

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS				   	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN					
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA 1 de 1

Neiva, 08 de Junio 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Yerly Karina Moreno Bohorquez, con C.C. No.1083290909,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o Titulado EVALUACION DE LA INFLUENCIA DE LOS PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE, MEDIANTE TECNICAS FOTOGRAMETRICAS UTILIZANDO EL EQUIPO MATRICE 300RTK Y ANTENA D-RTK2 DJI

presentado y aprobado en el año ____2023____ como requisito para optar al título de
 ____Ingeniero Agrícola____;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Yerly Karina Moreno B

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA					   	
	GESTIÓN DE BIBLIOTECAS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE MEDIANTE TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS UTILIZANDO EL EQUIPO DJI MATRICE 300 RTK Y ANTENA D-RTK2 DJI

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Moreno Bohorquez	Yerly Karina

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Mujica Rodríguez	Edinson

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniera Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería agrícola

CIUDAD: Pitalito

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023

NÚMERO DE PÁGINAS: 29

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas ☒ Fotografías ☒ Grabaciones en discos ☐ Ilustraciones en general ☐ Grabados ☐
Láminas ☐ Litografías ☐ Mapas ☐ Música impresa ☐ Planos ☐ Retratos ☐ Sin ilustraciones ☐ Tablas
o Cuadros ☐

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



Español

1. fotogrametría
2. GNSS
3. DJI Matrice 300
4. Antena D-RTK2 DJI
5. Puntos de control GCP

Inglés

- photogrammetry
- GNSS
- DJI Matrice 300
- D -RTK2 DJI antenna
- GCP control points

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La fotogrametría se ha convertido en una importante herramienta técnica en el campo de la topografía y la cartografía. Su desarrollo no sería posible sin el uso de cámaras de alta calidad, tecnología GNSS y tecnología informática, a la par de buscar mejoras y perfeccionamiento continuos en software de procesamiento de imágenes de datos, lo que posibilita el aumento considerable en la precisión y eficiencia. La fotogrametría cuenta con una amplia perspectiva de aplicaciones debido a su capacidad para proporcionar información espacial tridimensional en un tiempo real, como también cuenta con unas ventajas que nos permiten tener una baja carga de trabajo, alta eficiencia y resultados. En este sentido, este proyecto de investigación tiene como objetivo principal el evaluar la influencia de los puntos de control terrestre con técnicas fotogramétricas utilizando el equipo DJI Matrice 300 RTK y su antena D-RTK2 DJI, validado con metodologías GNSS de levantamiento topográfico tipo IGAC en la hacienda renacimiento del Municipio de Palermo (Huila). Mediante la aplicación de 5 procesos de estudio diferentes empleando puntos de control terrestre GCP; empezando sin la utilización de puntos GCP, con 1 punto GCP, con 3 punto GCP, con 5 punto GCP y con 10 punto GCP, se evaluó y determino la magnitud de error para cada caso con el fin de comprobar los parámetros referidos por la empresa fabricante DJI y determinar con cuál de los procesos presenta una menor magnitud de error del equipo en los resultados. A partir de los resultados obtenidos, se pudo concluir que: La utilización de la antena D-RTK2-DJI y los parámetros diseñados por la empresa DroneSky reducen significativamente la magnitud de error presentada durante los diferentes levantamientos fotogramétricos en todos los casos experimentales. De igual forma, esta investigación pudo determinar que los mejores resultados se presentaron durante la implementación de 5 puntos GCP, haciendo uso de la antena D-RTK2-DJI y los parámetros establecidos por la empresa DroneSky, obteniendo bajo estos parámetros una magnitud de error de 0.024 m. Finalmente, a partir de lo expuesto en este trabajo, no es recomendable realizar los levantamientos fotogramétricos bajo ninguno de los cuatro parámetros expuestos en el método de utilización de 0 puntos GCP, ya que, trabajar levantamientos fotogramétricos de precisión con una magnitud de error mayor a 1.5 m no es aceptable

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Photogrammetry has become an important technical tool in surveying and mapping science. Its development would not be possible without the use of high-quality cameras, GNSS technology and computer technology, along with continuous improvement and refinement of image data processing software, which enables considerable increases in precision and efficiency. Photogrammetry has a wide perspective of applications due to its ability to provide three-dimensional spatial information in real time, as well as some advantages that allow us to have a low workload, high efficiency and results. In this aspect, this research has a main objective



evaluate the influence of ground control points with photogrammetric techniques using the DJI Matrice 300 RTK equipment and its DJI D-RTK2 antenna, validated with IGAC-type topographic survey GNSS methodologies in the Hacienda Renacimiento of the Municipality of Palermo (Huila). Through the application of 5 different study processes using GCP ground control points; Starting without the use of GCP points, with 1 GCP point, with 3 GCP points, with 5 GCP points and with 10 GCP points, the magnitude of error for each case was evaluated and determined in order to verify the parameters referred to by the company. manufacturer DJI and determine which of the processes presents a lower magnitude of equipment error in the results. From the results obtained, it was possible to conclude that: The use of the D-RTK2-DJI antenna and the parameters designed by the DroneSky company significantly reduce the magnitude of error presented during the different photogrammetric surveys in all experimental cases. This investigation was able to determine that the best results were presented during the implementation of 5 GCP points, making use of the D-RTK2-DJI antenna and the parameters established by the DroneSky company, obtaining a magnitude of 0.024 m error. Finally, based on what is stated in this work, it is not recommended to carry out photogrammetric surveys under any of the four parameters exposed in the method of using 0 GCP points with precision photogrammetric surveys with a magnitude of error greater than 1.5 m is not acceptable.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Jhon Jairo Beltrán Díaz

Firma:

Nombre Jurado: Diana Carolina Polania Montiel

Firma:

**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS PUNTOS DE
CONTROL TERRESTRE MEDIANTE TÉCNICAS
FOTOGRAMÉTRICAS UTILIZANDO EL EQUIPO DJI MATRICE
300 RTK Y ANTENA D-RTK2 DJI**

Trabajo de grado presentado al departamento de Ingeniería Agrícola
Como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Autor

Yerly Karina Moreno Bohorquez

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Sede Pitalito, Huila, Colombia. 2023

Firma

Director (a): Edinson Mujica Rodríguez

Nota de aceptación

Firma

Jurado (a): Diana Carolina Polania Montiel

Firma

Jurado (a): Jhon Jairo Beltrán Díaz

EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE MEDIANTE TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS UTILIZANDO EL EQUIPO DJI MATRICE 300 RTK Y ANTENA D-RTK2 DJI

RESUMEN

La fotogrametría se ha convertido en una importante herramienta técnica en el campo de la topografía y la cartografía. Su desarrollo no sería posible sin el uso de cámaras de alta calidad, tecnología GNSS y tecnología informática, a la par de buscar mejoras y perfeccionamiento continuos en software de procesamiento de imágenes de datos, lo que posibilita el aumento considerable en la precisión y eficiencia. La fotogrametría cuenta con una amplia perspectiva de aplicaciones debido a su capacidad para proporcionar información espacial tridimensional en un tiempo real, como también cuenta con unas ventajas que nos permiten tener una baja carga de trabajo, alta eficiencia y resultados. En este sentido, este proyecto de investigación tiene como objetivo principal el evaluar la influencia de los puntos de control terrestre con técnicas fotogramétricas utilizando el equipo DJI Matrice 300 RTK y su antena D-RTK2 DJI, validado con metodologías GNSS de levantamiento topográfico tipo IGAC en la hacienda renacimiento del Municipio de Palermo (Huila). Mediante la aplicación de 5 procesos de estudio diferentes empleando puntos de control terrestre GCP; empezando sin la utilización de puntos GCP, con 1 punto GCP, con 3 punto GCP, con 5 punto GCP y con 10 punto GCP, se evaluó y determino la magnitud de error para cada caso con el fin de comprobar los parámetros referidos por la empresa fabricante DJI y determinar con cuál de los procesos presenta una menor magnitud de error del equipo en los resultados. A partir de los resultados obtenidos, se pudo concluir que: La utilización de la antena D-RTK2-DJI y los parámetros diseñados por la empresa DroneSky reducen significativamente la magnitud de error presentada durante los diferentes levantamientos fotogramétricos en todos los casos experimentales. De igual forma, esta investigación pudo determinar que los mejores resultados se presentaron durante la implementación de 5 puntos GCP, haciendo uso de la antena D-RTK2-DJI y los parámetros establecidos por la empresa DroneSky, obteniendo bajo estos parámetros una magnitud de error de 0.024 m. Finalmente, a partir de lo expuesto en este trabajo, no es recomendable realizar los levantamientos fotogramétricos bajo ninguno de los cuatro parámetros expuestos en el método de utilización de 0 puntos GCP, ya que, trabajar levantamientos fotogramétricos de precisión con una magnitud de error mayor a 1.5 m no es aceptable.

Palabras claves: fotogrametría, GNSS, DJI Matrice 300, antena D-RTK2-DJI, puntos de control GCP.

ABSTRACT

Photogrammetry has become an important technical tool in surveying and mapping science. Its development would not be possible without the use of high-quality cameras, GNSS technology and computer technology, along with continuous improvement and refinement of image data processing software, which enables considerable increases in precision and efficiency. Photogrammetry has a wide perspective of applications due to its ability to provide three-dimensional spatial information in real time, as well as some advantages that allow us to have a low workload, high efficiency and results. In this aspect, this research has a main objective evaluate the influence of ground control points with photogrammetric techniques using the DJI Matrice 300 RTK equipment and its DJI D-RTK2 antenna, validated with IGAC-type topographic survey GNSS methodologies in the Hacienda Renacimiento of the Municipality of Palermo (Huila). Through the application of 5 different study processes using GCP ground control points; Starting without the use of GCP points, with 1 GCP point, with 3 GCP points, with 5 GCP points and with 10 GCP points, the magnitude of error for each case was evaluated and determined in order to verify the parameters referred to by the company. manufacturer DJI and determine which of the processes presents a lower magnitude of equipment error in the results. From the results obtained, it was possible to conclude that: The use of the D-RTK2-DJI antenna and the parameters designed by the DroneSky company significantly reduce the magnitude of error presented during the different photogrammetric surveys in all experimental cases. This investigation was able to determine that the best results were presented during the implementation of 5 GCP points, making use of the D-RTK2-DJI antenna and the parameters established by the DroneSky company, obtaining a magnitude of 0.024 m error. Finally, based on what is stated in this work, it is not recommended to carry out photogrammetric surveys under any of the four parameters exposed in the method of using 0 GCP points with precision photogrammetric surveys with a magnitude of error greater than 1.5 m is not acceptable.

