Identificación de la cantidad de puntos de control 125 para repositorio

por Carlos, Luis Y Oscar Ríos, Medina Y Almeida

Fecha de entrega: 09-dic-2022 12:16p.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 1976499290
Nombre del archivo: Final_Trabajo_Grado_Rios,_Medina_y_Almeida_para_repositorio.pdf (1.07M)
Total de palabras: 12129
Total de caracteres: 71859

Identificación de la cantidad de puntos de control que optimicen un levantamiento fotogramétrico para diferentes características de terreno por medio de un análisis comparativo de precisiones. Caso de estudio la Mesa de los Santos en el año 2021

Modalidad: Proyecto de Investigación

Carlos Hernando Ríos Ferreira
91.488.634
Luis Enrique Medina Navarro
1.098.608.938
Oscar Javier Almeida Espinosa
91.352.174

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga, 06 diciembre 2022

Identificación de la cantidad de puntos de control que optimicen un levantamiento fotogramétrico para diferentes características de terreno por medio de un análisis comparativo de precisiones. Caso de estudio la Mesa de los Santos en el año 2021

Proyecto de Investigación

Carlos Hernando Ríos Ferreira
91.488.634
Luis Enrique Medina Navarro
1.098.608.938
Oscar Javier Almeida Espinosa
91.352.174

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniería en Topografía

DIRECTOR
Carlos Esteban Mora Chaves

Grupo de investigación en Medio Ambiente y Territorio
UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga 06 diciembre 2022

Nota de Aceptación

El proyecto de grado cumple con todos los criterios e indicadores de evaluación

_____

_____

_____

_____



_____

Firma del Evaluador



_____

Firma del Director

DEDICATORIA

A todas aquellas personas que nos brindaron su colaboración, y nos han ayudado a crecer como persona, y que siempre han estado ahí cuando las hemos necesitado y especialmente a Dios por protegernos durante todo el camino y darme esa fuerza para superar cualquier obstáculo y dificultad que se interpusieron en el camino.

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto de grado fue realizado con esfuerzo y dedicación, en el que directa o indirectamente participaron varias personas que lo hicieron posible. Le queremos agradecer primero que todo a Dios y a nuestras familias, por el apoyo que siempre nos han brindado desde que comenzamos a estudiar la carrera, por siempre acompañarnos incondicionalmente, y estar allí ayudándonos a salir adelante. A las Unidades Tecnológicas de Santander y en especial al Docente Carlos Esteban Mora Chaves por haber puesto su confianza, su dedicación, consejos, paciencia, sus orientaciones, y el continuo apoyo que nos brindó, sin dejar atrás su motivación que fue fundamental para llevar a cabo y realizar este trabajo de grado.

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO **10**

INTRODUCCIÓN **11**

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN **13**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **13**
1.2. JUSTIFICACIÓN **15**
1.3. OBJETIVOS **16**
1.3.1. OBJETIVO GENERAL 16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16
1.4. ESTADO DEL ARTE **17**

2. MARCO REFERENCIAL **23**

2.1. MARCO TEÓRICO **23**
2.1.1. DEFINICIÓN DE TOPOGRAFÍA 23
2.1.2. GEORREFERENCIACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL 24
2.1.3. GEODESIA 24
2.1.4. SISTEMA DE AERONAVE PILOTADA A DISTANCIA (RPAS) 25
2.1.5. FOTOGRAMETRÍA 25
2.1.6. MÉTODO INDIRECTO: GPS DE DOBLE FRECUENCIA INTRODUCCIÓN AL GPS 26
2.2. MARCO NORMATIVO **27**

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION **29**

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO **30**

4.1. METODOLOGIA LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO: **30**
4.1.1. IDENTIFICACIÓN Y RECONOCIMIENTO DEL SITIO PARA REALIZAR LAS ACTIVIDADES: ... 30
4.2. PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO: **36**
4.2.1. GEORREFERENCIACIÓN: 36
4.2.2. CALCULO DE DATOS CRUDOS ESTACIÓN TOTAL: 36
4.2.3. CREACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE TERRENO: 37
4.3. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DE DATOS DE CAMPO **38**
4.3.1. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 39
4.3.2. PLAN DE VUELO 40
4.3.3. TRABAJOS DE CAMPO 41
4.3.4. VUELO FOTOGRAMÉTRICO 44

