 1206507.27 | 2915.526 | 3                                              | 852577.891 | 1206509.15 | 2768.54468 | -0.938483 | -1.88319    | 146.981322 | 0.880750343        | 3.54640458 | 21603.5091 |
| 4                            | 852572.246 | 1206553.5  | 2915.807 | 4                                              | 852573.239 | 1206555.43 | 2768.8689  | -0.992199 | -1.93801001 | 146.938103 | 0.984488588        | 3.7558828  | 21590.8063 |
| 5                            | 852553.583 | 1206744.23 | 2914.7   | 5                                              | 852554.636 | 1206746.26 | 2767.70581 | -1.053382 | -2.03520999 | 146.99419  | 1.10961364         | 4.1420797  | 21607.2917 |
| 6                            | 852456.057 | 1206726.48 | 2898.575 | 6                                              | 852457.138 | 1206728.56 | 2751.17065 | -1.081175 | -2.08222999 | 147.404346 | 1.168993983        | 4.33568173 | 21728.0411 |
| 7                            | 852467.944 | 1206479.43 | 2896.009 | 7                                              | 852468.94  | 1206481.43 | 2748.62671 | -0.995654 | -1.99545999 | 147.382291 | 0.99132689         | 3.98186057 | 21721.5397 |
| 8                            | 852478.115 | 1206342.71 | 2880.244 | 8                                              | 852479.155 | 1206344.57 | 2732.81714 | -1.04     | -1.86332999 | 147.426861 | 1.0816             | 3.47199865 | 21734.6794 |
| 9                            | 852367.974 | 1206360.51 | 2869.108 | 9                                              | 852368.978 | 1206362.45 | 2721.21045 | -1.004316 | -1.94126999 | 147.897551 | 1.00865063         | 3.76852917 | 21873.6855 |
| 10                           | 852224.728 | 1206438.22 | 2857.924 | 10                                             | 852225.756 | 1206440.26 | 2709.51123 | -1.028065 | -2.04531    | 148.41277  | 1.056917646        | 4.183293   | 22026.3502 |
| 11                           | 852352.185 | 1206606.5  | 2873.062 | 11                                             | 852353.221 | 1206608.53 | 2725.2793  | -1.035932 | -2.02707999 | 147.782703 | 1.073155109        | 4.10905329 | 21839.7273 |
| 12                           | 852127.754 | 1206684.45 | 2856.128 | 12                                             | 852128.764 | 1206686.64 | 2707.53442 | -1.010431 | -2.19706    | 148.593576 | 1.020970806        | 4.82707264 | 22080.0509 |
| 13                           | 852397.397 | 1206492.57 | 2880.319 | 13                                             | 852398.425 | 1206494.54 | 2732.72681 | -1.028186 | -1.97348    | 147.592193 | 1.05716645         | 3.89462331 | 21783.4556 |
| 14                           | 852455.537 | 1207043.07 | 2929.19  | 14                                             | 852456.578 | 1207045.34 | 2781.80688 | -1.041094 | -2.27166    | 147.383115 | 1.083876717        | 5.16043915 | 21721.7826 |
| 15                           | 852531.423 | 1206945.14 | 2924.322 | 15                                             | 852532.476 | 1206947.31 | 2777.29492 | -1.053063 | -2.17301999 | 147.027078 | 1.108941682        | 4.72201588 | 21616.9617 |
| 16                           | 852377.454 | 1206868.33 | 2891.418 | 16                                             | 852378.546 | 1206870.53 | 2743.75537 | -1.091719 | -2.19951999 | 147.662629 | 1.191850375        | 4.83788819 | 21804.252  |
| 17                           | 852344.857 | 1206777.06 | 2879.436 | 17                                             | 852345.916 | 1206779.21 | 2731.63696 | -1.059242 | -2.15300999 | 147.799037 | 1.121993615        | 4.63545202 | 21844.5554 |
| 18                           | 852293.016 | 1206826.45 | 2869.867 | 18                                             | 852294.1   | 1206828.65 | 2721.95923 | -1.08328  | -2.20176    | 147.907771 | 1.173495558        | 4.8477471  | 21876.7089 |
| 19                           | 852120.55  | 1206948.67 | 2831.232 | 19                                             | 852121.783 | 1206951.02 | 2682.56616 | -1.233162 | -2.35085999 | 148.665838 | 1.520688516        | 5.52654269 | 22101.5314 |
| 20                           | 852027.213 | 1206846.11 | 2809.421 | 20                                             | 852028.315 | 1206848.41 | 2660.33887 | -1.101881 | -2.29489    | 149.082133 | 1.214141738        | 5.26652011 | 22225.4823 |
| 21                           | 852181.629 | 1206812.18 | 2842.608 | 21                                             | 852182.8   | 1206814.4  | 2694.22485 | -1.171141 | -2.22705999 | 148.383146 | 1.371571242        | 4.9597962  | 22017.5582 |
| 22                           | 852139.066 | 1206518.49 | 2835.783 | 22                                             | 852140.061 | 1206520.63 | 2687.25122 | -0.995493 | -2.13644    | 148.531779 | 0.991006313        | 4.56437587 | 22061.6895 |
| 23                           | 852034.017 | 1206499.92 | 2811.411 | 23                                             | 852035.078 | 1206502.1  | 2662.40088 | -1.061308 | -2.17798    | 149.010121 | 1.126374671        | 4.74359688 | 22204.0162 |
| 24                           | 851990.146 | 1206641.21 | 2806.122 | 24                                             | 851991.164 | 1206643.49 | 2656.81543 | -1.017912 | -2.27999999 | 149.30657  | 1.036144842        | 5.19839995 | 22292.4519 |
| 25                           | 852234.996 | 1206371.58 | 2845.158 | 25                                             | 852236.037 | 1206373.62 | 2696.94629 | -1.041233 | -2.03917    | 148.211711 | 1.08416616         | 4.15821429 | 21966.7112 |
| 26                           | 852495.019 | 1207083.09 | 2939.923 | 26                                             | 852496.076 | 1207085.34 | 2792.90674 | -1.057307 | -2.24581999 | 147.016262 | 1.117898904        | 5.04370743 | 21613.7812 |
| 27                           |            |            |          |                                                |            |            |            |           |             |            |                    |            |            |