Keywords: photogrammetry, GNSS, DJI Matrice 300, D-RTK2-DJI antenna, GCP control points.

INTRODUCCIÓN

La fotogrametría es la técnica cuyo objetivo es definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquier a partir de medidas sobre una o varias fotografías (García & Ortiz, 2012).

Según FangJian (2021), la fotogrametría se ha convertido en una importante herramienta técnica en el campo de la topografía y la cartografía. Su desarrollo no fuese posible sin el uso de cámaras de alta calidad, tecnología GNSS y tecnología informática, a la par de buscar mejoras y perfeccionamiento continuos en software de procesamiento de imágenes de datos, lo que ha sido posible el aumento considerable en la precisión y eficiencia. La fotogrametría cuenta con una amplia perspectiva de aplicaciones debido a su capacidad para proporcionar información espacial tridimensional en un tiempo real, como también cuenta con unas ventajas que nos permiten tener una baja carga de trabajo, alta eficiencia y altos resultados.

La tecnología ha evolucionado enormemente, según Hastaoğlu *et al.*, (2019), buscando encontrar mejores resultados de precisión con técnicas basada en el uso de sensores terrestres y remotos como se encuentran los sistemas de posicionamiento global (GPS), estación total, detección y rango de imágenes láser (LIDAR), entre otros, sin embargo, algunos de estos continúan presentando altos costos en su uso. Entre los equipos de alta accesibilidad, bajo costo y que permiten obtener imágenes de alta resolución espacial de una manera simple y flexible, se pueden encontrar los vehículos aéreos no tripulados (UAV) (Hemmelder *et al.*, 2018); este equipo nos permite proteger la seguridad de los operadores en situaciones, lugares peligrosos y con restricciones de vuelo.

En los últimos años los UAV se han utilizado principalmente para aplicaciones militares (Turner *et al.*, 2012), hoy en día su uso civil ha incrementado de una forma acelerada, esto se debe a que su utilización tiene una reducción de costos y tiempo en el trabajo (Velasco *et al.*, 2012). Gracias a los UAV la fotogrametría aérea se ha extendido como herramienta en múltiples sectores como lo son en la aplicación de agricultura de precisión para apreciar la producción de cosechas y determinar el estado hídrico o control de malas hierbas (Guevara *et al.*, 2020), en gestión forestal para análisis de daños post – incendio o inventarios forestales (Fernández *et al.*, 2017), en medio ambiente para el análisis de calidad de aguas o estudios de erosión costera y muchas otras (Maier & Keller, 2019); dicho incremento se ha dado debido a que estas plataformas tienen muchas ventajas sobre los aviones tripulados tradicionales u otras plataformas de sensores remotos, ya que las imágenes satelitales tienen grandes restricciones como el clima, la disponibilidad de cobertura estereo, el precio y la resolución temporal y geométrica.

Este trabajo de investigación, pretende ser la muestra del avance tecnológico que abre camino a realizar levantamientos topográficos de una manera diferente a la topografía convencional, donde la fotogrametría con Drone, puntualmente se utiliza el DJI Matrice 300 y su antena D – RTK2 DJI, bajo el marco metodológico fotogramétrico que se inicia desde la adecuada adquisición de la información hasta su procesamiento y entrega final de productos, se buscará definir y cuantificar los puntos de control necesarios en una medición topográfica aplicando las metodologías de fotogrametría aprobadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), adicionalmente, se indicarán las precisiones con las que trabajan las diversas metodologías trabajadas en este documento y presenta los rendimientos de eficiencia en el tiempo para cada una de las técnicas de medición.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del proyecto

El proyecto se realizó en la Hacienda renacimiento, la cual se encuentra en la vereda Amborco del Municipio de Palermo, a una distancia aproximada 8 km de la ciudad de Neiva, la captura de información se realiza en un área de 20 ha dentro de una de las divisiones prediales de la misma hacienda, la cual es nombrada la sabana, se optó por realizar el estudio en esta zona debido a la facilidad de acceso vial, cuenta con una vegetación baja y amplia visual del predio. La hacienda está enfocada en trabajar con ganadería regenerativa, crianza de equinos y la producción de alimentos saludables, ver anexo 1 y 2.

Equipo técnico e instrumentos

Equipos:

- DJI Matrice 300 RTK, ver anexo 13 -14
- DJI Zenmuse P1, ver anexo 15 - 16
- Antena D-RTK2 DJI, ver anexo 17 - 18
- Equipos GNSS RTK doble frecuencia FOIF A90, ver anexo 4 - 19

Software:

- Software profesional de Vuelo (Pilot), ver anexo 9 - 10
- Software profesional de Procesamiento Agisoft Metashape
- Software GIS (QGIS)

Equipo técnico:

- Yerly Karina Moreno Bohorquez
Ing. A. (c)
- Stephan Andrés Salazar Arias
Ing. A. M.Sc. Tecnologías de la información geográfica – COO

Diseño experimental

En la figura 1, se presenta la ruta investigativa seguida para efectos de este trabajo, como variables de entrada se pueden visualizar los equipos utilizados durante el proyecto y los cuales fueron necesarios para el análisis del error y precisión de los mismos, mediante diferentes técnicas, métodos y procesos se presenta finalmente el cálculo de la magnitud de error presentada por los equipos en cada una de las variables evaluadas.

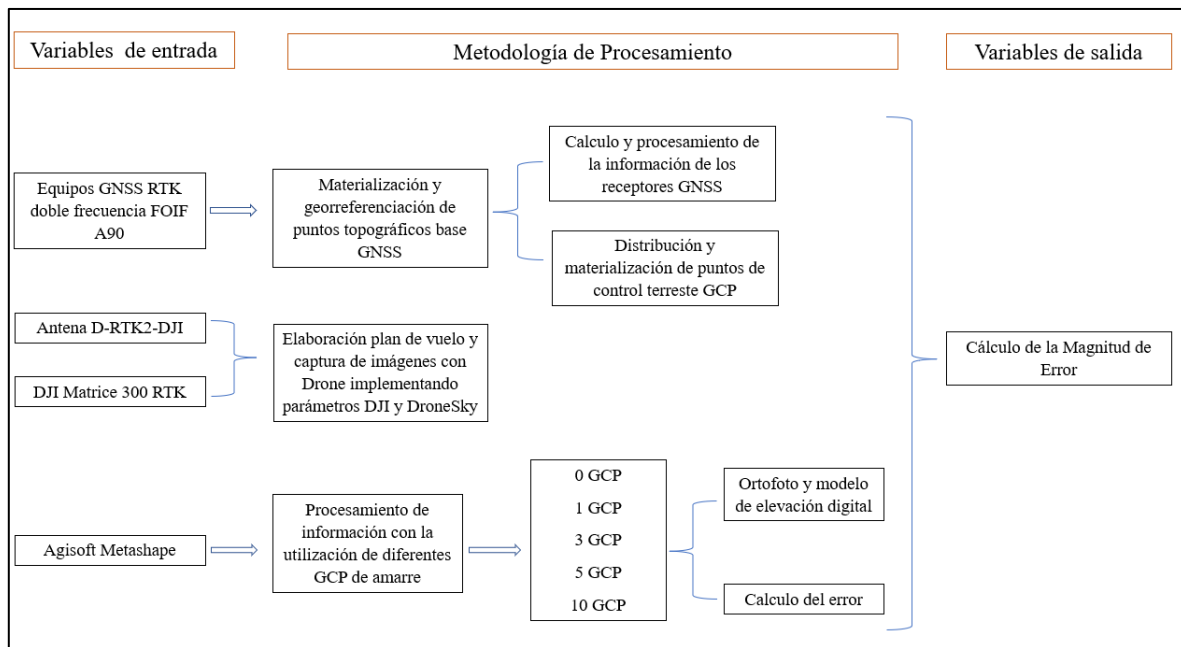


FIGURA 1. *Diseño experimental.*

Materialización y georreferenciación de puntos topográficos base GNSS

Debido que en la zona del proyecto no existen puntos geodésicos de la red pasiva del IGAC y teniendo en cuenta que en topografía existen varias metodologías para trasladar coordenadas de puntos georreferenciados certificados por el IGAC a puntos del proyecto, se determinó mediante la resolución 643 de 2018 y por el sistema de Posicionamiento satelital (GNSS) con equipos de alta precisión de doble frecuencia en modo estático diferencial y precisión milimétrica con postproceso, tomando como base las estaciones activas de la red geodésica nacional **NEVA** y **TCOA** ubicadas en la ciudad de Neiva.

El sistema MAGNA – SIRGAS, es un marco geocéntrico y preciso cuyo desarrollo se ha dado bajo los lineamientos de la geodesia internacional. Este constituye un marco nacional para la definición de coordenadas en Colombia, sus precisiones son compatibles con las tecnologías modernas de posicionamiento y facilita el intercambio de información georreferenciada y cuenta con una distribución homogénea de estaciones sobre todo el país (IGAC, 2004). Mediante la Resolución 471 del 14 de mayo del 2020, se establecieron unas especificaciones técnicas mínimas que deben cumplir los productos cartográficos básicos oficial de Colombia, ver anexo 3.