4.3.5. TRABAJOS DE OFICINA 45

5. RESULTADOS 50

6. CONCLUSIONES 52

7. RECOMENDACIONES 54

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 55

9. ANEXOS 59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio 30
Figura 2. Descripción punto de red pasiva 31
Figura 3. Imagen punto red pasiva IGAC GPS-ST-85 32
Figura 4. Toma de altura instrumental del equipo GNSS armado en el punto del IGAC .. 32
Figura 5. GPS # 1 Equipo Hipper V topcon 33
Figura 6. GPS # 2 Equipo Hi-Target V30 Plus 34
Figura 7. Levantamiento planimétrico y altimétrico con estación total. 35
Figura 8. Procesamiento información equipos con el software HGO de Hi-Target 36
Figura 9. Procesamiento con el software Topcon 37
Figura 10. Modelo digital del terreno AutoCAD civil 3D 38
Figura 11. Metodología Fotogrametría 39
Figura 12. Delimitación del área de estudio 40
Figura 13. Dron DJI Phantom 4 Pro V2.0 42
Figura 14. Localización de 17 puntos de fotocontrol o GCP 42
Figura 15. Ejemplo archivo KMZ con la localización de las fotografías aéreas 44
Figura 16. Productos fotogramétricos resultantes del procesamiento de las aerofotografías 45
Figura 17. Nube 17 puntos con 18.544.980 puntos 46
Figura 18. MDS de la zona de estudio 47
Figura 19. MDT fusionado de la zona de estudio 48
Figura 20. Ortoimagen de la zona de estudio con GSD=1.4 cm 49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de metodología 29
Tabla 2. Descripción punto de red pasiva 31
Tabla 3. Características del plan de vuelo 41
Tabla 4. Datos 25 GCP 43

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento expone el proyecto de grado el cual tenía como propósito presentar un análisis de levantamientos a partir de RPAS, utilizando un plan de vuelo a diferentes alturas y variación en la cantidad de puntos de control en los diferentes terrenos, con el fin de elaborar un informe técnico el cual permite establecer la mejor configuración para los levantamientos fotogramétricos por medio de un análisis comparativo de precisiones en la Mesa de los Santos en el año 2022. Para esto se enfocó en la obtención y procesamiento de imágenes, obtenidas por medio de DRON1 y DRON2 tipo DJI Phantom 4 Pro V2.0 con una cámara digital de 20 megapixeles con un lente de 8.8 mm.

Dentro de los resultados se logró evidenciar grandes cambios en la diferencia de promedios, tomando 3 puntos de control con respecto a los de 8 puntos de control, y se concluyó que los resultados son confiables teniendo en cuenta el rango de confiabilidad de la exactitud vertical absoluta obtenida del RMSE que significa error medio cuadrático, según la resolución IGAC 471 del 14 de mayo de 2020, con un nivel de conformidad del 95%.

Según los valores declarados en los cálculos obtenidos, para un GSD de 1.4 cm el MDT es conforme. Además, se concluyó que para un terreno con dimensiones similares a las del proyecto, 3 puntos de control son suficientes, sin olvidar que es importante conocer el valor de los errores y precisiones de cada uno de los datos geográficos para poder tomar decisiones en cuanto a la generación de productos cartográficos.

PALABRAS CLAVE: Geomática, Fotogrametría, Topografía, Geodesia, Sistema de Posicionamiento Global GPS.