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

4.5. Procesamiento fotogramétrico P5

| Procesamiento 5 - datos GNSS          |            |            |          | Procesamiento 5 -datos Fotogrametría (ArcGis) |            |            |            | Deltas     |             |             | Deltas al cuadrado |             |            |
|---------------------------------------|------------|------------|----------|-----------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|------------|
| NAME                                  | POINT_X    | POINT_Y    | POINT_Z  | NAME                                          | POINT_X    | POINT_Y    | RASTERVALU | DX         | DY          | DZ          | DX2                | DY2         | DZ2        |
| 1                                     | 852502.091 | 1206544.23 | 2904.201 | 1                                             | 852501.772 | 1206544.06 | 2902.26801 | 0.319189   | 0.16248001  | 1.9326895   | 0.101881617        | 0.026399975 | 3.73528871 |
| 2                                     | 852544.655 | 1206404.32 | 2904.817 | 2                                             | 852544.278 | 1206404.18 | 2902.79102 | 0.377144   | 0.13393999  | 2.0259844   | 0.142237597        | 0.01793992  | 4.10461279 |
| 3                                     | 852576.952 | 1206507.27 | 2915.526 | 3                                             | 852576.562 | 1206507.06 | 2913.63208 | 0.389812   | 0.20205     | 1.8939199   | 0.151953395        | 0.0408242   | 3.58693259 |
| 4                                     | 852572.246 | 1206553.5  | 2915.807 | 4                                             | 852571.928 | 1206553.27 | 2913.97754 | 0.318131   | 0.22709999  | 1.8294609   | 0.101207333        | 0.05157441  | 3.34692718 |
| 5                                     | 852553.583 | 1206744.23 | 2914.7   | 5                                             | 852553.389 | 1206743.98 | 2912.85352 | 0.193701   | 0.24794001  | 1.8464844   | 0.037520077        | 0.06147425  | 3.40950464 |
| 6                                     | 852456.057 | 1206726.48 | 2898.575 | 6                                             | 852455.902 | 1206726.27 | 2896.65747 | 0.154913   | 0.21322001  | 1.9175293   | 0.023998037        | 0.04546277  | 3.67691862 |
| 7                                     | 852467.944 | 1206479.43 | 2896.009 | 7                                             | 852467.602 | 1206479.35 | 2894.07983 | 0.341613   | 0.08499001  | 1.929166    | 0.116699441        | 0.0072233   | 3.72168145 |
| 8                                     | 852478.115 | 1206342.71 | 2880.244 | 8                                             | 852477.716 | 1206342.6  | 2878.01611 | 0.399444   | 0.10677001  | 2.2278867   | 0.159555509        | 0.01139984  | 4.96347916 |
| 9                                     | 852367.974 | 1206360.51 | 2869.108 | 9                                             | 852367.629 | 1206360.5  | 2866.78442 | 0.34436    | 0.00645001  | 2.3235762   | 0.11858381         | 4.1603E-05  | 5.39900637 |
| 10                                    | 852224.728 | 1206438.22 | 2857.924 | 10                                            | 852224.522 | 1206438.32 | 2855.59912 | 0.206509   | -0.10375    | 2.3248789   | 0.042645967        | 0.01076406  | 5.4050619  |
| 11                                    | 852352.185 | 1206606.5  | 2873.062 | 11                                            | 852351.972 | 1206606.43 | 2870.98193 | 0.212825   | 0.07082     | 2.0800664   | 0.045294481        | 0.00501547  | 4.32667623 |
| 12                                    | 852127.754 | 1206684.45 | 2856.128 | 12                                            | 852127.693 | 1206684.5  | 2853.99023 | 0.061042   | -0.05661001 | 2.1377656   | 0.003726126        | 0.00320469  | 4.57004176 |
| 13                                    | 852397.397 | 1206492.57 | 2880.319 | 13                                            | 852397.111 | 1206492.49 | 2878.2959  | 0.285643   | 0.07187     | 2.0231016   | 0.081591923        | 0.0051653   | 4.09294009 |
| 14                                    | 852455.537 | 1207043.07 | 2929.19  | 14                                            | 852455.607 | 1207042.78 | 2927.4353  | -0.070397  | 0.28957999  | 1.7546973   | 0.004955737        | 0.08385657  | 3.07896261 |
| 15                                    | 852531.423 | 1206945.14 | 2924.322 | 15                                            | 852531.382 | 1206944.81 | 2922.59106 | 0.041066   | 0.33026     | 1.7309355   | 0.001686416        | 0.10907167  | 2.99613771 |
| 16                                    | 852377.454 | 1206868.33 | 2891.418 | 16                                            | 852377.427 | 1206868.16 | 2889.4895  | 0.026661   | 0.17465001  | 1.928498    | 0.000710809        | 0.03050263  | 3.71910453 |
| 17                                    | 852344.857 | 1206777.06 | 2879.436 | 17                                            | 852344.765 | 1206776.92 | 2877.3877  | 0.091971   | 0.13783     | 2.0483047   | 0.008458665        | 0.01899711  | 4.19555214 |
| 18                                    | 852293.016 | 1206826.45 | 2869.867 | 18                                            | 852292.987 | 1206826.32 | 2867.83838 | 0.029375   | 0.12633     | 2.0286211   | 0.000862891        | 0.01595927  | 4.11530357 |
| 19                                    | 852120.55  | 1206948.67 | 2831.232 | 19                                            | 852120.713 | 1206948.62 | 2828.74585 | -0.163365  | 0.04888001  | 2.4861504   | 0.026688123        | 0.00238926  | 6.18094382 |
| 20                                    | 852027.213 | 1206846.11 | 2809.421 | 20                                            | 852027.215 | 1206846.15 | 2806.75562 | -0.001431  | -0.03789    | 2.6653848   | 2.04776E-06        | 0.00143565  | 7.10427614 |
| 21                                    | 852181.629 | 1206812.18 | 2842.608 | 21                                            | 852181.694 | 1206812.12 | 2840.33594 | -0.06512   | 0.05310001  | 2.2720625   | 0.004240614        | 0.00281961  | 5.162268   |
| 22                                    | 852139.066 | 1206518.49 | 2835.783 | 22                                            | 852138.859 | 1206518.61 | 2833.51929 | 0.2062     | -0.11753    | 2.2637129   | 0.04251844         | 0.0138133   | 5.12439609 |
| 23                                    | 852034.017 | 1206499.92 | 2811.411 | 23                                            | 852033.866 | 1206500.15 | 2818.81885 | 0.15047    | -0.22226    | 2.5921523   | 0.025641221        | 0.04939951  | 6.71925354 |
| 24                                    | 851990.146 | 1206641.21 | 2806.122 | 24                                            | 851990.046 | 1206641.38 | 2803.46729 | 0.100536   | -0.1659     | 2.6547148   | 0.010107487        | 0.02752281  | 7.04751068 |
| 25                                    | 852234.996 | 1206371.58 | 2845.158 | 25                                            | 852234.705 | 1206371.69 | 2842.89771 | 0.291274   | -0.11262    | 2.2602949   | 0.084840544        | 0.01268326  | 5.10893303 |
| 26                                    | 852495.019 | 1207083.09 | 2939.923 | 26                                            | 852495.124 | 1207082.74 | 2938.42188 | -0.105531  | 0.3529      | 1.501125    | 0.011136792        | 0.12453841  | 2.25337626 |
| 27                                    | 852602.986 | 1206895.41 | 2939.211 | 27                                            | 852602.922 | 1206895.06 | 2937.7832  | 0.064235   | 0.3515      | 1.4277969   | 0.004126135        | 0.12355225  | 2.03860999 |
| 28                                    | 852744.89  | 1206881.75 | 2992.431 | 28                                            | 852744.832 | 1206881.29 | 2991.35303 | 0.058638   | 0.46209999  | 1.0779727   | 0.003438415        | 0.2135366   | 1.16202514 |
| 30                                    | 852709.234 | 1206687.28 | 2940.63  | 30                                            | 852708.989 | 1206686.9  | 2939.08765 | 0.244818   | 0.38353     | 1.5423535   | 0.059935853        | 0.14709526  | 2.37885432 |
| 31                                    | 852627.461 | 1206415.69 | 2903.298 | 31                                            | 852627.063 | 1206415.46 | 2901.45898 | 0.397696   | 0.22893001  | 1.8390156   | 0.158162108        | 0.05240895  | 3.38197838 |
| 32                                    | 852378.692 | 1206173.14 | 2812.844 | 32                                            | 852378.141 | 1206173.22 | 2810.12573 | 0.551091   | -0.08479    | 2.7182676   | 0.30370129         | 0.00718934  | 7.38897875 |
| Drn_f1                                | 852475.678 | 1206501.89 | 2898.489 | Drn_f1                                        | 852475.375 | 1206501.85 | 2896.51318 | 0.302942   | 0.03667001  | 1.9758164   | 0.09173855         | 0.00134469  | 3.90385045 |
| Base                                  | 852475.368 | 1206509.86 | 2898.022 | Base                                          | 852474.99  | 1206509.73 | 2896.34058 | 0.378375   | 0.12207     | 1.6814238   | 0.14316764         | 0.01490108  | 2.827186   |
| Media                                 |            |            |          |                                               |            |            |            | 0.18587364 | 0.11286697  | 2.02853971  |                    |             |            |
| Desviación Esandar                    |            |            |          |                                               |            |            |            | 0.17409885 | 0.16947724  | 0.37217459  |                    |             |            |
| RMSE (xyz)                            |            |            |          |                                               |            |            |            |            |             | 0.252865421 | 0.20147235         | 2.06138058  |            |
| RMSEr                                 |            |            |          |                                               |            |            |            |            |             | 0.323314135 |                    |             |            |
| Exactitud Horizontal 95% de confianza |            |            |          |                                               |            |            |            |            |             | 0.559592709 |                    |             |            |
| Exactitud Vertical 95% de confianza   |            |            |          |                                               |            |            |            |            |             | 4.04030594  |                    |             |            |

4.6. Procesamiento fotogramétrico P6

| Procesamiento 6 - datos GNSS |            |            |          | Procesamiento 6 -datos Fotogrametría (ArcGis) |            |            |            | Deltas    |             |           | Deltas al cuadrado |            |            |
|------------------------------|------------|------------|----------|-----------------------------------------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|-----------|--------------------|------------|------------|
| NAME                         | POINT_X    | POINT_Y    | POINT_Z  | NAME                                          | POINT_X    | POINT_Y    | RASTERVALU | DX        | DY          | DZ        | DX2                | DY2        | DZ2        |
| 1                            | 852502.091 | 1206544.23 | 2904.201 | 1                                             | 852501.857 | 1206544    | 2901.96631 | 0.234354  | 0.23141001  | 2.2346914 | 0.054921797        | 0.05355059 | 4.99384566 |
| 2                            | 852544.655 | 1206404.32 | 2904.817 | 2                                             | 852544.377 | 1206404.06 | 2902.55298 | 0.278622  | 0.25670999  | 2.2640215 | 0.077630219        | 0.05969002 | 5.12579335 |
| 3                            | 852576.952 | 1206507.27 | 2915.526 | 3                                             | 852576.679 | 1206507    | 2913.39478 | 0.273451  | 0.26086999  | 2.1312246 | 0.074775449        | 0.06805315 | 4.0421183  |
| 4                            | 852572.246 | 1206553.5  | 2915.807 | 4                                             | 852572.034 | 1206553.22 | 2913.71216 | 0.212586  | 0.27628     | 2.0948418 | 0.045192807        | 0.07633064 | 4.38836217 |
| 5                            | 852553.583 | 1206744.23 | 2914.7   | 5                                             | 852553.464 | 1206743.98 | 2912.58862 | 0.118694  | 0.24399001  | 2.111377  | 0.014088265        | 0.05953113 | 4.45791284 |
| 6                            | 852456.057 | 1206726.48 | 2898.575 | 6                                             | 852455.933 | 1206726.28 | 2896.29126 | 0.123971  | 0.20339     | 2.2837402 | 0.015368809        | 0.04136749 | 5.2154693  |
| 7                            | 852467.944 | 1206479.43 | 2896.009 | 7                                             | 852467.677 | 1206479.25 | 2893.71362 | 0.266985  | 0.18113     | 2.295377  | 0.07128099         | 0.03280808 | 5.26875557 |
| 8                            | 852478.115 | 1206342.71 | 2880.244 | 8                                             | 852477.811 | 1206342.42 | 2877.74243 | 0.304457  | 0.28778001  | 2.5015684 | 0.092694065        | 0.08281733 | 6.25784447 |
| 9                            | 852367.974 | 1206360.51 | 2869.108 | 9                                             | 852367.617 | 1206360.31 | 2866.47192 | 0.356205  | 0.19796     | 2.6360762 | 0.126882001        | 0.03918816 | 6.94889775 |
| 10                           | 852224.728 | 1206438.22 | 2857.924 | 10                                            | 852224.452 | 1206438.15 | 2855.28223 | 0.276665  | 0.06250999  | 2.6417734 | 0.076543522        | 0.0039075  | 6.9789667  |
| 11                           | 852352.185 | 1206606.5  | 2873.062 | 11                                            | 852351.936 | 1206606.35 | 2870.57617 | 0.249049  | 0.15274     | 2.4858281 | 0.062025404        | 0.02332951 | 6.17934135 |
| 12                           | 852127.754 | 1206684.45 | 2856.128 | 12                                            | 852127.559 | 1206684.5  | 2853.61084 | 0.195474  | -0.05572001 | 2.5171602 | 0.038210084        | 0.00310472 | 6.33609548 |
| 13                           | 852397.397 | 1206492.57 | 2880.319 | 13                                            | 852397.133 | 1206492.38 | 2877.95508 | 0.264385  | 0.18259     | 2.3639219 | 0.069899429        | 0.0333911  | 5.8812675  |
| 14                           | 852455.537 | 1207043.07 | 2929.19  | 14                                            | 852455.626 | 1207042.91 | 2927.23755 | -0.089556 | 0.15985     | 1.9524512 | 0.008020277        | 0.02555202 | 3.81206569 |
| 15                           | 852531.423 | 1206945.14 | 2924.322 | 15                                            | 852531.444 | 1206944.9  | 2922.39185 | -0.021232 | 0.24111001  | 1.9301543 | 0.000450798        | 0.05813404 | 3.72549562 |
| 16                           | 852377.454 | 1206868.33 | 2891.418 | 16                                            | 852377.402 | 1206868.22 | 2889.15356 | 0.051679  | 0.11119     | 2.2644355 | 0.002670719        | 0.01236322 | 5.12766813 |
| 17                           | 852344.857 | 1206777.06 | 2879.436 | 17                                            | 852344.753 | 1206776.96 | 2877.01367 | 0.103712  | 0.09742001  | 2.4223281 | 0.010756179        | 0.00949066 | 5.86767342 |
| 18                           | 852293.016 | 1206826.45 | 2869.867 | 18                                            | 852292.938 | 1206826.39 | 2867.45947 | 0.078371  | 0.06124999  | 2.4075273 | 0.006142014        | 0.00375156 | 5.7961877  |
| 19                           | 852120.55  | 1206948.67 | 2831.232 | 19                                            | 852120.587 | 1206948.76 | 2828.44995 | -0.036706 | -0.09688999 | 2.7820488 | 0.00134733         | 0.00938767 | 7.73979553 |
| 20                           | 852027.213 | 1206846.11 | 2809.421 | 20                                            | 852026.979 | 1206846.24 | 2806.38989 | 0.233712  | -0.12951999 | 3.0311074 | 0.054621298        | 0.01677543 | 9.18761207 |
| 21                           | 852181.629 | 1206812.18 | 2842.608 | 21                                            | 852181.553 | 1206812.2  | 2839.91602 | 0.075914  | -0.02529999 | 2.6919844 | 0.005762936        | 0.00064009 | 7.24678    |
| 22                           | 852139.066 | 1206518.49 | 2835.783 | 22                                            | 852138.683 | 1206518.48 | 2833.13379 | 0.382217  | 0.01734     | 2.6492109 | 0.146089835        | 0.00030668 | 7.01831839 |
| 23                           | 852034.017 | 1206499.92 | 2811.411 | 23                                            | 852033.623 | 1206499.99 | 2808.51611 | 0.393609  | -0.06214001 | 2.8948867 | 0.154928045        | 0.00386138 | 8.380369   |
| 24                           | 851990.146 | 1206641.21 | 2806.122 | 24                                            | 851989.786 | 1206641.38 | 2803.09692 | 0.360373  | -0.16955999 | 3.0250762 | 0.129868698        | 0.02875059 | 9.15108603 |
| 25                           | 852234.996 | 1206371.58 | 2845.158 | 25                                            | 852234.637 | 1206371.48 | 2842.51807 | 0.358424  | 0.10210999  | 2.6399336 | 0.12846764         | 0.01042645 | 6.96924941 |
| 26                           | 852495.019 | 1207083.09 | 2939.923 | 26                                            | 852495.142 | 1207082.85 | 2938.31934 | -0.122745 | 0.23978001  | 1.6036641 | 0.015066335        | 0.05749445 | 2.57173854 |
| 27                           | 852602.986 |            |          |                                               |            |            |            |           |             |           |                    |            |            |