La georreferenciación de dos puntos topográficos base, ubicados en el proyecto hacienda renacimiento del municipio de Palermo Huila en la vereda Amborco. Se inicia con el levantamiento por el sistema global de posicionamiento satelital (GNSS), utilizando el método estático con precisión milimétrica con procesamiento diferencial y postproceso, a dos (2) puntos topográficos base identificados con los nombres de **GNSS01** y **GNSS02**, la materialización consistió en la construcción de dos mojones elaborados con unas estacas de madera, ubicados estratégicamente en altura y buena visual, ver anexo 5 y 6.

La georreferenciación consistió en ligar los 2 puntos materializados **GNSS01** Y **GNSS02**, a 2 estaciones activas de la red geodésica nacional, denominadas **NEVA** y **TCOA** ubicadas en la ciudad de Neiva. Para minimizar los tiempos de rastreo se utilizó de enlace la estación activa **AEBS** ubicada en la ciudad de Neiva. Los tiempos de ocupación para el rastreo satelital se calcularon utilizando la ecuación 1.

$$t = 65 \text{ min} + [3 \text{ min} * (d - 10)] \quad 1$$

Donde: t= tiempo de rastreo; d= distancia que separa la estación del punto materializado como topográfico base en km.

Cálculo y procesamiento de la información de los receptores GNSS

Para la georreferenciación el procesamiento de la información generada por los receptores GNSS de marca FOIF referencia A90 (archivos crudos y RINEX), se realizó a través del software Topcon Tools (demo), se realizó el cálculo de postproceso de vectores para obtener una alta exactitud mediante el método DIFERENCIAL, para lo cual se tuvieron en cuenta los parámetros de la tabla 1.

TABLA 1. Datos para la georreferenciación de GNSS01 y GNSS02.

Día Juliano o GPS	145
Fecha de rastreo	25 mayo de 2022
Semana GPS	2211
Tiempo de rastreo GNSS01	01 hora 17 minutos 35 segundos
Tiempo de rastreo GNSS02:	01 horas 27 minutos 08 segundos
Tiempo de rastreo NEVA	24 horas 0 minutos 0 segundos
Tiempo de rastreo TCOA	24 horas 0 minutos 0 segundos
Altura instrumental	2 m

Los archivos “.dat” generados por los equipos GNSS, de los puntos **GNSS01** y **GNSS02**, fueron convertidos a formato **RINEX**, para el cálculo de coordenadas con sistema de referencia MAGNA ORIGEN NACIONAL, para los puntos **GNSS01** y **GNSS02** (ver tabla 2), partiendo de las estaciones activas de la red geodésica nacional, denominadas **NEVA** y **TCOA**. Los archivos **RINEX** de las estaciones activas se descargaron de la página del IGAC para el día 25 de mayo de 2022. Las certificaciones semanales para la semana **2211** fueron descargadas de la página del IGAC. Las *efemérides* del día 24, 25 y 26 de mayo, fueron descargadas de la página GNSS *calendar and utility*.

TABLA 2. Coordenadas geocéntricas de la estación activa NEVA y TCOA Época 2022.301

NOMBRE ESTACIÓN	X (M)	Y (M)	Z (M)
NEVA	1617259.95	-6161575.1	324674.888
TCOA	1632240.28	-6154787.1	373596.221

Distribución y materialización puntos de control terrestre (GCP)

La distribución y materialización de los puntos de control, se realizó con un diseño de acuerdo al área del terreno, donde se generó una malla de puntos con el uso del software geográfico QGIS y una imagen previa del área de trabajo ver anexo 7, ubicando puntos de control por unidad de área aproximada a 1 ha. De esta forma se obtuvieron 21 áreas con 21 puntos de referencia, donde se calcularon coordenadas virtuales para luego ser materializadas mediante el método preseñalización, esta metodología se realizó generando marcas con aerosol rojo en forma de intercepción al punto de control terrestre, como se puede observar en el anexo 8. Posteriormente estos puntos replanteados, fueron posicionados con GNSS de precisión.

Plan de vuelo y captura de imágenes con drone

En esta etapa se determinó y se planteó la ruta del Matrice 300 RTK para obtener las imágenes aéreas, cumpliendo con las características técnicas para realizar un levantamiento fotogramétrico, en el cual se emplean los parámetros descritos en las tablas 3 y 4, en donde se cuenta con las especificaciones de fábrica de DJI y las empleadas en la empresa Dronesky, los cuales son ingresados al software Pilot, este último es el programa de vuelo que se utilizó para realizar este proyecto, en el cual se programan dos rutas con ambas especificaciones como se observa en la tabla 5, realizando un total de 4 vuelos; 1 vuelo mediante el uso de la antena D-RTK2-DJI y las especificaciones dispuestas por DroneSky, 1 vuelo sin el uso de la antena D-RTK2-DJI y las especificaciones dispuestas por DroneSky, 1 vuelo mediante el uso de la antena D-RTK2-DJI y las especificaciones dispuestas por DJI y finalmente 1 vuelo sin el uso de la antena D-RTK2-DJI y las especificaciones dispuestas por DJI, con una duración horaria total de 1 hora y 6 minutos, distribuida en dos vuelos de 16 minutos, dos vuelos de 7 minutos y 20 minutos en descargue de información, de igual forma, se verificaron los parámetros utilizados en el software UgCS, con el fin de determinar las diferencias de ambos programas

TABLA 3. Parámetros de vuelo DJI.

Altura de vuelo (metros)	239
GSD (cm/px)	3
Velocidad de vuelo (metros/seg)	6
Traslape lateral (%)	55
Traslape frontal (%)	75
Distancia focal (mm)	35
Ángulo de rumbo (°)	350

TABLA 4. Parámetros de vuelo DRONESKY.

Altura de vuelo (metros)	159
GSD (cm/px)	2
Velocidad de vuelo (metros/seg)	6
Traslape lateral (%)	75
Traslape frontal (%)	75
Distancia focal (mm)	35
Ángulo de rumbo (°)	350

TABLA 5. Distribución de rutas de vuelo.

VUELO	ESPECIFICACIÓN
1	PILOT – D-RTK2 – DJI
2	PILOT – D-RTK2 – DRONESKY
3	PILOT – GNSS – DJI
4	PILOT – GNSS – DRONESKY

De acuerdo a Quiroga & Macana (2019), la representación del GSD es muy importante a la hora de planificar el vuelo, ya que nos muestra el pixel de un objeto en la superficie terrestre y trabaja en función la altura de vuelo y de la resolución de la cámara, es decir, a mayor altura de vuelo tenemos mayor visual del área, pero menos detalle y a menor altura tenemos mayor detalle, pero menos visual del terreno de campo. Por otra parte, la determinación del tipo de altitud que tomará el Drone, nos permite diferenciar la necesidad del objetivo, para efectos de este trabajo se hizo uso del sistema AGL (*Above ground level*) tiene en cuenta los cambios de altura o pendiente, permitiendo al drone tener una trayectoria constante con relación a la superficie terrestre, y el GSD no se verá afectado y el rendimiento del equipo será mayor.

Según las indicaciones del fabricante DJI para la realización de este proyecto la plataforma de vuelo que se trabajó fue (PILOT), en este programa se hace el ingreso de los parámetros descritos en las tablas 3 y 4, y se procede a obtener la información relevante al vuelo, tales como numero de laterales, tiempo de vuelo, hora estimada de vuelo; ejecutándose dos vuelos para ambas rutas planificadas.

Luego, se procede a definir el despegue y aterrizaje de la aeronave, pero este debe ser verificado en campo según las características que tenga el terreno en cuanto visibilidad del equipo durante la misión, obstáculos que se presenten en el área de interés como árboles, construcciones, pendiente o cables de media o alta tensión.

Procesamiento

El procesamiento de la data generada por el equipo se realizó en el software Agisoft Metashape, en donde se procesaron alrededor de 180 fotografías para los vuelos realizados con parámetros DJI y 380 fotografías para los vuelos con parámetros de la empresa DRONESKY, estas fotografías pasaron por una calibración y alineación que ubica su referencia geográfica con un punto *nadir* o *centroide*, cada una de estas fotografías presenta en su información valores de ubicación espacial, hora y fecha de la toma de información.

Este proceso tuvo una duración aproximada de 6 horas luego de cargada la información para realizar el procesamiento local, la duración puede aumentar o disminuir con base en la cantidad de información procesada y las características que posea el equipo de procesamiento, teniendo en cuenta que el trabajo se distribuyó de la siguiente manera, cada vuelo tuvo en oficina cinco procesamientos, teniendo un total de 20 procesamientos, los cuales fueron distribuidos cada uno con una cantidad de GCP como se muestra en la tabla 6.

TABLA 6. Distribución del procesamiento.

VUELO	ESPECIFICACIÓN	PROCESAMIENTO N° GCP				
1	PILOT – D-RTK2 – DJI	0	1	3	5	10
2	PILOT – D-RTK2 – DRONESKY	0	1	3	5	10
3	PILOT – GNSS – DJI	0	1	3	5	10
4	PILOT – GNSS– DRONESKY	0	1	3	5	10

Ortofoto y modelo de elevación digital

Para comenzar con el procesamiento de fotografías obtenidas mediante el Drone, se deben sacar los puntos de control tomados desde el colector, pasando toda esta información a un computador para dar inicio al procesamiento en oficina; El procedimiento metodológico para generar la ortofoto y productos del proyecto lineal contiene los siguientes pasos:

1. Cargue de la data imágenes
2. Alineación de las imágenes
3. Calibración de las imágenes
4. Cargue y referenciación de puntos de control (GCP) sobre las imágenes
5. Generación de nube de puntos densa
6. Crear modelos de elevación (DSM)
7. Generar Ortofoto.

Cálculo de la magnitud de error

Para el cálculo de la magnitud del error de los GCP utilizados en cada procesamiento se observa en la tabla 7 la cantidad de GCP que se analizaron de los 21 puntos replanteados en campo, en el caso de 0 GCP se tuvieron en cuenta todos los 21 puntos GCP levantados en campo, para el caso de 1 punto GCP se tienen en cuenta 20 puntos GCP sin incluir el tomado para el procesamiento, para el caso de 3 puntos GCP se tienen en cuenta 18 puntos GCP sin incluir los 3 tomados para el procesamiento, para el caso de 5 puntos GCP se tienen en cuenta 16 puntos GCP sin incluir los 5 tomados para el procesamiento, finalmente, para el caso de 10 puntos GCP se tienen en cuenta 11 GCP sin incluir los 10 tomados para el procesamiento.