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

4.7. Procesamiento fotogramétrico P7

| Procesamiento 7 - datos GNSS |            |            |          | Procesamiento 7 -datos Fotogrametría (ArcGis) |            |            |            | Deltas                                |             |            | Deltas al cuadrado |            |            |
|------------------------------|------------|------------|----------|-----------------------------------------------|------------|------------|------------|---------------------------------------|-------------|------------|--------------------|------------|------------|
| NAME                         | POINT_X    | POINT_Y    | POINT_Z  | NAME                                          | POINT_X    | POINT_Y    | RASTERVALL | DX                                    | DY          | DZ         | DX2                | DY2        | DZ2        |
| 1                            | 852502.091 | 1206544.23 | 2904.201 | 1                                             | 852502.076 | 1206543.7  | 2903.26147 | 0.015681                              | 0.52247001  | 0.9395254  | 0.000245894        | 0.27297491 | 0.88270798 |
| 2                            | 852544.655 | 1206404.32 | 2904.817 | 2                                             | 852544.671 | 1206403.49 | 2904.26172 | -0.015248                             | 0.82378     | 0.5552812  | 0.000232502        | 0.67861349 | 0.30833721 |
| 3                            | 852576.952 | 1206507.27 | 2915.526 | 3                                             | 852577.039 | 1206506.65 | 2914.78418 | -0.08694                              | 0.61678999  | 0.7418203  | 0.007558564        | 0.38042989 | 0.55029736 |
| 4                            | 852572.246 | 1206553.5  | 2915.807 | 4                                             | 852572.375 | 1206552.96 | 2915.03491 | -0.128677                             | 0.53414     | 0.7720879  | 0.016557771        | 0.28530554 | 0.59611972 |
| 5                            | 852553.583 | 1206744.23 | 2914.7   | 5                                             | 852553.77  | 1206744.04 | 2913.78418 | -0.186578                             | 0.19183001  | 0.9158203  | 0.03481135         | 0.03679875 | 0.83872682 |
| 6                            | 852456.057 | 1206726.48 | 2898.575 | 6                                             | 852456.071 | 1206726.38 | 2897.42749 | -0.014059                             | 0.10262001  | 1.1475098  | 0.000197656        | 0.01053087 | 1.31677874 |
| 7                            | 852467.944 | 1206479.43 | 2896.009 | 7                                             | 852467.826 | 1206478.78 | 2895.16772 | 0.118294                              | 0.65534001  | 0.8412754  | 0.01399347         | 0.42947053 | 0.70774443 |
| 8                            | 852478.115 | 1206342.71 | 2880.244 | 8                                             | 852477.979 | 1206341.69 | 2879.70605 | 0.136584                              | 1.01733001  | 0.5379453  | 0.018655189        | 1.03496035 | 0.28938515 |
| 9                            | 852367.974 | 1206360.51 | 2869.108 | 9                                             | 852367.636 | 1206359.54 | 2868.37598 | 0.337756                              | 0.96855     | 0.7320234  | 0.114079116        | 0.9380891  | 0.53585826 |
| 10                           | 852224.728 | 1206438.22 | 2857.924 | 10                                            | 852224.006 | 1206437.52 | 2857.11987 | 0.722269                              | 0.69738     | 0.804127   | 0.521672507        | 0.48633886 | 0.64662023 |
| 11                           | 852352.185 | 1206606.5  | 2873.062 | 11                                            | 852351.887 | 1206606.14 | 2871.93872 | 0.297896                              | 0.362       | 1.1232793  | 0.088742027        | 0.131044   | 1.26175639 |
| 12                           | 852127.754 | 1206684.45 | 2856.128 | 12                                            | 852126.923 | 1206684.48 | 2855.38037 | 0.830643                              | -0.03085    | 0.7476289  | 0.689967794        | 0.00095172 | 0.55894897 |
| 13                           | 852397.397 | 1206492.57 | 2880.319 | 13                                            | 852397.181 | 1206491.93 | 2879.50366 | 0.215525                              | 0.63634001  | 0.8153379  | 0.046451026        | 0.40492861 | 0.66477589 |
| 14                           | 852455.537 | 1207043.07 | 2929.19  | 14                                            | 852455.775 | 1207043.57 | 2928.76807 | -0.238364                             | -0.50237001 | 0.4219336  | 0.056817396        | 0.25237563 | 0.17802796 |
| 15                           | 852531.423 | 1206945.14 | 2924.322 | 15                                            | 852531.717 | 1206945.38 | 2923.771   | -0.294725                             | -0.24246999 | 0.5510039  | 0.086862826        | 0.0587917  | 0.3036053  |
| 16                           | 852377.454 | 1206868.33 | 2891.418 | 16                                            | 852377.474 | 1206868.59 | 2890.44531 | -0.019944                             | -0.25956999 | 0.9726875  | 0.000397763        | 0.06737658 | 0.94612097 |
| 17                           | 852344.857 | 1206777.06 | 2879.436 | 17                                            | 852344.66  | 1206777.14 | 2878.28101 | 0.196995                              | -0.08304999 | 1.1549941  | 0.03880703         | 0.0068973  | 1.33401137 |
| 18                           | 852293.016 | 1206826.45 | 2869.867 | 18                                            | 852292.677 | 1206826.72 | 2868.85278 | 0.339693                              | -0.2664     | 1.0142168  | 0.115391335        | 0.07096896 | 1.02863572 |
| 19                           | 852120.55  | 1206948.67 | 2831.232 | 19                                            | 852119.824 | 1206949.49 | 2830.63184 | 0.725932                              | -0.82644    | 0.6001641  | 0.5269777          | 0.68300307 | 0.36019695 |
| 20                           | 852027.213 | 1206846.11 | 2809.421 | 20                                            | 852025.835 | 1206846.72 | 2808.6687  | 1.37802                               | -0.60924999 | 0.7522988  | 1.89899117         | 0.37118555 | 0.56595349 |
| 21                           | 852181.629 | 1206812.18 | 2842.608 | 21                                            | 852180.947 | 1206812.5  | 2841.65967 | 0.682379                              | -0.32838999 | 0.948332   | 0.4656411          | 0.10783999 | 0.8993358  |
| 22                           | 852139.066 | 1206518.49 | 2835.783 | 22                                            | 852138.609 | 1206517.99 | 2835.1311  | 0.996455                              | 0.50551999  | 0.6518965  | 0.992922567        | 0.25555046 | 0.42496905 |
| 23                           | 852034.017 | 1206499.92 | 2811.411 | 23                                            | 852032.543 | 1206499.36 | 2810.83521 | 1.474137                              | 0.56878     | 0.5757949  | 2.173079895        | 0.32351069 | 0.33153977 |
| 24                           | 851990.146 | 1206641.21 | 2806.122 | 24                                            | 851988.477 | 1206641.17 | 2805.34961 | 1.66932                               | 0.03654001  | 0.7723906  | 2.78662962         | 0.00133517 | 0.59658724 |
| 25                           | 852234.996 | 1206371.58 | 2845.158 | 25                                            | 852234.253 | 1206370.66 | 2844.60966 | 0.742416                              | 0.92646999  | 0.5481367  | 0.551181517        | 0.85834664 | 0.30045384 |
| 26                           | 852495.019 | 1207083.09 | 2939.923 | 26                                            | 852495.407 | 1207083.56 | 2939.94385 | -0.387901                             | -0.46323    | -0.0208477 | 0.150467187        | 0.21458203 | 0.00043463 |
| 27                           | 852602.986 | 1206895.41 | 2939.211 | 27                                            | 852603.379 | 1206895.43 | 2938.9021  | -0.392462                             | -0.01730001 | 0.3089004  | 0.154026422        | 0.00029929 | 0.09541946 |
| 28                           | 852744.89  | 1206881.75 | 2924.431 | 28                                            | 852745.275 | 1206881.52 | 2922.72754 | -0.384779                             | 0.22784999  | -0.2965391 | 0.14805488         | 0.05191562 | 0.08793544 |
| 30                           | 852709.234 | 1206687.28 | 2940.63  | 30                                            | 852709.621 | 1206686.89 | 2940.45947 | -0.386822                             | 0.39029001  | 0.1705273  | 0.14963126         | 0.15232629 | 0.02907956 |
| 31                           | 852627.461 | 1206415.69 | 2903.298 | 31                                            | 852627.693 | 1206414.81 | 2903.14722 | -0.232321                             | 0.88161     | 0.1507832  | 0.053973048        | 0.77723619 | 0.02273557 |
| 32                           | 852378.692 | 1206173.14 | 2812.844 | 32                                            | 852378.237 | 1206171.3  | 2812.69849 | 0.45511                               | 1.83137001  | 0.1455137  | 0.207125112        | 3.35391611 | 0.02117424 |
| Drn_f1                       | 852475.678 | 1206501.89 | 2898.489 | Drn_f1                                        | 852475.622 | 1206501.38 | 2897.59814 | 0.056389                              | 0.51217     | 0.8908555  | 0.003179719        | 0.26231811 | 0.79362352 |
| Base                         | 852475.368 | 1206509.86 | 2898.022 | Base                                          | 852475.243 | 1206509.22 | 2897.3689  | 0.125805                              | 0.63402     | 0.6531035  | 0.015826898        | 0.40198136 | 0.42654418 |
| Media                        |            |            |          |                                               |            |            |            | 0.26510542                            | 0.30345061  | 0.65575177 |                    |            |            |
| Desviación Esandar           |            |            |          |                                               |            |            |            | 0.55367599                            | 0.56798653  | 0.34068388 |                    |            |            |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            | RMSE (xyz)                            |             |            | 0.606257683        | 0.63632928 | 0.73658588 |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            | RMSEr                                 |             |            | 0.87889893         |            |            |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            | Exactitud Horizontal 95% de confianza |             |            | 1.521199908        |            |            |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            | Exactitud Vertical 95% de confianza   |             |            | 1.44370832         |            |            |

4.8. Procesamiento fotogramétrico P8

| Procesamiento 8 - datos GNSS |            |            |          | Procesamiento 8 -datos Fotogrametría (ArcGis) |            |            |            | Deltas    |             |           | Deltas al cuadrado |            |            |
|------------------------------|------------|------------|----------|-----------------------------------------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|-----------|--------------------|------------|------------|
| NAME                         | POINT_X    | POINT_Y    | POINT_Z  | NAME                                          | POINT_X    | POINT_Y    | RASTERVALL | DX        | DY          | DZ        | DX2                | DY2        | DZ2        |
| 1                            | 852502.091 | 1206544.23 | 2904.201 | 1                                             | 852501.839 | 1206544    | 2903.63623 | 0.25263   | 0.22375     | 0.5647695 | 0.063821917        | 0.05006406 | 0.31896459 |
| 2                            | 852544.655 | 1206404.32 | 2904.817 | 2                                             | 852544.363 | 1206404.07 | 2904.22339 | 0.291869  | 0.24930999  | 0.5936113 | 0.085187513        | 0.06215547 | 0.35237437 |
| 3                            | 852576.952 | 1206507.27 | 2915.526 | 3                                             | 852576.656 | 1206506.97 | 2914.9707  | 0.296417  | 0.29385     | 0.5552969 | 0.087863038        | 0.08634782 | 0.30835465 |
| 4                            | 852572.246 | 1206553.5  | 2915.807 | 4                                             | 852572.013 | 1206553.21 | 2915.28809 | 0.23305   | 0.28494999  | 0.5189141 | 0.054312302        | 0.0811965  | 0.26927184 |
| 5                            | 852553.583 | 1206744.23 | 2914.7   | 5                                             | 852553.455 | 1206743.99 | 2914.16211 | 0.127577  | 0.24034     | 0.5378906 | 0.016275891        | 0.05776332 | 0.2893263  |
| 6                            | 852456.057 | 1206726.48 | 2898.575 | 6                                             | 852455.93  | 1206726.31 | 2897.99146 | 0.12735   | 0.17299     | 0.5835449 | 0.016218022        | 0.02992554 | 0.34052465 |
| 7                            | 852467.944 | 1206479.43 | 2896.009 | 7                                             | 852467.656 | 1206479.25 | 2895.47607 | 0.287422  | 0.18616001  | 0.5329258 | 0.082611406        | 0.03465555 | 0.28400991 |
| 8                            | 852478.115 | 1206342.71 | 2880.244 | 8                                             | 852477.822 | 1206342.4  | 2879.62964 | 0.293698  | 0.30515001  | 0.6143613 | 0.086258515        | 0.09311653 | 0.37743981 |
| 9                            | 852367.974 | 1206360.51 | 2869.108 | 9                                             | 852367.607 | 1206360.31 | 2868.45654 | 0.367051  | 0.1947      | 0.651457  | 0.134726437        | 0.03790809 | 0.42439623 |
| 10                           | 852224.728 | 1206438.22 | 2857.924 | 10                                            | 852224.407 | 1206438.13 | 2857.36011 | 0.321011  | 0.08852999  | 0.5638926 | 0.103048062        | 0.00783756 | 0.31797487 |
| 11                           | 852352.185 | 1206606.5  | 2873.062 | 11                                            | 852351.963 | 1206606.38 | 2872.49731 | 0.222343  | 0.12697001  | 0.5646855 | 0.04943641         | 0.01612138 | 0.31886971 |
| 12                           | 852127.754 | 1206684.45 | 2856.128 | 12                                            | 852127.553 | 1206684.53 | 2855.72095 | 0.200544  | -0.08047    | 0.4070527 | 0.040217896        | 0.00647542 | 0.1656919  |
| 13                           | 852397.397 | 1206492.57 | 2880.319 | 13                                            | 852397.12  | 1206492.43 | 2879.81421 | 0.276738  | 0.14033     | 0.504791  | 0.076583921        | 0.01969251 | 0.25481395 |
| 14                           | 852455.537 | 1207043.07 | 2929.19  | 14                                            | 852455.633 | 1207042.89 | 2928.75171 | -0.096136 | 0.17871     | 0.438291  | 0.00924213         | 0.03193726 | 0.192099   |
| 15                           | 852531.423 | 1206945.14 | 2924.322 | 15                                            | 852531.417 | 1206944.86 | 2923.90454 | 0.005837  | 0.27485     | 0.417459  | 3.40706E-05        | 0.07554252 | 0.17427202 |
| 16                           | 852377.454 | 1206868.33 | 2891.418 | 16                                            | 852377.43  | 1206868.19 | 2890.94775 | 0.023389  | 0.13826001  | 0.4702461 | 0.000547045        | 0.01911583 | 0.22113139 |
| 17                           | 852344.857 | 1206777.06 | 2879.436 | 17                                            | 852344.74  | 1206776.95 | 2878.87573 | 0.116748  | 0.10397     | 0.5602676 | 0.013630096        | 0.01809976 | 0.31899978 |
| 18                           | 852293.016 | 1206826.45 | 2869.867 | 18                                            | 852292.941 | 1206826.37 | 2869.44678 | 0.075544  | 0.07766999  | 0.4202227 | 0.005706896        | 0.00603263 | 0.17658712 |
| 19                           | 852120.55  | 1206948.67 | 2831.232 | 19                                            | 852120.574 | 1206948.76 | 2830.71704 | -0.024151 | -0.09661999 | 0.514959  | 0.000583271        | 0.00933542 | 0.26518277 |
| 20                           | 852027.213 | 1206846.11 | 2809.421 | 20                                            | 852026.983 | 1206846.24 | 2808.8772  | 0.230436  | -0.12251999 | 0.5438027 | 0.05310075         | 0.01501115 | 0.29572138 |
| 21                           | 852181.629 | 1206812.18 | 2842.608 | 21                                            | 852181.579 | 1206812.19 | 2842.12134 | 0.049825  | -0.01214    | 0.4866621 | 0.002482531        | 0.00014738 | 0.23684    |
| 22                           | 852139.066 | 1206518.49 | 2835.783 | 22                                            | 852138.708 | 1206518.49 | 2835.40332 | 0.357604  | 0.00639     | 0.3796797 | 0.127880621        | 4.0832E-05 | 0.14415667 |
| 23                           | 852034.017 | 1206499.92 | 2811.411 | 23                                            | 852033.632 | 1206500    | 2811.00269 | 0.385088  | -0.07825001 | 0.4083145 | 0.148292769        | 0.00612306 | 0.16672073 |
| 24                           | 851990.146 | 1206641.21 | 2806.122 | 24                                            | 851989.829 | 1206641.37 | 2805.55371 | 0.317056  | -0.15471    | 0.5682891 | 0.100524507        | 0.02393518 | 0.3229525  |
| 25                           | 852234.996 | 1206371.58 | 2845.158 | 25                                            | 852234.624 | 1206371.49 | 2844.71753 | 0.37165   | 0.09476     | 0.4404707 | 0.138123722        | 0.00897946 | 0.19401444 |
| 26                           | 852495.019 | 1207083.09 | 2939.923 | 26                                            | 852495.143 | 1207082.84 | 2939.70776 | -0.124569 | 0.2508      | 0.2152363 | 0.015517436        | 0.06290064 | 0.04632666 |
| 27                           | 852602.986 | 1206895.41 | 2939.211 | 27                                            | 8          |            |            |           |             |           |                    |            |            |