TABLA 7. Distribución de puntos GCP en procesamiento.

GCP DE PROCESAMIENTO	GCP A ANALIZAR
0	21
1	20
3	18
5	16
10	11

Para el cálculo del error se tienen en cuenta las coordenadas reales replanteadas y levantadas en campo con el equipo FOI A90 doble frecuencia de los 21 GCP y la ortofoto generada en el procesamiento con el Software Agisoft, se procede hacer el cargue de esta información en

el software ArcMap, luego se crea un shapefile de puntos virtuales los cuales son ubicados en el centro de cada una de las marcas creadas para los 21 GCP en la ortofoto, ver anexo 20, luego de ubicados los puntos virtuales se procede a extraer las coordenadas de X, Y de esos puntos y para las coordenadas Z se utiliza el modelo de elevación generado anteriormente en el Software Agisoft y mediante la herramienta extract multi evalúes se obtiene la elevación de esos puntos virtuales, al obtener las coordenadas X,Y,Z de los puntos tanto reales como virtuales, se procede a hacer el cálculo de la magnitud de error individualmente mediante las siguientes formulas:

$$DMagnNor = ABS[CNR - CNV] \quad 2$$

Donde: DmagnNor (m)= diferencia de magnitud norte (metros); CNR= coordenada norte real; CNV= coordenada norte virtual.

$$DMagnEste = ABS[CER - CEV] \quad 3$$

Donde: DmagnEste (m)= diferencia de magnitud Este (metros); CER= coordenada este real; CEV= coordenada este virtual.

$$DMagnEle = ABS[CELR - CELV] \quad 4$$

Donde: DmagnEle (m)= diferencia de magnitud de Elevación (metros); CER= coordenada de elevación real; CEV= coordenada de elevación virtual.

$$\begin{aligned} & \text{Magnitud de error} \\ & = \sqrt{(DmagnNor * DmagnNor) + (DmagnEste * DmagnEste) + (DmagnEle * DmagnEle)} \end{aligned} \quad 5$$

Donde= DmagnNor(m)= diferencia de magnitud norte (metros); DmagnEste= diferencia de magnitud Este (metros); DmagnEle= diferencia de magnitud de Elevación (metros).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cálculo y procesamiento de la información de los receptores GNSS

Para la georreferenciación los reportes generados en el postproceso indican una precisión. El postproceso se realizó mediante la herramienta Topcon Tools (demo), como resultado final las coordenadas de los puntos materializados en época de rastreo, 25 de mayo de 2022 son las siguientes:

TABLA 8. *Coordenadas planas MAGNA ORIGEN NACIONAL y Elipsoidales.*

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ell.Height (m)
GNSS01	1890833.475	4738701.715	485.653	3°00'33.94439"N	75°21'06.20223"W	509.119
GNSS02	1890834.975	4738615.404	480.528	3°00'33.98718"N	75°21'08.99730"W	504.001

Distribución y materialización de puntos de control terrestre (GCP)

Se puede observar en la tabla 9 los valores obtenidos del posicionamiento GNSS, de los 21 puntos GCP replanteados en las 20 ha del predio la sabana de la hacienda renacimiento.

TABLA 9. *Coordenadas Planas MAGNA_ORIGEN NACIONAL puntos de control GNSS.*

ID Punto	Norte	Este	Elevación
GCP1	1890858,121	4738746,099	502,672
GCP2	1890952,146	4738735,659	498,077
GCP3	1891072,954	4738639,317	494,562
GCP4	1891141,866	4738672,058	497,544
GCP5	1891146,451	4738555,325	493,010
GCP6	1891072,800	4738547,989	489,988
GCP7	1891060,019	4738457,471	489,053
GCP8	1891166,265	4738457,704	487,743
GCP9	1891242,891	4738455,653	489,681
GCP10	1890954,417	4738453,192	495,644
GCP11	1890961,226	4738555,478	495,005
GCP12	1890960,070	4738654,745	497,237
GCP13	1890861,928	4738657,338	501,398
GCP14	1890859,368	4738554,967	499,921
GCP15	1890859,334	4738454,733	494,968
GCP16	1890763,005	4738455,663	494,960
GCP17	1890757,838	4738553,969	496,873
GCP18	1890752,426	4738654,774	496,345
GCP19	1890654,697	4738651,826	494,259
GCP20	1890661,448	4738756,198	498,499
GCP21	1890759,578	4738755,416	500,943

Cálculo de la magnitud de error usando 0 puntos GCP

En la figura 2, se presenta el comportamiento de los resultados obtenidos en cuanto a la magnitud de error calculadas para los 21 puntos GCP usados durante los cuatro vuelos realizados, en el eje X se encuentran enumerados los puntos GCP, mientras que en el eje Y se encuentran los rangos obtenidos en cuanto a la magnitud de error, en cada una de las 4 sub figuras.

Se puede observar que los resultados obtenidos en cuanto a los vuelos 1 y 2 (vuelos realizados con antena D-RTK2-DJI) presentaron un rango de comportamiento en la magnitud de error mucho menor respecto a los vuelos 3 y 4 (vuelos realizados sin antena D-RTK2-DJI). De igual forma, se puede analizar que los vuelos realizados bajo los parámetros establecidos por la empresa DroneSky (vuelo 2 y 4) presentaron medias de error menores, con valores de 1.94 m (vuelo 2 con antena D-RTK2-DJI) y de 8.32 m (vuelo 4 sin antena) respecto a los resultados obtenidos bajo los parámetros de la empresa fabricante DJI los cuales presentaron medias de comportamiento de 3.79 (vuelo 1 con antena D-RTK2-DJI) y de 9.48 (vuelo 3 sin antena). Estos resultados nos indican que para levantamientos fotogramétricos realizados bajo la utilización de 0 puntos GCP, se debe hacer uso de la antena D-RTK2-DJI y los parámetros establecidos por la empresa DroneSky, sin embargo, a partir de los resultados obtenidos en las 4 subgráficas, no es recomendable realizar los levantamientos fotogramétricos bajo ninguno de los cuatro parámetros expuestos, ya que, trabajar levantamientos fotogramétricos de precisión con una magnitud de error mayor a 1.5 m no es aceptable.

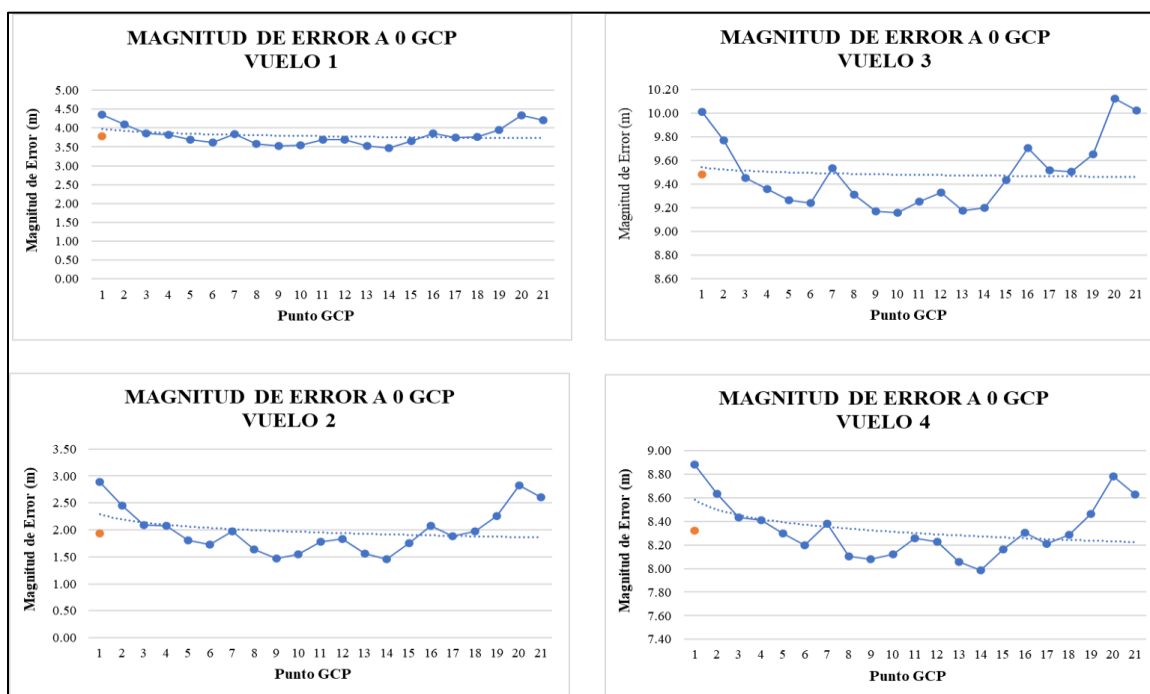


FIGURA 2. Comportamiento con 0 GCP.

Cálculo de la magnitud de error usando 1 puntos GCP

En la figura 3, se presenta el comportamiento de los resultados obtenidos en cuanto a la magnitud de error calculadas para los 20 puntos GCP usados durante los cuatro vuelos realizados exceptuando el punto GCP 9 (punto de amarre usado durante todos los vuelos y designado de color rojo en las 4 sub figuras), en el eje X se encuentran enumerados los puntos GCP, mientras que en el eje Y se encuentran los rangos obtenidos en cuanto a la magnitud de error, en cada una de las 4 sub figuras.

Se puede observar que los resultados obtenidos en cuanto a los vuelos 1 y 2 (vuelos realizados con antena D-RTK2-DJI) presentaron un rango de comportamiento mucho menor respecto a los vuelos 3 y 4 (vuelos realizados sin antena D-RTK2-DJI), presentado un comportamiento similar a los resultados presentados en la figura 1. De igual forma, se puede analizar que los vuelos realizados bajo los parámetros establecidos por la empresa DroneSky (vuelo 2 y 4) presentaron medias de error mayores, con valores de 0.48 m (vuelo 2 con antena D-RTK2-DJI) y de 0.81 m (vuelo 4 sin antena) respecto a los resultados obtenidos bajo los parámetros de la empresa fabricante DJI los cuales presentaron medias de error de 0.36 m (vuelo 1 con antena D-RTK2-DJI) y de 0.69 m (vuelo 3 sin antena). Estos resultados nos indican que para levantamientos fotogramétricos realizados bajo la utilización de 1 punto GCP, se debe hacer uso de la antena D-RTK2-DJI y los parámetros establecidos por la empresa DJI.

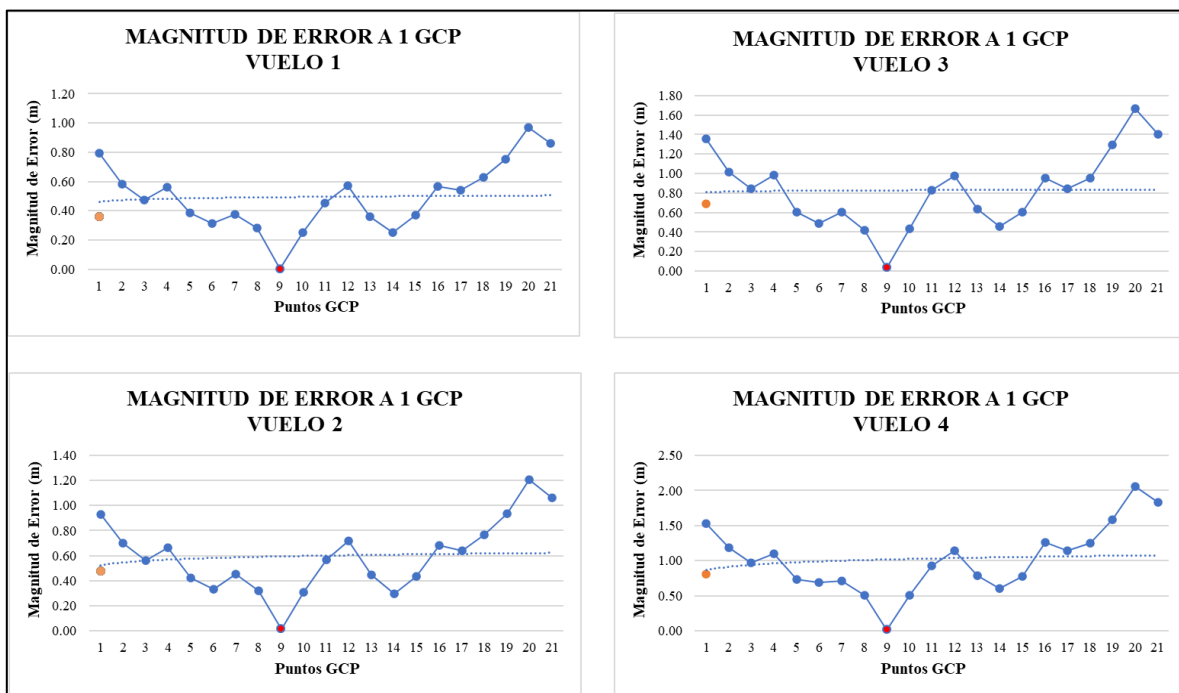


FIGURA 3. Comportamiento con 1 GCP.

Cálculo de la magnitud de error usando 3 puntos GCP

En la figura 4, se presenta el comportamiento de los resultados obtenidos en cuanto a la magnitud de error calculadas para los 18 puntos GCP usados durante los cuatro vuelos realizados exceptuando los puntos GCP 1, 16 y 20 (puntos de amarre usados durante todos

los vuelos y designados de color rojo en las 4 sub figuras), en el eje X se encuentran enumerados los puntos GCP, mientras que en el eje Y se encuentran los rangos obtenidos en cuanto a la magnitud de error, en cada una de las 4 sub figuras.

Se puede observar que los resultados obtenidos en cuanto a los vuelos 1 y 2 (vuelos realizados con antena D-RTK2-DJI) presentaron un rango de comportamiento mucho menor respecto a los vuelos 3 y 4 (vuelos realizados sin antena D-RTK2-DJI). De igual forma, se puede analizar que los vuelos realizados bajo los parámetros establecidos por la empresa DroneSky (vuelo 2 y 4) presentaron medias de error menores, con valores de 0.026 m (vuelo 2 con antena D-RTK2-DJI) y de 0.041 m (vuelo 4 sin antena) respecto a los resultados obtenidos bajo los parámetros de la empresa fabricante DJI los cuales presentaron medias de error de 0.057 m (vuelo 1 con antena D-RTK2-DJI) y de 0.041 m (vuelo 3 sin antena). Estos resultados nos indican que para levantamientos fotogramétricos realizados bajo la utilización de 3 puntos GCP, se debe hacer uso de la antena D-RTK2-DJI y los parámetros establecidos por la empresa DroneSky.

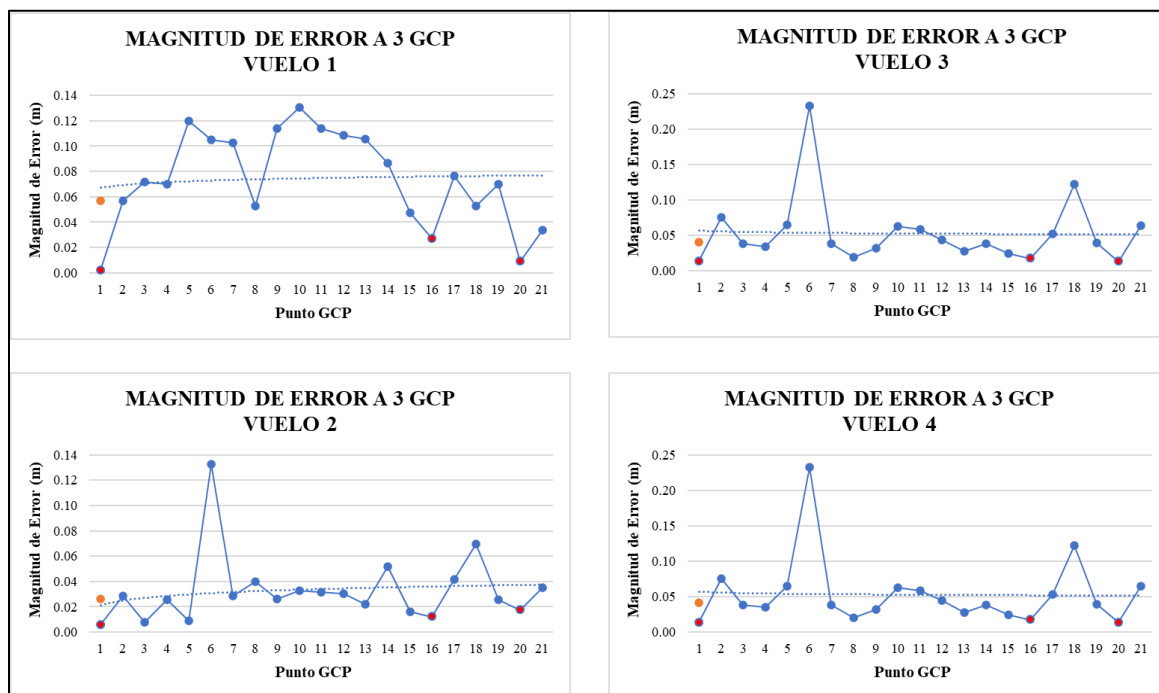


FIGURA 4. Comportamiento con 3 GCP.

Cálculo de la magnitud de error usando 5 puntos GCP

En la figura 5, se presenta el comportamiento de los resultados obtenidos en cuanto a la magnitud de error calculadas para los 16 puntos GCP usados durante los cuatro vuelos realizados exceptuando los puntos GCP 1, 4, 9, 16 y 20 (puntos de amarre usados durante todos los vuelos y designados de color rojo en las 4 sub figuras), en el eje X se encuentran enumerados los puntos GCP, mientras que en el eje Y se encuentran los rangos obtenidos en cuanto a la magnitud de error, en cada una de las 4 sub figuras.

Se puede observar que los resultados obtenidos en cuanto a los vuelos 1 y 2 (vuelos realizados con antena D-RTK2-DJI) presentaron un rango de comportamiento mucho menor respecto a

los vuelos 3 y 4 (vuelos realizados sin antena D-RTK2-DJI). De igual forma, se puede analizar que los vuelos realizados bajo los parámetros establecidos por la empresa DroneSky (vuelo 2 y 4) presentaron medias de error menores, con valores de 0.024 m (vuelo 2 con antena D-RTK2-DJI) y de 0.031 m (vuelo 4 sin antena) respecto a los resultados obtenidos bajo los parámetros de la empresa fabricante DJI los cuales presentaron medias de error de 0.025 m (vuelo 1 con antena D-RTK2-DJI) y de 0.031 m (vuelo 3 sin antena). Estos resultados nos indican que para levantamientos fotogramétricos realizados bajo la utilización de 5 puntos GCP, se debe hacer uso de la antena D-RTK2-DJI y los parámetros establecidos por la empresa DroneSky.