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

4.9. Procesamiento fotogramétrico P9

| Procesamiento 9 - datos GNSS |            |            |          | Procesamiento 9 -datos Fotogrametría (ArcGis) |            |            |            | Deltas             |                   |                    | Deltas al cuadrado                           |             |             |            |
|------------------------------|------------|------------|----------|-----------------------------------------------|------------|------------|------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------------------------------|-------------|-------------|------------|
| NAME                         | POINT_X    | POINT_Y    | POINT_Z  | NAME                                          | POINT_X    | POINT_Y    | RASTERVALL | DX                 | DY                | DZ                 | DX2                                          | DY2         | DZ2         |            |
| 1                            | 852502.091 | 1206544.23 | 2904.201 | 1                                             | 852502.027 | 1206544.16 | 2904.11499 | 0.064188           | 0.06690001        | 0.0860098          | 0.004120099                                  | 0.00447561  | 0.00739769  |            |
| 2                            | 852544.655 | 1206404.32 | 2904.817 | 2                                             | 852544.541 | 1206404.27 | 2904.68408 | 0.114578           | 0.05324           | 0.132918           | 0.013128118                                  | 0.0028345   | 0.01766719  |            |
| 3                            | 852576.952 | 1206507.27 | 2915.526 | 3                                             | 852576.824 | 1206507.17 | 2915.44043 | 0.127605           | 0.09696           | 0.0855703          | 0.016283036                                  | 0.00904124  | 0.00732228  |            |
| 4                            | 852572.246 | 1206553.5  | 2915.807 | 4                                             | 852572.183 | 1206553.39 | 2915.80151 | 0.063101           | 0.10995999        | 0.0054863          | 0.003981736                                  | 0.0120912   | 3.0099E-05  |            |
| 5                            | 852553.583 | 1206744.23 | 2914.7   | 5                                             | 852553.58  | 1206744.05 | 2914.71558 | 0.002508           | 0.17771001        | -0.0155762         | 6.29006E-06                                  | 0.03158085  | 0.00024262  |            |
| 6                            | 852456.057 | 1206726.48 | 2898.575 | 6                                             | 852456.096 | 1206726.39 | 2898.55322 | -0.039118          | 0.09213001        | 0.0217773          | 0.001530218                                  | 0.00848794  | 0.00047425  |            |
| 7                            | 852467.944 | 1206479.43 | 2896.009 | 7                                             | 852467.861 | 1206479.42 | 2895.9707  | 0.082424           | 0.01643001        | 0.0382969          | 0.006793716                                  | 0.00026995  | 0.00146665  |            |
| 8                            | 852478.115 | 1206342.71 | 2880.244 | 8                                             | 852477.977 | 1206342.71 | 2880.06812 | 0.138552           | -0.00587          | 0.1758848          | 0.019196656                                  | 3.4457E-05  | 0.03093546  |            |
| 9                            | 852367.974 | 1206360.51 | 2869.108 | 9                                             | 852367.894 | 1206360.55 | 2868.94531 | 0.079526           | -0.04651999       | 0.1626875          | 0.006324385                                  | 0.00216411  | 0.02646722  |            |
| 10                           | 852224.728 | 1206438.22 | 2857.924 | 10                                            | 852224.707 | 1206438.35 | 2857.77417 | 0.021729           | -0.13753          | 0.1498301          | 0.000472149                                  | 0.0189145   | 0.02244906  |            |
| 12                           | 852127.754 | 1206684.45 | 2856.128 | 12                                            | 852127.908 | 1206684.6  | 2856.12842 | -0.154136          | -0.15637          | -0.000418          | 0.023757907                                  | 0.02445158  | 1.7472E-07  |            |
| 13                           | 852397.397 | 1206492.57 | 2880.319 | 13                                            | 852397.374 | 1206492.57 | 2880.34888 | 0.022521           | -0.00675          | -0.029877          | 0.000507195                                  | 4.5563E-05  | 0.00089264  |            |
| 14                           | 852455.537 | 1207043.07 | 2929.19  | 14                                            | 852455.751 | 1207042.9  | 2929.23975 | -0.214708          | 0.16471           | -0.0497461         | 0.046099525                                  | 0.02712938  | 0.00247467  |            |
| 15                           | 852531.423 | 1206945.14 | 2924.322 | 15                                            | 852531.548 | 1206944.9  | 2924.41846 | -0.125406          | 0.23991           | -0.096457          | 0.015726665                                  | 0.05755681  | 0.00930395  |            |
| 16                           | 852377.454 | 1206868.33 | 2891.418 | 16                                            | 852377.658 | 1206868.23 | 2891.51001 | -0.20424           | 0.09991           | -0.0920098         | 0.041713978                                  | 0.0098201   | 0.0084658   |            |
| 17                           | 852344.857 | 1206777.06 | 2879.436 | 17                                            | 852344.956 | 1206777.02 | 2879.45142 | -0.098609          | 0.04196           | -0.015416          | 0.009723735                                  | 0.00176064  | 0.00023765  |            |
| 18                           | 852293.016 | 1206826.45 | 2869.867 | 18                                            | 852293.155 | 1206826.44 | 2869.95142 | -0.138382          | 0.01024999        | -0.084416          | 0.019149578                                  | 0.00010506  | 0.00712606  |            |
| 19                           | 852120.55  | 1206948.67 | 2831.232 | 19                                            | 852120.941 | 1206948.73 | 2831.27051 | -0.390893          | -0.06254999       | -0.0385078         | 0.152797337                                  | 0.0039125   | 0.00148285  |            |
| 20                           | 852027.213 | 1206846.11 | 2809.421 | 20                                            | 852027.385 | 1206846.28 | 2809.33057 | -0.171546          | -0.16501          | 0.0904336          | 0.02942803                                   | 0.0272283   | 0.00817824  |            |
| 21                           | 852181.629 | 1206812.18 | 2842.608 | 21                                            | 852181.82  | 1206812.25 | 2842.69092 | -0.190654          | -0.07816          | -0.082918          | 0.036348947                                  | 0.00610899  | 0.00687539  |            |
| 22                           | 852139.066 | 1206518.49 | 2835.783 | 22                                            | 852139.067 | 1206518.67 | 2835.85449 | -0.001011          | -0.17242          | -0.0714922         | 1.02212E-06                                  | 0.02972866  | 0.00511113  |            |
| 23                           | 852034.017 | 1206499.92 | 2811.411 | 23                                            | 852034.014 | 1206500.17 | 2811.39087 | 0.003302           | -0.24772001       | 0.0201309          | 1.09032E-05                                  | 0.061362    | 0.00040525  |            |
| 24                           | 851990.146 | 1206641.21 | 2806.122 | 24                                            | 851990.215 | 1206641.54 | 2806.01196 | -0.068898          | -0.33124          | 0.1100371          | 0.004746935                                  | 0.10971994  | 0.01210816  |            |
| 25                           | 852234.996 | 1206371.58 | 2845.158 | 25                                            | 852234.923 | 1206371.75 | 2845.13989 | 0.072693           | -0.16953001       | 0.0181074          | 0.005284272                                  | 0.02874042  | 0.00032788  |            |
| 26                           | 852495.019 | 1207083.09 | 2939.923 | 26                                            | 852495.272 | 1207082.84 | 2940.16919 | -0.253336          | 0.25864001        | -0.2461895         | 0.064179129                                  | 0.06689465  | 0.06060927  |            |
| 27                           | 852602.986 | 1206895.41 | 2939.211 | 27                                            | 852603.072 | 1206895.16 | 2939.52979 | -0.086122          | 0.24907           | -0.3187852         | 0.007416999                                  | 0.06203586  | 0.101624    |            |
| 28                           | 852744.89  | 1206881.75 | 2992.431 | 28                                            | 852744.951 | 1206881.4  | 2992.7085  | -0.060327          | 0.3524            | -0.2774961         | 0.003639347                                  | 0.12418576  | 0.07700409  |            |
| 30                           | 852709.234 | 1206687.28 | 2940.63  | 30                                            | 852709.194 | 1206687.05 | 2940.79419 | 0.039874           | 0.23420001        | -0.1641895         | 0.001589936                                  | 0.05484964  | 0.02695819  |            |
| 31                           | 852627.461 | 1206415.69 | 2903.298 | 31                                            | 852627.344 | 1206415.59 | 2903.39697 | 0.117128           | 0.10068001        | -0.0989727         | 0.013718968                                  | 0.01013646  | 0.0097956   |            |
| 32                           | 852378.692 | 1206173.14 | 2812.844 | 32                                            | 852378.445 | 1206173.21 | 2812.81177 | 0.246991           | -0.07438999       | 0.0322324          | 0.061004554                                  | 0.00553387  | 0.00103893  |            |
| Drn_f1                       | 852475.678 | 1206501.89 | 2898.489 | Drn_f1                                        | 852475.632 | 1206501.88 | 2898.43701 | 0.046534           | -0.08528          | 0.0519883          | 0.002165413                                  | 0.00727268  | 0.00270278  |            |
| Base                         | 852475.368 | 1206509.86 | 2898.022 | Base                                          | 852475.256 | 1206509.81 | 2898.21558 | 0.112016           | 0.04797           | -0.1935762         | 0.012547584                                  | 0.00230112  | 0.03747174  |            |
| <b>Media</b>                 |            |            |          |                                               |            |            |            | <b>-0.02631613</b> | <b>0.02105281</b> | <b>-0.02170789</b> |                                              |             |             |            |
| <b>Desviación Esandar</b>    |            |            |          |                                               |            |            |            | <b>0.13926456</b>  | <b>0.16035408</b> | <b>0.12437814</b>  |                                              |             |             |            |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            |                    |                   |                    | <b>RMSE (xyz)</b>                            | 0.139574617 | 0.15922659  | 0.12432907 |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            |                    |                   |                    | <b>RMSEr</b>                                 | 0.211740837 |             |            |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            |                    |                   |                    | <b>Exactitud Horizontal 95% de confianza</b> |             | 0.366481436 |            |
|                              |            |            |          |                                               |            |            |            |                    |                   |                    | <b>Exactitud Vertical 95% de confianza</b>   |             | 0.24368498  |            |

4.10. Procesamiento fotogramétrico P10

| Procesamiento 10 - datos GNSS |            |            |          | Procesamiento 10 -datos Fotogrametría (ArcGis) |            |            |            | Deltas      |             |            | Deltas al cuadrado |             |            |
|-------------------------------|------------|------------|----------|------------------------------------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|--------------------|-------------|------------|
| NAME                          | POINT_X    | POINT_Y    | POINT_Z  | NAME                                           | POINT_X    | POINT_Y    | RASTERVALL | DX          | DY          | DZ         | DX2                | DY2         | DZ2        |
| 1                             | 852502.091 | 1206544.23 | 2904.201 | 1                                              | 852502.092 | 1206544.24 | 2904.19531 | -0.001054   | -0.01073999 | 0.0056875  | 1.11092E-06        | 0.00011535  | 3.2348E-05 |
| 2                             | 852544.655 | 1206404.32 | 2904.817 | 2                                              | 852544.669 | 1206404.32 | 2904.81714 | -0.013875   | -0.00246001 | -0.0001387 | 0.000192516        | 6.0516E-06  | 1.9238E-08 |
| 3                             | 852576.952 | 1206507.27 | 2915.526 | 3                                              | 852576.905 | 1206507.29 | 2915.52222 | 0.046734    | -0.02624    | 0.0037832  | 0.002184067        | 0.00068854  | 1.4313E-05 |
| 4                             | 852572.246 | 1206553.5  | 2915.807 | 4                                              | 852572.24  | 1206553.5  | 2915.85034 | 0.006629    | -0.00294001 | -0.0433418 | 4.39436E-05        | 8.6437E-06  | 0.00187851 |
| 5                             | 852553.583 | 1206744.23 | 2914.7   | 5                                              | 852553.53  | 1206744.21 | 2914.72144 | 0.052508    | 0.01500001  | -0.0214355 | 0.00275709         | 0.000225    | 0.00045948 |
| 6                             | 852456.057 | 1206726.48 | 2898.575 | 6                                              | 852456.066 | 1206726.5  | 2898.61108 | -0.009034   | -0.01662999 | -0.036084  | 8.16132E-05        | 0.00027656  | 0.00130206 |
| 7                             | 852467.944 | 1206479.43 | 2896.009 | 7                                              | 852467.936 | 1206479.46 | 2896.05884 | 0.008076    | -0.02786    | -0.0498379 | 6.52218E-05        | 0.00077618  | 0.00248382 |
| 8                             | 852478.115 | 1206342.71 | 2880.244 | 8                                              | 852478.162 | 1206342.7  | 2880.24658 | -0.046133   | 0.00848001  | -0.002582  | 0.002128254        | 7.1911E-05  | 6.6667E-06 |
| 10                            | 852224.728 | 1206438.22 | 2857.924 | 10                                             | 852224.77  | 1206438.25 | 2857.92969 | -0.041861   | -0.03157001 | -0.0056875 | 0.001752343        | 0.00099667  | 3.2348E-05 |
| 11                            | 852352.185 | 1206606.5  | 2873.062 | 11                                             | 852352.187 | 1206606.5  | 2873.13843 | -0.002313   | 0.00324     | -0.0764277 | 5.34997E-06        | 1.0498E-05  | 0.00584119 |
| 12                            | 852127.754 | 1206684.45 | 2856.128 | 12                                             | 852127.784 | 1206684.49 | 2856.2334  | -0.029927   | -0.04339    | -0.1053984 | 0.000895625        | 0.00026082  | 0.01110882 |
| 13                            | 852397.397 | 1206492.57 | 2880.319 | 13                                             | 852397.402 | 1206492.55 | 2880.46118 | -0.00484    | 0.01875     | -0.1421816 | 2.34256E-05        | 0.00035156  | 0.02021561 |
| 15                            | 852531.423 | 1206945.14 | 2924.322 | 15                                             | 852531.417 | 1206945.15 | 2924.39453 | 0.005453    | -0.01074    | -0.0725312 | 2.97352E-05        | 0.00011535  | 0.00526077 |
| 16                            | 852377.454 | 1206868.33 | 2891.418 | 16                                             | 852377.503 | 1206868.32 | 2891.50195 | -0.048755   | 0.01615     | -0.0839531 | 0.00237705         | 0.00026082  | 0.00704812 |
| 17                            | 852344.857 | 1206777.06 | 2879.436 | 17                                             | 852344.857 | 1206777.05 | 2879.47217 | -8.9999E-05 | 0.00551     | -0.036168  | 7.92081E-09        | 3.036E-05   | 0.00130812 |
| 18                            | 852293.016 | 1206826.45 | 2869.867 | 18                                             | 852293.022 | 1206826.45 | 2869.99561 | -0.006144   | -0.00151    | -0.1286055 | 3.77487E-05        | 2.2801E-06  | 0.01653937 |
| 19                            | 852120.55  | 1206948.67 | 2831.232 | 19                                             | 852120.642 | 1206948.67 | 2831.30444 | -0.091762   | -0.00037    | -0.0724434 | 0.008420265        | 1.3669E-07  | 0.00524805 |
| 20                            | 852027.213 | 1206846.11 | 2809.421 | 20                                             | 852027.111 | 1206846.11 | 2809.47852 | 0.102412    | 0.00494     | -0.0575156 | 0.010488218        | 2.4404E-05  | 0.00330804 |
| 21                            | 852181.629 | 1206812.18 | 2842.608 | 21                                             | 852181.633 | 1206812.13 | 2842.72388 | -0.003707   | 0.04979001  | -0.115877  | 1.37418E-05        | 0.000247905 | 0.01422748 |
| 22                            | 852139.066 | 1206518.49 | 2835.783 | 22                                             | 852139.065 | 1206518.52 | 2835.9939  | 0.000486    | -0.02147001 | -0.2108965 | 2.36196E-07        | 0.00046096  | 0.04447733 |
| 23                            | 852034.017 | 1206499.92 | 2811.411 | 23                                             | 852034.011 | 1206499.96 | 2811.58423 | 0.005916    | -0.03340001 | -0.1732285 | 3.49991E-05        | 0.00111556  | 0.03000811 |
| 24                            | 851990.146 | 1206641.21 | 2806.122 | 24                                             | 851990.068 | 1206641.28 | 2806.14697 | 0.077869    | -0.06432    | -0.0249727 | 0.006063581        | 0.00413706  | 0.00062364 |
| 25                            | 852234.996 | 1206371.58 | 2845.158 | 25                                             | 852235.019 | 1206371.63 | 2845.34814 | -0.022738   | -0.05124001 | -0.1901445 | 0.000517017        | 0.00262554  | 0.03615493 |
| 26                            | 852495.019 | 1207083.09 | 2939.923 | 26                                             | 852495.064 | 1207083.06 | 2940.11938 | -0.044958   | 0.03489     | -0.1963848 | 0.002021222        | 0.00121731  | 0.03856699 |
| 27                            | 852602.986 | 1206895.41 | 2939.211 | 27                                             | 852603.007 | 1206895.41 | 2939.47583 | -0.0206     | 0.00162999  | -0.2648301 | 0.000424366        | 2.6569E-06  | 0.07013498 |
| 28                            | 852744.89  | 1206881.75 | 2992.431 | 28                                             | 852744.912 | 1206881.71 | 2992.65186 | -0.021643   | 0.03816999  | -0.2208555 | 0.000468419        | 0.00145695  | 0.04877715 |
| 30                            | 852709.234 | 1206687.28 | 2940.63  | 30                                             | 852709.223 | 1206687.26 | 2940.80957 | 0.010742    | 0.02093001  | -0.1795703 | 0.000115391        | 0.00043807  | 0.0        |

Vuelo fotogramétrico en área montañosa

4.11. Procesamiento fotogramétrico P11

| Procesamiento 11 - datos GNSS         |            |            |          | Procesamiento 11 -datos Fotogrametría (ArcGis) |            |            |            | Deltas      |             |            | Deltas al cuadrado |            |            |
|---------------------------------------|------------|------------|----------|------------------------------------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|--------------------|------------|------------|
| NAME                                  | POINT_X    | POINT_Y    | POINT_Z  | NAME                                           | POINT_X    | POINT_Y    | RASTERVALU | DX          | DY          | DZ         | DX2                | DY2        | DZ2        |
| 1                                     | 852502.091 | 1206544.23 | 2904.201 | 1                                              | 852502.094 | 1206544.23 | 2904.01099 | -0.002443   | -0.00679999 | 0.1900137  | 5.96825E-06        | 4.624E-05  | 0.03610521 |
| 2                                     | 852544.655 | 1206404.32 | 2904.817 | 2                                              | 852544.664 | 1206404.34 | 2904.62061 | -0.008564   | -0.01732001 | 0.1963945  | 7.33421E-05        | 0.00029998 | 0.0385708  |
| 3                                     | 852576.952 | 1206507.27 | 2915.526 | 3                                              | 852576.932 | 1206507.29 | 2915.33228 | 0.020148    | -0.02625001 | 0.1937246  | 0.000405942        | 0.00068906 | 0.03752922 |
| 4                                     | 852572.246 | 1206553.5  | 2915.807 | 4                                              | 852572.267 | 1206553.51 | 2915.677   | -0.020997   | -0.01404    | 0.129998   | 0.000440874        | 0.00019712 | 0.01689948 |
| 5                                     | 852553.583 | 1206744.23 | 2914.7   | 5                                              | 852553.578 | 1206744.2  | 2914.55762 | 0.005178    | 0.0223      | 0.1423828  | 2.68117E-05        | 0.00049729 | 0.02027286 |
| 6                                     | 852456.057 | 1206726.48 | 2898.575 | 6                                              | 852456.077 | 1206726.5  | 2898.41724 | -0.020499   | -0.02088999 | 0.1577637  | 0.000420209        | 0.00043639 | 0.02488939 |
| 7                                     | 852467.944 | 1206479.43 | 2896.009 | 7                                              | 852467.936 | 1206479.44 | 2895.88257 | 0.007606    | -0.00344999 | 0.1264316  | 5.78512E-05        | 1.1902E-05 | 0.01598495 |
| 8                                     | 852478.115 | 1206342.71 | 2880.244 | 8                                              | 852478.17  | 1206342.7  | 2880.01733 | -0.054344   | 0.00567001  | 0.226666   | 0.00295327         | 3.2149E-05 | 0.05137748 |
| 9                                     | 852367.974 | 1206360.51 | 2869.108 | 9                                              | 852367.996 | 1206360.52 | 2868.89185 | -0.022175   | -0.01596999 | 0.2161543  | 0.000491731        | 0.00025504 | 0.04672268 |
| 10                                    | 852224.728 | 1206438.22 | 2857.924 | 10                                             | 852224.742 | 1206438.23 | 2857.75659 | -0.013536   | -0.01235    | 0.1674082  | 0.000183223        | 0.00015252 | 0.02802551 |
| 11                                    | 852352.185 | 1206606.5  | 2873.062 | 11                                             | 852352.177 | 1206606.49 | 2872.95288 | 0.007945    | 0.01228001  | 0.1091191  | 6.3123E-05         | 0.0001508  | 0.01190698 |
| 12                                    | 852127.754 | 1206684.45 | 2856.128 | 12                                             | 852127.764 | 1206684.5  | 2856.10449 | -0.010149   | -0.05181001 | 0.235078   | 0.000103002        | 0.00268428 | 0.00055262 |
| 13                                    | 852397.397 | 1206492.57 | 2880.319 | 13                                             | 852397.406 | 1206492.53 | 2880.27002 | -0.009495   | 0.03222001  | 0.0489805  | 9.0155E-05         | 0.00103813 | 0.00239909 |
| 14                                    | 852455.537 | 1207043.07 | 2929.19  | 14                                             | 852455.552 | 1207043.09 | 2929.11475 | -0.015184   | -0.02077    | 0.0752539  | 0.000230554        | 0.00043139 | 0.00566315 |
| 15                                    | 852531.423 | 1206945.14 | 2924.322 | 15                                             | 852531.421 | 1206945.11 | 2924.27197 | 0.002021    | 0.02376     | 0.0500273  | 4.08444E-06        | 0.00056454 | 0.00250273 |
| 16                                    | 852377.454 | 1206868.33 | 2891.418 | 16                                             | 852377.492 | 1206868.33 | 2891.34131 | -0.038109   | 0.00567     | 0.0766914  | 0.001452296        | 3.2149E-05 | 0.00588157 |
| 17                                    | 852344.857 | 1206777.06 | 2879.436 | 17                                             | 852344.85  | 1206777.06 | 2879.31128 | 0.006861    | -0.00045999 | 0.1247207  | 4.70733E-05        | 2.1159E-07 | 0.01555525 |
| 18                                    | 852293.016 | 1206826.45 | 2869.867 | 18                                             | 852293.023 | 1206826.45 | 2869.88501 | -0.006962   | -0.00117    | -0.0180098 | 4.84694E-05        | 1.3689E-06 | 0.00032435 |
| 19                                    | 852120.55  | 1206948.67 | 2831.232 | 19                                             | 852120.626 | 1206948.68 | 2831.16724 | -0.076504   | -0.00979999 | 0.0647637  | 0.005852862        | 9.604E-05  | 0.00419434 |
| 21                                    | 852181.629 | 1206812.18 | 2842.608 | 21                                             | 852181.601 | 1206812.16 | 2842.56226 | 0.028289    | 0.01641001  | 0.0457441  | 0.000800268        | 0.00026929 | 0.00209252 |
| 22                                    | 852139.066 | 1206518.49 | 2835.783 | 22                                             | 852139.057 | 1206518.51 | 2835.8125  | 0.008753    | -0.01174    | -0.0295    | 7.6615E-05         | 0.00013783 | 0.00087025 |
| 24                                    | 851990.146 | 1206641.21 | 2806.122 | 24                                             | 851990.051 | 1206641.29 | 2806.00781 | 0.095246    | -0.07635999 | 0.1141875  | 0.009071801        | 0.00583085 | 0.01303879 |
| 25                                    | 852234.996 | 1206371.58 | 2845.158 | 25                                             | 852234.996 | 1206371.62 | 2845.14844 | -0.000602   | -0.03766001 | 0.0095625  | 3.62403E-07        | 0.00141828 | 9.1441E-05 |
| 26                                    | 852495.019 | 1207083.09 | 2939.923 | 26                                             | 852495.059 | 1207083.08 | 2940.03516 | -0.040011   | 0.01241001  | -0.1121562 | 0.00160088         | 0.00015401 | 0.01257901 |
| 27                                    | 852602.986 | 1206895.41 | 2939.211 | 27                                             | 852602.922 | 1206895.37 | 2939.31909 | 0.0639      | 0.04558999  | -0.1080918 | 0.00408321         | 0.00207845 | 0.01168384 |
| 28                                    | 852744.89  | 1206881.75 | 2992.431 | 28                                             | 852744.937 | 1206881.71 | 2992.51489 | -0.04653    | 0.04248999  | -0.0838926 | 0.002165041        | 0.0018054  | 0.00703797 |
| 31                                    | 852627.461 | 1206415.69 | 2903.298 | 31                                             | 852627.507 | 1206415.69 | 2903.30933 | -0.046543   | 0.00336001  | -0.0113262 | 0.002166251        | 1.129E-05  | 0.00012828 |
| 32                                    | 852378.692 | 1206173.14 | 2812.844 | 32                                             | 852378.65  | 1206173.12 | 2812.81787 | 0.042206    | 0.01735001  | 0.0261289  | 0.001781347        | 0.00030102 | 0.00068272 |
| Drn_f1                                | 852475.678 | 1206501.89 | 2898.489 | Drn_f1                                         | 852475.701 | 1206502.0  | 2898.33594 | -0.02214    | -0.10798    | 0.1530625  | 0.00049018         | 0.01165968 | 0.02342813 |
| Base                                  | 852475.368 | 1206509.86 | 2898.022 | Base                                           | 852475.293 | 1206509.84 | 2898.10571 | 0.075373    | 0.01198     | -0.0837129 | 0.005681089        | 0.00014352 | 0.00700785 |
| Media                                 |            |            |          |                                                |            |            |            | -0.00304203 | -0.006111   | 0.07406659 |                    |            |            |
| Desviación Esandar                    |            |            |          |                                                |            |            |            | 0.03741209  | 0.03232693  | 0.09815938 |                    |            |            |
| RMSE (xyz)                            |            |            |          |                                                |            |            |            |             |             |            | 0.036908845        | 0.03236573 | 0.12165504 |
| RMSEr                                 |            |            |          |                                                |            |            |            |             |             |            | 0.049089748        |            |            |
| Exactitud Horizontal 95% de confianza |            |            |          |                                                |            |            |            |             |             |            | 0.084964628        |            |            |
| Exactitud Vertical 95% de confianza   |            |            |          |                                                |            |            |            |             |             |            | 0.23844387         |            |            |