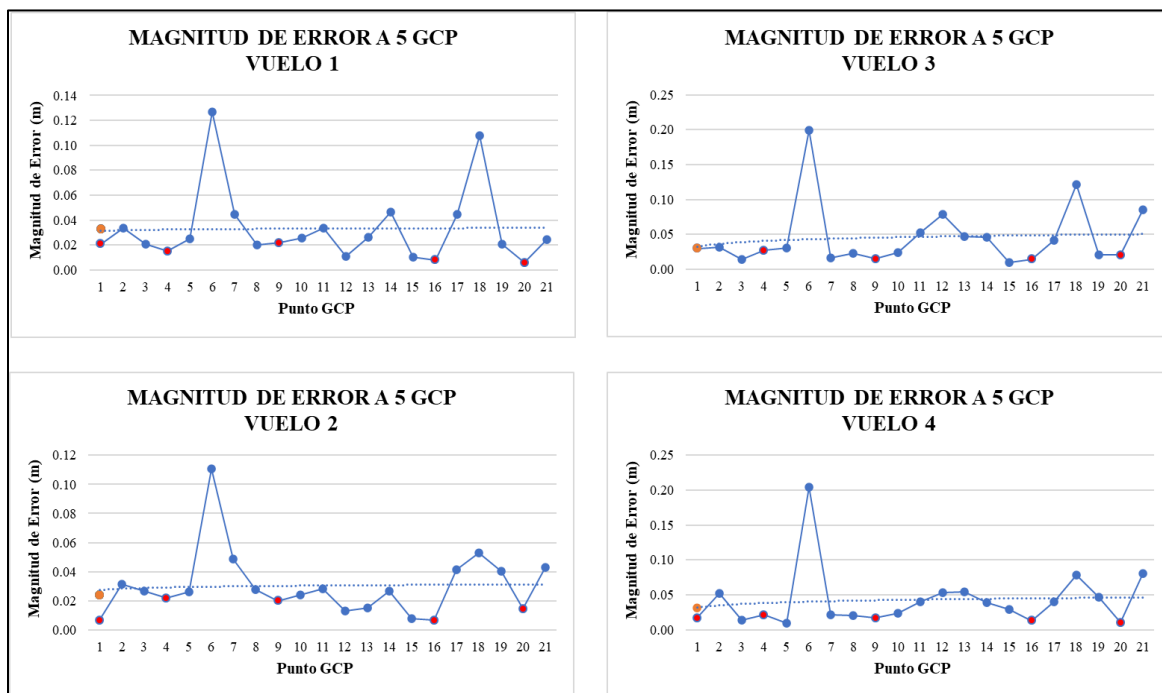


FIGURA 5. Comportamiento con 5 GCP.

Cálculo de la magnitud de error usando 10 puntos GCP

En la figura 6, se presenta el comportamiento de los resultados obtenidos en cuanto a la magnitud de error calculadas para los 11 puntos GCP usados durante los cuatro vuelos realizados exceptuando los puntos GCP 1, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 (puntos de amarre usados durante todos los vuelos y designados de color rojo en las 4 sub figuras), en el eje X se encuentran enumerados los puntos GCP, mientras que en el eje Y se encuentran los rangos obtenidos en cuanto a la magnitud de error, en cada una de las 4 sub figuras.

Se puede observar que los resultados obtenidos en cuanto a los vuelos 1 y 2 (vuelos realizados con antena D-RTK2-DJI) presentaron un rango de comportamiento mucho menor respecto a los vuelos 3 y 4 (vuelos realizados sin antena D-RTK2-DJI). De igual forma, se puede analizar que los vuelos realizados bajo los parámetros establecidos por la empresa DroneSky (vuelo 2 y 4) presentaron medias de error menores, con valores de 0.026 m (vuelo 2 con antena D-RTK2-DJI) y de 0.029 m (vuelo 4 sin antena) respecto a los resultados obtenidos bajo los parámetros de la empresa fabricante DJI los cuales presentaron medias de error de

0.033 m (vuelo 1 con antena D-RTK2-DJI) y de 0.035 m (vuelo 3 sin antena). Estos resultados nos indican que para levantamientos fotogramétricos realizados bajo la utilización de 10 puntos GCP, se debe hacer uso de la antena D-RTK2-DJI y los parámetros establecidos por la empresa DroneSky, sin embargo, cabe resaltar que los resultados obtenidos bajo el uso de los 10 puntos GCP produjo un aumento en la media de error respecto a los resultados obtenidos mediante el uso de 5 puntos GCP.

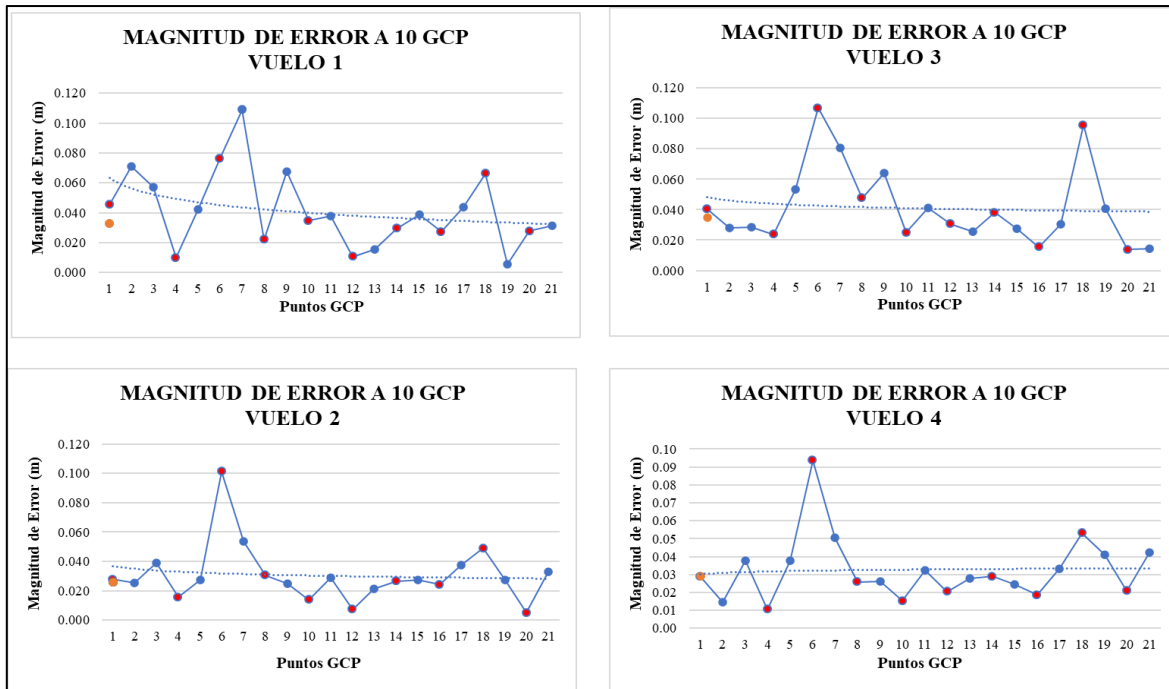


FIGURA 6. Comportamiento con 10 GCP.

CONCLUSIONES

Se pudo analizar que durante toda la investigación el uso de la antena D-RTK2-DJI y los parámetros diseñados por la empresa DroneSky reducen significativamente la magnitud de error presentada durante los diferentes levantamientos fotogramétricos.

Sin embargo, a partir de lo expuesto en este trabajo, no es recomendable realizar los levantamientos fotogramétricos bajo ninguno de los cuatro parámetros expuestos en el método de utilización de 0 puntos GCP, ya que, aunque los parámetros utilizados por la empresa DroneSky disminuyeron los márgenes de error respecto a los parámetros expuestos por la empresa fabricante DJI, todos los procesamientos indicaron márgenes de error superiores a los 1.94 m, por tanto, trabajar levantamientos fotogramétricos de precisión con una magnitud de error mayor a 1.5 m no es aceptable.

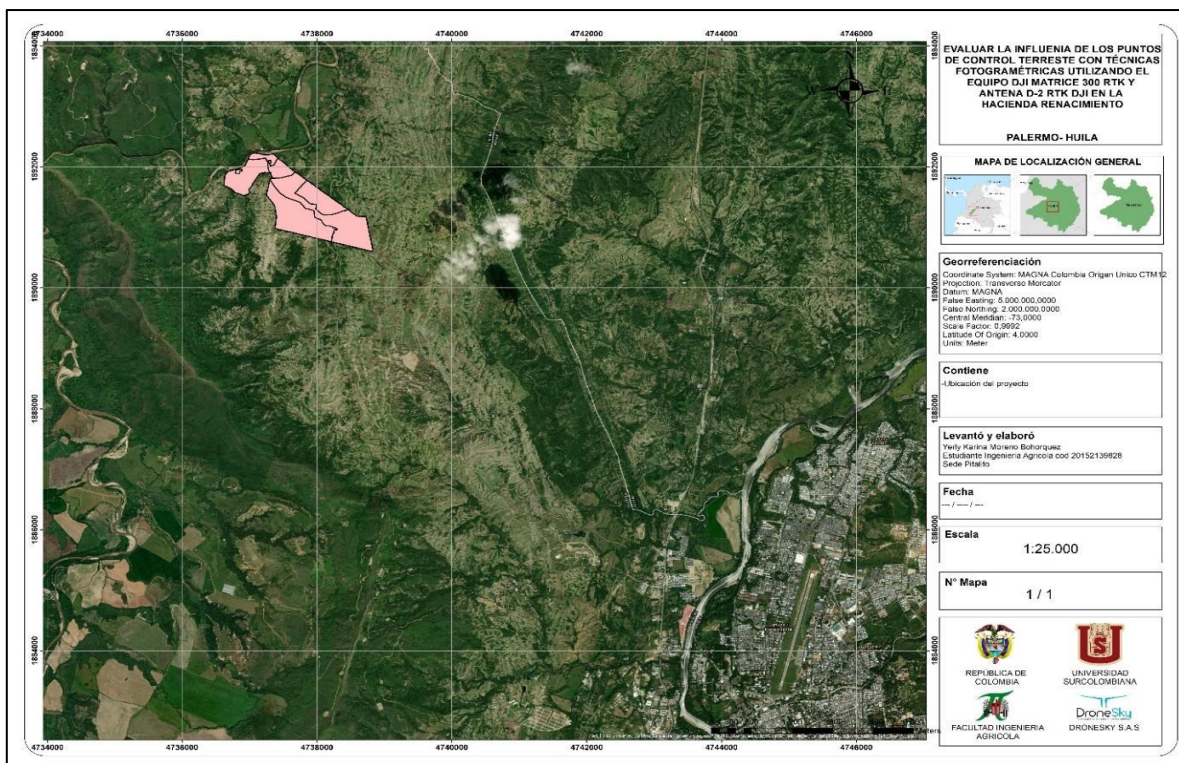
Mediante el análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los levantamientos fotogramétricos realizados, la implementación de 5 puntos GCP haciendo uso de la antena D-RTK2-DJI y los parámetros establecidos por la empresa DroneSky, presentaron los mejores resultados obteniendo bajo estos parámetros una magnitud de error de 0.024 m.