4.12. Procesamiento fotogramétrico P12

| Procesamiento 12 - datos GNSS         |            |            |          | Procesamiento 12 -datos Fotogrametría (ArcGis) |            |            |             | Deltas |        |        | Deltas al cuadrado |       |       |
|---------------------------------------|------------|------------|----------|------------------------------------------------|------------|------------|-------------|--------|--------|--------|--------------------|-------|-------|
| NAME                                  | POINT_X    | POINT_Y    | POINT_Z  | NAME                                           | POINT_X    | POINT_Y    | RASTERVALU  | DX     | DY     | DZ     | DX^2               | DY^2  | DZ^2  |
| 1                                     | 852502.091 | 1206544.23 | 2904.201 | 1                                              | 852502.043 | 1206544.23 | 2904.129639 | 0.048  | -0.001 | 0.071  | 0.002              | 1E-06 | 5E-03 |
| 3                                     | 852576.952 | 1206507.27 | 2915.526 | 3                                              | 852576.885 | 1206507.29 | 2915.480713 | 0.067  | -0.021 | 0.045  | 0.005              | 4E-04 | 2E-03 |
| 4                                     | 852572.246 | 1206553.5  | 2915.807 | 4                                              | 852572.212 | 1206553.52 | 2915.790039 | 0.034  | -0.023 | 0.017  | 0.001              | 5E-04 | 3E-04 |
| 5                                     | 852553.583 | 1206744.23 | 2914.7   | 5                                              | 852553.54  | 1206744.23 | 2914.659668 | 0.043  | -0.005 | 0.04   | 0.002              | 3E-05 | 2E-03 |
| 6                                     | 852456.057 | 1206726.48 | 2898.575 | 6                                              | 852456.026 | 1206726.52 | 2898.551758 | 0.031  | -0.037 | 0.023  | 0.001              | 0.001 | 0.001 |
| 7                                     | 852467.944 | 1206479.43 | 2896.009 | 7                                              | 852467.903 | 1206479.44 | 2896.000244 | 0.041  | -0.010 | 0.009  | 0.002              | 0.000 | 0.000 |
| 8                                     | 852478.115 | 1206342.71 | 2880.244 | 8                                              | 852478.151 | 1206342.69 | 2880.194824 | -0.035 | 0.019  | 0.049  | 0.001              | 0.000 | 0.002 |
| 9                                     | 852367.974 | 1206360.51 | 2869.108 | 9                                              | 852367.954 | 1206360.53 | 2869.031006 | 0.019  | -0.025 | 0.077  | 0.000              | 0.001 | 0.006 |
| 11                                    | 852352.185 | 1206606.5  | 2873.062 | 11                                             | 852352.166 | 1206606.5  | 2873.07666  | 0.019  | 0.009  | -0.015 | 0.000              | 0.000 | 0.000 |
| 12                                    | 852127.754 | 1206684.45 | 2856.128 | 12                                             | 852127.749 | 1206684.48 | 2856.203369 | 0.005  | -0.034 | -0.075 | 0.000              | 0.001 | 0.006 |
| 13                                    | 852397.397 | 1206492.57 | 2880.319 | 13                                             | 852397.41  | 1206492.58 | 2880.367188 | -0.013 | -0.011 | -0.048 | 0.000              | 0.000 | 0.002 |
| 14                                    | 852455.537 | 1207043.07 | 2929.19  | 14                                             | 852455.519 | 1207043.13 | 2929.195068 | 0.018  | -0.062 | -0.005 | 0.000              | 0.004 | 0.000 |
| 16                                    | 852377.454 | 1206868.33 | 2891.418 | 16                                             | 852377.471 | 1206868.35 | 2891.426514 | -0.017 | -0.019 | -0.009 | 0.000              | 0.000 | 0.000 |
| 17                                    | 852344.857 | 1206777.06 | 2879.436 | 17                                             | 852344.819 | 1206777.08 | 2879.402588 | 0.038  | -0.022 | 0.033  | 0.001              | 0.000 | 0.001 |
| 18                                    | 852293.016 | 1206826.45 | 2869.867 | 18                                             | 852292.966 | 1206826.47 | 2869.950195 | 0.050  | -0.023 | -0.083 | 0.002              | 0.001 | 0.007 |
| 20                                    | 852027.213 | 1206846.11 | 2809.421 | 20                                             | 852027.062 | 1206846.15 | 2809.442139 | 0.152  | -0.033 | -0.021 | 0.023              | 0.001 | 0.000 |
| 21                                    | 852181.629 | 1206812.18 | 2842.608 | 21                                             | 852181.626 | 1206812.16 | 2842.6875   | 0.003  | 0.016  | -0.080 | 0.000              | 0.000 | 0.006 |
| 22                                    | 852139.066 | 1206518.49 | 2835.783 | 22                                             | 852139.005 | 1206518.52 | 2835.939209 | 0.061  | -0.021 | -0.156 | 0.004              | 0.000 | 0.024 |
| 23                                    | 852034.017 | 1206499.92 | 2811.411 | 23                                             | 852033.944 | 1206499.96 | 2811.508545 | 0.073  | -0.038 | -0.098 | 0.005              | 0.001 | 0.010 |
| 24                                    | 851990.146 | 1206641.21 | 2806.122 | 24                                             | 851990.045 | 1206641.3  | 2806.19458  | 0.101  | -0.091 | -0.073 | 0.010              | 0.008 | 0.005 |
| 25                                    | 852234.996 | 1206371.58 | 2845.158 | 25                                             | 852234.976 | 1206371.64 | 2845.27417  | 0.020  | -0.054 | -0.116 | 0.000              | 0.003 | 0.013 |
| 26                                    | 852495.019 | 1207083.09 | 2939.923 | 26                                             | 852495.052 | 1207083.07 | 2940.120606 | -0.033 | 0.026  | -0.198 | 0.001              | 0.001 | 0.039 |
| 27                                    | 852602.986 | 1206895.41 | 2939.211 | 27                                             | 852602.97  | 1206895.43 | 2939.411621 | 0.017  | -0.019 | -0.201 | 0.000              | 0.000 | 0.040 |
| 28                                    | 852744.89  | 1206881.75 | 2992.431 | 28                                             | 852744.901 | 1206881.7  | 2992.625244 | -0.010 | 0.048  | -0.194 | 0.000              | 0.002 | 0.038 |
| 30                                    | 852709.234 | 1206687.28 | 2940.63  | 30                                             | 852709.251 | 1206687.27 | 2940.769775 | -0.017 | 0.012  | -0.140 | 0.000              | 0.000 | 0.020 |
| 31                                    | 852627.461 | 1206415.69 | 2903.298 | 31                                             | 852627.475 | 1206415.67 | 2903.490723 | -0.014 | 0.018  | -0.193 | 0.000              | 0.000 | 0.037 |
| 32                                    | 852378.692 | 1206173.14 | 2812.844 | 32                                             | 852378.624 | 1206173.09 | 2813.046631 | 0.068  | 0.046  | -0.203 | 0.005              | 0.002 | 0.041 |
| Drn_f1                                | 852475.678 | 1206501.89 | 2898.489 | Drn_f1                                         | 852475.665 | 1206502    | 2898.455566 | 0.013  | -0.111 | 0.033  | 0.000              | 0.012 | 0.001 |
| Base                                  | 852475.368 | 1206509.86 | 2898.022 | Base                                           | 852475.246 | 1206509.83 | 2898.315186 | 0.122  | 0.025  | -0.293 | 0.015              | 0.001 | 0.086 |
| Media                                 |            |            |          |                                                |            |            |             | 0.031  | -0.015 | -0.062 |                    |       |       |
| Desviación Esandar                    |            |            |          |                                                |            |            |             | 0.045  | 0.036  | 0.101  |                    |       |       |
| RMSE (xyz)                            |            |            |          |                                                |            |            |             |        |        |        | 0.054              | 0.039 | 0.117 |
| RMSEr                                 |            |            |          |                                                |            |            |             |        |        |        | 0.066              |       |       |
| Exactitud Horizontal 95% de confianza |            |            |          |                                                |            |            |             |        |        |        | 0.115              |       |       |
| Exactitud Vertical 95% de confianza   |            |            |          |                                                |            |            |             |        |        |        | 0.229              |       |       |

## Vuelo fotogramétrico en área montañosa

## 4.13. Procesamiento fotogramétrico P13.

| Procesamiento 13 - datos GNSS         |            |            |          | Procesamiento 13 -datos Fotogrametria (ArcGis) |            |            |            | Deltas     |             |             | Deltas al cuadrado |            |            |
|---------------------------------------|------------|------------|----------|------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------------|------------|------------|
| NAME                                  | POINT_X    | POINT_Y    | POINT_Z  | NAME                                           | POINT_X    | POINT_Y    | RASTERVALI | DX         | DY          | DZ          | DX2                | DY2        | DZ2        |
| 1                                     | 852502.091 | 1206544.23 | 2904.201 | 1                                              | 852502.068 | 1206544.24 | 2904.11157 | 0.023753   | -0.01544    | 0.0894277   | 0.000564205        | 0.00023839 | 0.00799731 |
| 3                                     | 852576.952 | 1206507.27 | 2915.526 | 3                                              | 852576.92  | 1206507.31 | 2915.46924 | 0.032205   | -0.04047001 | 0.0567617   | 0.001037162        | 0.00163782 | 0.00322189 |
| 4                                     | 852572.246 | 1206553.5  | 2915.807 | 4                                              | 852572.228 | 1206553.51 | 2915.80908 | 0.018299   | -0.00853001 | -0.002082   | 0.000334853        | 7.2761E-05 | 4.3347E-06 |
| 5                                     | 852553.583 | 1206744.23 | 2914.7   | 5                                              | 852553.551 | 1206744.2  | 2914.71973 | 0.031612   | 0.02227     | -0.0197266  | 0.000999318        | 0.00049595 | 0.00038914 |
| 6                                     | 852456.057 | 1206726.48 | 2898.575 | 6                                              | 852456.052 | 1206726.52 | 2898.51025 | 0.004633   | -0.03868999 | 0.0647461   | 2.14647E-05        | 0.00149692 | 0.00419206 |
| 7                                     | 852467.944 | 1206479.43 | 2896.009 | 7                                              | 852467.929 | 1206479.44 | 2895.97241 | 0.014636   | -0.00906999 | 0.0365879   | 0.000214212        | 8.2265E-05 | 0.00133867 |
| 8                                     | 852478.115 | 1206342.71 | 2880.244 | 8                                              | 852478.156 | 1206342.7  | 2880.16089 | -0.040941  | 0.00304001  | 0.0831113   | 0.001676166        | 9.2417E-06 | 0.00690749 |
| 9                                     | 852367.974 | 1206360.51 | 2869.108 | 9                                              | 852367.982 | 1206360.53 | 2868.95776 | -0.008543  | -0.02197    | 0.1502363   | 7.29828E-05        | 0.00048268 | 0.02257095 |
| 10                                    | 852224.728 | 1206438.22 | 2857.924 | 10                                             | 852224.755 | 1206438.29 | 2857.81348 | -0.026279  | -0.07325001 | 0.1105234   | 0.000690586        | 0.00536556 | 0.01221542 |
| 12                                    | 852127.754 | 1206684.45 | 2856.128 | 12                                             | 852127.776 | 1206684.49 | 2856.15576 | -0.021997  | -0.04015    | -0.0277617  | 0.000483868        | 0.00161202 | 0.00077071 |
| 14                                    | 852455.537 | 1207043.07 | 2929.19  | 14                                             | 852455.525 | 1207043.1  | 2929.23535 | 0.011646   | -0.03694    | -0.0453516  | 0.000135629        | 0.00136456 | 0.00205677 |
| 16                                    | 852377.454 | 1206868.33 | 2891.418 | 16                                             | 852377.488 | 1206868.33 | 2891.41846 | -0.034355  | -0.00127999 | -0.000457   | 0.001180266        | 1.6384E-06 | 2.0885E-07 |
| 17                                    | 852344.857 | 1206777.06 | 2879.436 | 17                                             | 852344.848 | 1206777.06 | 2879.3855  | 0.009119   | -0.00148    | 0.050502    | 8.31562E-05        | 2.1904E-06 | 0.00255045 |
| 18                                    | 852293.016 | 1206826.45 | 2869.867 | 18                                             | 852292.986 | 1206826.46 | 2869.95801 | 0.029903   | -0.01371    | -0.0910078  | 0.000894189        | 0.00018796 | 0.00828242 |
| 20                                    | 852027.213 | 1206846.11 | 2809.421 | 20                                             | 852027.093 | 1206846.11 | 2809.42749 | 0.119701   | -0.00035999 | -0.0064902  | 0.014328329        | 1.2959E-07 | 4.2123E-05 |
| 21                                    | 852181.629 | 1206812.18 | 2842.608 | 21                                             | 852181.622 | 1206812.19 | 2842.65405 | 0.007768   | -0.01438    | -0.0460527  | 6.03418E-05        | 0.00020678 | 0.00212085 |
| 22                                    | 852139.066 | 1206518.49 | 2835.783 | 22                                             | 852139.037 | 1206518.48 | 2835.85352 | 0.028612   | 0.01043     | -0.0705156  | 0.000818646        | 0.00010878 | 0.00497245 |
| 23                                    | 852034.017 | 1206499.92 | 2811.411 | 23                                             | 852034.018 | 1206499.94 | 2811.37891 | -0.001154  | -0.01934001 | 0.0320938   | 1.33171E-06        | 0.00037404 | 0.00103001 |
| 24                                    | 851990.146 | 1206641.21 | 2806.122 | 24                                             | 851990.036 | 1206641.28 | 2805.97559 | 0.110241   | -0.06675999 | 0.1464141   | 0.012153078        | 0.0044569  | 0.02143709 |
| 26                                    | 852495.019 | 1207083.09 | 2939.923 | 26                                             | 852495.048 | 1207083.07 | 2940.13867 | -0.028731  | 0.02066001  | -0.2156719  | 0.00082547         | 0.00042684 | 0.04651437 |
| 27                                    | 852602.986 | 1206895.41 | 2939.211 | 27                                             | 852602.971 | 1206895.41 | 2939.42725 | 0.015044   | 0.00017     | -0.2162461  | 0.000226322        | 2.89E-08   | 0.04676238 |
| 28                                    | 852744.89  | 1206881.75 | 2992.431 | 28                                             | 852744.863 | 1206881.72 | 2992.65234 | 0.027145   | 0.03321999  | -0.2213438  | 0.000736851        | 0.00110357 | 0.04899308 |
| 30                                    | 852709.234 | 1206687.28 | 2940.63  | 30                                             | 852709.227 | 1206687.28 | 2940.80908 | 0.00701    | 0.00344001  | -0.179082   | 4.91401E-05        | 1.1834E-05 | 0.03207036 |
| 31                                    | 852627.461 | 1206415.69 | 2903.298 | 31                                             | 852627.483 | 1206415.69 | 2903.47827 | -0.02229   | 0.00689     | -0.1802715  | 0.000496844        | 4.7472E-05 | 0.03249781 |
| 32                                    | 852378.692 | 1206173.14 | 2812.844 | 32                                             | 852378.704 | 1206173.11 | 2812.89917 | -0.012527  | 0.02439     | -0.0551699  | 0.000156926        | 0.00059487 | 0.00304372 |
| Drn_f1                                | 852475.678 | 1206501.89 | 2898.489 | Drn_f1                                         | 852475.687 | 1206502.02 | 2898.45728 | -0.008507  | -0.13177999 | 0.0317246   | 7.23691E-05        | 0.01736597 | 0.00100645 |
| Base                                  | 852475.368 | 1206509.86 | 2898.022 | Base                                           | 852475.281 | 1206509.83 | 2898.22876 | 0.087506   | 0.02354     | -0.2067598  | 0.0076573          | 0.00055413 | 0.04274961 |
| Media                                 |            |            |          |                                                |            |            |            | 0.01383367 | -0.01427963 | -0.02710597 |                    |            |            |
| Desviación Esandar                    |            |            |          |                                                |            |            |            | 0.03961546 | 0.03551587  | 0.11366285  |                    |            |            |
| RMSE (xyz)                            |            |            |          |                                                |            |            |            |            |             |             | 0.041262937        | 0.03766387 | 0.11478452 |
| RMSEr                                 |            |            |          |                                                |            |            |            |            |             |             | 0.055867675        |            |            |
| Exactitud Horizontal 95% de confianza |            |            |          |                                                |            |            |            |            |             |             | 0.096695876        |            |            |
| Exactitud Vertical 95% de confianza   |            |            |          |                                                |            |            |            |            |             |             | 0.22497766         |            |            |