Así mismo, los resultados de esta investigación demostraron que, aunque el aumento en el uso de puntos GCP disminuyó el margen de error en más del 98% (usando 10 puntos GCP respecto a 0 puntos GCP y haciendo uso de los parámetros de la empresa DroneSky y la antena D-RTK2-DJI) tanto la escasez como el exceso en el uso de puntos GCP ayuda a aumentar el error respecto al uso idóneo en el número de puntos GCP que para este caso fue de 5 en un área de 20 hectáreas.

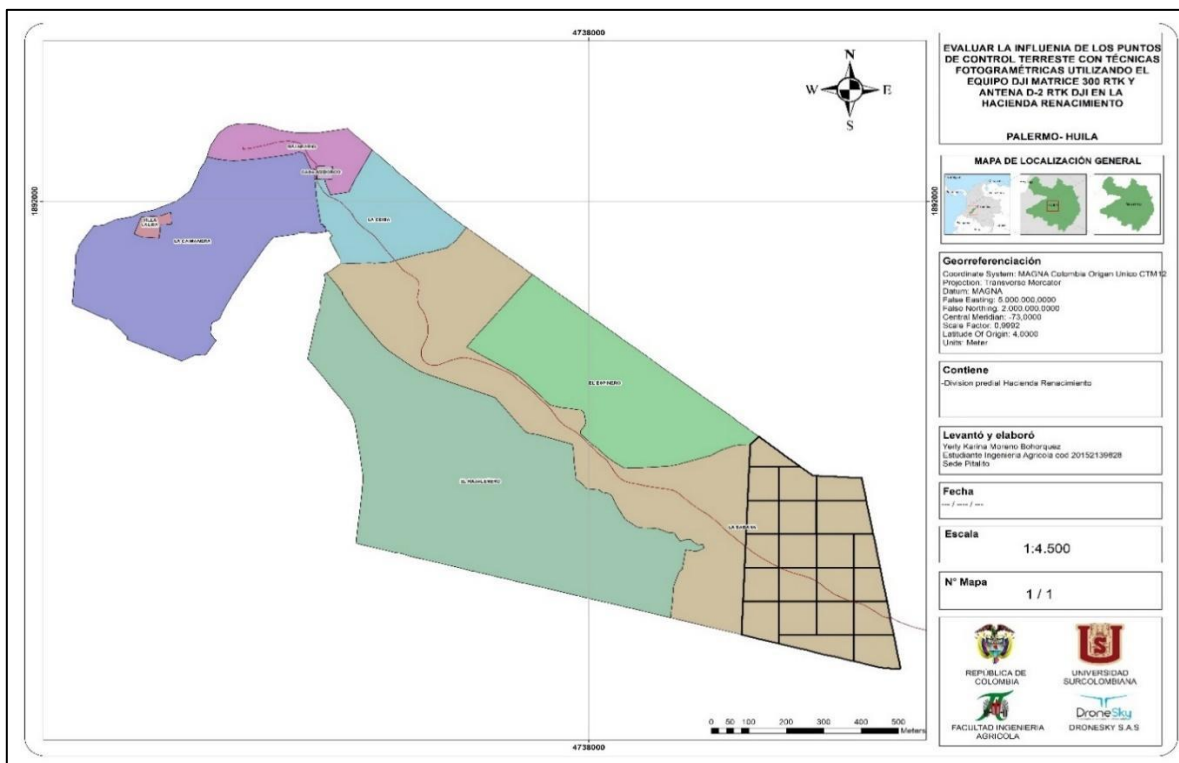
BIBLIOGRAFIA

- FangJian, S. (2021). *Obtención De Cartografía Vectorial a Partir De Diversas Técnicas De Obtención De Nubes De Puntos Tridimensionales*.
- Fernández, A., Quintano, C., & Calvo, L. (2017). *Diseño e implementación de un VANT (Vehículo Aéreo No-Tripulado, Unmanned Aerial Vehicle, UAV) multisensor para estudios post-incendio en entornos forestales*.
- FOIF. (2018). *FOIFA90 GNSS*. <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- García Flores, P., & Ortiz de Elguea, E. (2012). *Influencia del GSD en la orientación de un bloque fotogramétrico*. 170.
- Guevara, M., Meza, A. S., Esquivel, E. A., Arias, D., Tapia, A., & Masís Meléndez, F. (2020). Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANTs) para el monitoreo y manejo de los recursos naturales: una síntesis. *Revista Tecnología En Marcha*, 33, 77–88. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i4.4528>
- Hastaoğlu, K. Ö., Gül, Y., Poyraz, F., & Kara, B. C. (2019). Monitoring 3D areal displacements by a new methodology and software using UAV photogrammetry. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 83(June), 101916. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101916>
- Hemmelder, S., Marra, W., Markies, H., & De Jong, S. M. (2018). Monitoring river morphology & bank erosion using UAV imagery – A case study of the river Buëch, Hautes-Alpes, France. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73(April), 428–437. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.07.016>
- Instituto Geografico Agustin Codazzi. (2004). *Adopción del marco Geocéntrico Nacional de referencia* *Magna* - *Sirgas*. <http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/4b831c00469f7616afeebf923ecdf8fe/adopcion.pdf?MOD=AJPERES>
- Maier, P. M., & Keller, S. (2019). ESTIMATING CHLOROPHYLL A CONCENTRATIONS OF SEVERAL INLAND WATERS WITH HYPERSPECTRAL DATA AND MACHINE LEARNING MODELS. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-2/W5(2/W5), 609–614. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W5-609-2019>
- Quiroga Velásquez, J. T., & Macana Tuta, E. (2019). *Análisis de la exactitud posicional de productos cartográficos generados con imágenes adquiridas por medio de plataformas aéreas no tripuladas*. 8(5), 55.
- Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2012). An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery, based on Structure from Motion (SFM) point clouds. *Remote Sensing*, 4(5), 1392–1410. <https://doi.org/10.3390/rs4051392>
- Velasco, J., García-nieto, S., Reynoso, G., & Sanchis, J. (2012). *Desarrollo y evaluación de una estación de control de tierra para vehículos aéreos no tripulados*. 451–456.

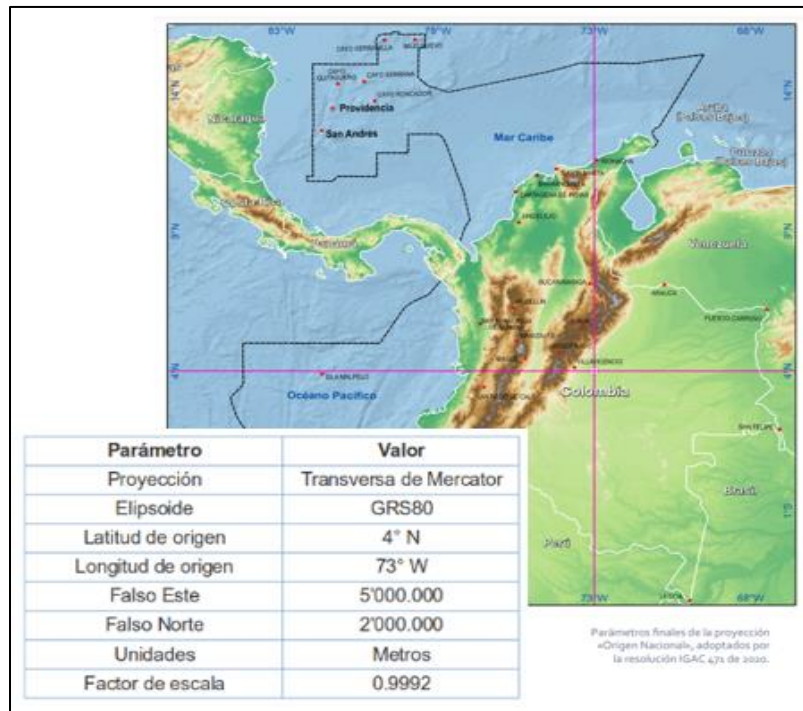
ANEXOS



ANEXO 1. Ubicación del proyecto.



ANEXO 2. Ubicación del área de interés en la Hacienda Renacimiento.



ANEXO 3. *Parámetros de la proyección Origen Nacional, adoptados por la resolución IGAC 473 de 2020.*



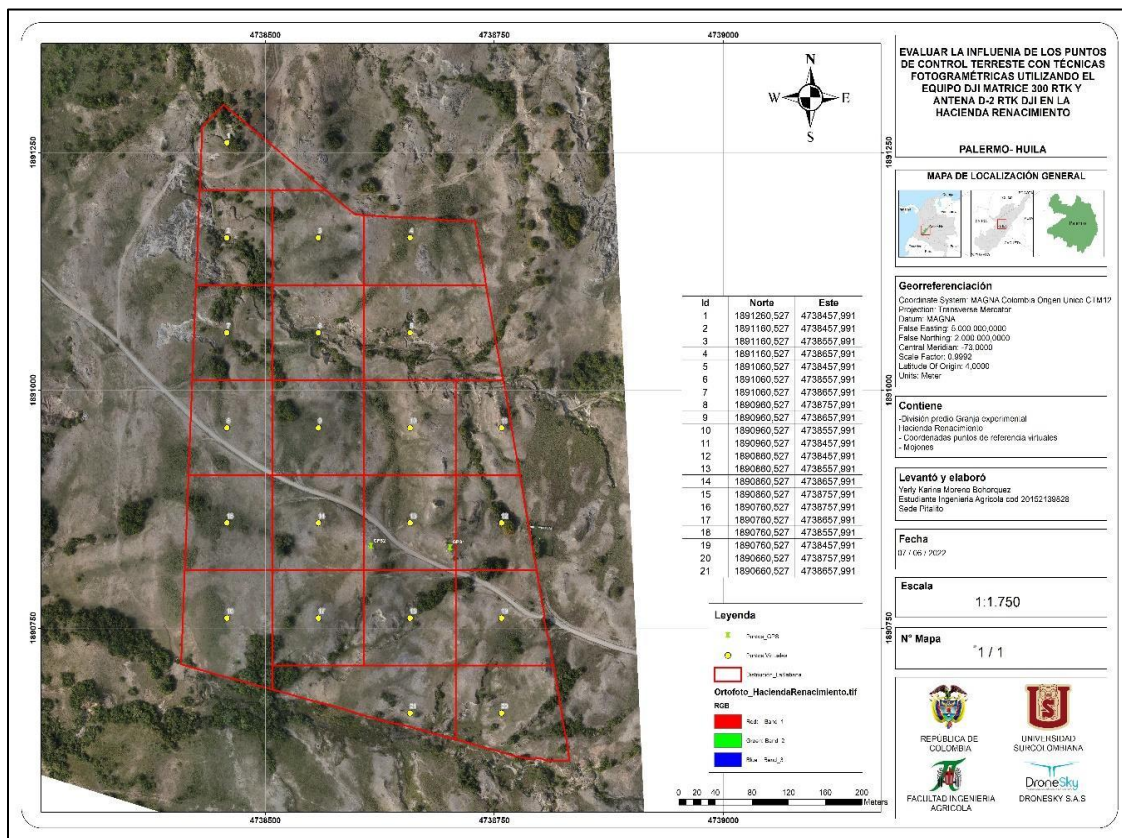
ANEXO 4. *Receptor GNSS doble frecuencia FOIF 090*



ANEXO 5. Materialización de mojones.



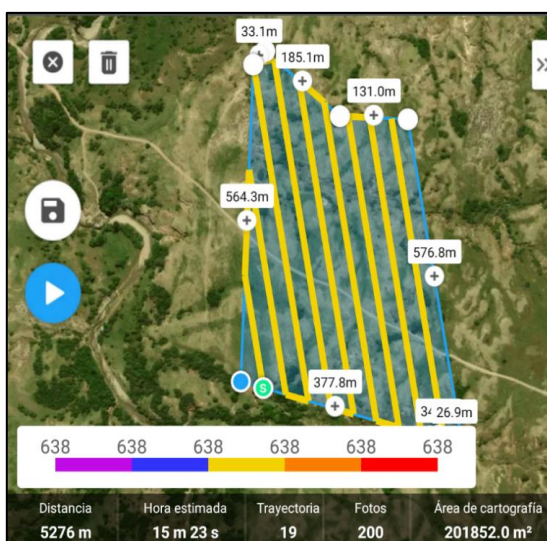
ANEXO 6. Georreferenciación GNSS01 y GNSS02.



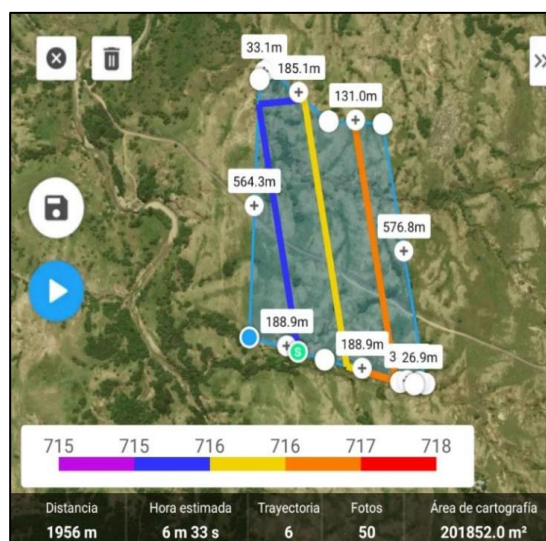
ANEXO 7. Ubicación de puntos de control virtuales en el área de estudio.



ANEXO 8. Preseñalizado y posicionamiento con GNSS de precisión.



ANEXO 9. Ruta de vuelo fotogramétrico con parámetros descriptos por DroneSky.



ANEXO 10. Ruta de vuelo fotogramétrico con parámetros descriptos por DJI.

HOJA DE CAMPO PARA OBSERVACIONES GNSS										FECHA: 25/05/2022	
DEPARTAMENTO: HUILA					MUNICIPIO: PALERMO						
PREDIO: HACIENDA RENACIMIENTO					PUNTO: GNSS02						
TIPO DE LEVANTAMIENTO					TIPO DE PUNTO						
ESTÁTICO ☒ ESTÁTICO RÁPIDO ☐ CINEMÁTICO ☐					Punto Geodésico ☐ Punto Topográfico Base ☒						
EQUIPO										OPERADOR	
		Marca		Modelo		Serial		YERLY KARINA MORENO BOHORQUEZ Nombre			
RECEPTOR		FOIF		A90		A90014811014					
ANTENA		FOIF		A90		A90014811014					
REGISTRO DE FUNCIONAMIENTO EN CAMPO							MEDICIÓN DE LA ALTURA				
HORA	No. EPOCAS	GDOP	MEMORIA	BATERÍAS (%)			Trípode:  Bastón:  Pilastra:  Otro: 				
				A	B	EXT					
12:14:04							Inicio _____ m Final _____ m				
01:41:12							Inicio <u>2</u> _____ m Final <u>2</u> _____ m				
							Inicio _____ m Final _____ m				
							Inicio _____ m Final _____ m				
							Inicio _____ m Final _____ m				
							Inicio _____ m Final _____ m				
							Inclinada ☐ Vertical ☒ Vertical GHM007 ☐				
POSICIÓN NAVEGADA				LATITUD			LONGITUD (W)			ALTURA (m)	
				Inicial	°	′	" N ☐ S ☐	°	′	"	
				Final	°	′	" N ☐ S ☐	°	′	"	
OBSERVACIONES: DÍA SOLEADO, BUENAS CONDICION ATMOSFERICA, EL EQUIPO NO POSEE DISPLAY INICIO SESION: 12:14:04 FIN SESION: 01:41:12											

ANEXO 12. Hoja de campo para observaciones GNSS02



ANEXO 13. Drone Matrice 300 DJI.

ANEXO 14. Especificaciones Drone Matrice 300 DJI.

MATRICE 300 RTK DJI	
Modelo	Matrice 300 RTK
Distancia máxima de transmisión (km)	15
Tiempo máximo de vuelo (min)	55
Velocidad máxima de vuelo (m/seg)	23
Altura máxima de operación (m.s.n.m.)	7000
Índice de Protección	IP45
GNSS	GPS+GLONASS +BeiDou+Galileo



ANEXO 15. Cámara Zenmuse P1 DJI.

ANEXO 16. Especificaciones Cámara Zenmuse P1 DJI

CAMARA ZENMUSE P1 DJI	
Modelo	Zenmuse P1
Resolución	8192 x 5460
Distancia focal	35 mm
Sensor de fotograma completo	45 MP
Obturador mecánico global3	1/2000 segundos.
Velocidad de obturación	0.7 segundos



ANEXO 17. Antena D-2 RTK DJI.

ANEXO 18. Especificaciones Antena D-2 RTK DJI.

Modelo	D-RTK 2
Distancia máxima de transmisión (km)	6
Inicio fresco	< 45 seg
Arranque en caliente	< 10 seg
Precisión de posicionamiento	Horizontal: 1 cm + 1 ppm (RMS) Vertical: 2 cm + 1 ppm (RMS) 1 ppm: Por cada aumento de 1 km en la distancia, la precisión será 1 mm menos. Por ejemplo, la precisión horizontal es de 1,1 cm cuando el extremo receptor está a 1 km de la estación base.
Frecuencia GNSS	GPS: L1 C/A, L2, L5 BEIDOU: B1, B2, B3 GLONASS: F1, F2 Galileo: E1, E5A, E5B
GNSS	GPS+GLONASS+BeiDou+Galileo

FOIF A90 GPS RTK SYSTEM data sheet	
GNSS Singal Track	555 channels GPS L1,C/A,L2E, L2C, L5 GLONASS L1,C/A,L1P, L2,C/A ,L2P,L5; BDS B1 B2 B3 SBAS(WAAS,MSAS,ENGOS)L1,C/A,L5; GLOVE-A\B L1 BOC(CBOC)-E5A/B, E5AltBOC RTCM2.3, RTCM3.X, RTCM3.2, CMR, CMR+
Receiver accuracy	
Static post processing accuracy	H:±2.5mm+1×10 ·D;V:±5.0mm+1×10 ·D
RTK Positiong accuracy	H: ±8mm+1×10 ·D; V:±15mm+1×10 ·D
Code different positioning accuracy	0.45m
Single point positioning	1.5m
DATA LINK	
TX/RX Radio	Internal radio RX/TX 5KM-10KM
External radio	FOIF external radio Rx & Tx(FDL5, 2/35W selectable) 50KM WORKING RANGE
WIFI	WIFI connect controller WEB UI wireless management GNSS upgrating/downloading/setting/base&rover configuration
3G/4G	GSM/GPRS/EDGE (class 10) Quad-band -GSM/GPRS: 850/900/1800/1900MHz band CDMA(Optional)
OTHERS	
Battery	7.2V 3400mAh 2pcs standard; Indicable for volumn Compatible with controlle battery;
Display	4 led light; 1 button key; Voice
NFC Survey	Internal electrical Bubble; Capacity for second general NFC Survey
Memory	4G
Interface	RS232*2 / Bluetooth *1 / USB*1 SIM *1 / TF*1 / Internet *1
Anti-dust & Anti-water	IP68
Temperature	working model:-40°C~+80°C store model:-55°C~+85°C

ANEXO 19. Especificaciones receptor FOIF 090: Fuente (FOIF, 2018).



ANEXO 20. Ubicación de punto virtual y real en utilización de 0 GCP.