INTRODUCCIÓN

La topografía es parte fundamental se basa esencialmente en la geometría plana, geometría del espacio, trigonometría y las matemáticas en general. Algunos autores mencionan que la topografía es "La ciencia y el arte de realizar las mediciones necesarias para determinar la posición relativa de puntos sobre, en, o debajo de la superficie terrestre, así como para situar puntos en una posición concreta". (del Río Santana, Gómez Córdova, López Carrillo, Saenz Esqueda, & Espinoza Fraire, 2020)

Por otra parte, las aeronaves no tripuladas se desarrollaron para obtener versatilidad, ventajas locativas, velocidad, mayor cantidad de información, mayor diversificación de información y seguridad al no poner en riesgo la vida de la persona que opera al equipo (INVIAS, 2016); el objeto básico de obtener información por medio de equipos no tripulados recolectarla en poco tiempo y de una manera segura y económica, es decir llegando a zonas donde se posee demasiado riesgo para un trabajador, y como lo enseña (Calleja, P, 2016), los vehículos aéreos combinados con cámaras digitales, permiten tomar información de forma rápida y asequible económicamente, con la obtención de algoritmos se logrará superponer cientos de fotos para producir nubes de puntos, estas ventajas lo hacen más atractivo a la hora de ejecutar un levantamiento. (NIETO ORTEGA & BECERRA TRIANA, 2019);

Debido a que la principal cualidad de esta técnica es la flexibilidad para realizar diferentes funciones, se encuentran en amplios campos de acción como los son la agricultura, movimientos de tierra, gestión de desastres, seguridad, cine, gestión de tráfico, control de obra, sistemas de información geográfica (SIG), calidad del aire, hidrología, extinción de incendios forestales, control de obras y evaluación de impactos, control de patrimonio cultural, entre otros.

El RPAS al ser una tecnología emergente y considerada relativamente nueva, su aceptación técnica dentro de muchos ámbitos de levantamientos fotogramétricos y topográficos y, la definición de estándares y procedimientos aún se encuentra en una fase de conceptualización y desarrollo, además que la documentación que se encuentra es muy escasa y no existen procedimientos o normas técnicas asociadas que ayuden a definir o establecer los lineamientos y parámetros bajo los cuales se deben realizar este tipo de levantamiento en diferentes tipos de terrenos, por lo que la finalidad del proyecto es la identificación de la cantidad de punto del control que optimicen un levantamiento fotogramétrico mediante el levantamiento topográfico en la Mesa de Los Santos utilizando un plan de vuelo a diferentes alturas y variación en la cantidad de puntos de control en los diferentes terrenos, mediante un análisis comparativo de precisiones; enfocándose en la obtención y procesamiento de imágenes, obtenidas por medio de DRON1 y DRON2 tipo DJI Phantom 4 Pro V2.0 manteniendo un tipo de investigación aplicada, de diseño experimental, y de enfoque cuantitativo. como resultado se obtienen los planos topográficos georreferenciados, así como sus respectivas variaciones de precisión y tiempo de trabajo como las diferencias de costos de operación que conllevaron realizar todas las actividades de campo, concluyendo que para un terreno con dimensiones similares a las del proyecto, 3 puntos de control son suficientes.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los productos fotogramétricos a partir de la tecnología de estructura por movimiento generalmente asociado a levantamientos a partir de Vehículo aéreo no tripulado o RPAS han tenido un gran auge en los últimos años para la generación de subproductos cartográficos y topográficos. Al ser una tecnología de menor costo y menor tiempo en comparación con las metodologías tradicionales. (INVIAS, 2016)

En Colombia, aunque actualmente algunas entidades ya entraron a incursionar con esta tecnología y varios proyectos a lo largo del país ya cuentan con este tipo de levantamientos, la documentación que se encuentra es muy escasa y no existen procedimientos o normas técnicas asociadas que ayuden a definir o establecer los lineamientos y parámetros bajo los cuales se deben realizar este tipo de levantamiento en diferentes tipos de terrenos. (PALACIOS BORJA, CHAPARRO MOLANO, & AMEZQUITA RODRÍGUEZ, 2021).

Como consecuencia, se ha generado un retraso tecnológico en el país al no existir estándares y procedimientos definidos; por lo cual las entidades no cuentan con las bases técnicas para la aceptación o no de productos entregados. Este trabajo presentara un análisis de levantamientos a partir de RPAS en diferentes escenarios, utilizando un plan de vuelo a diferentes alturas y variación en la cantidad de puntos de control en los diferentes terrenos, con el fin de elaborar un informe técnico que permita establecer la mejor configuración para los levantamientos fotogramétricos con el uso de la tecnología RPAS. (IGAC, ICONTEC -, 2008)

¿Es posible identificar la cantidad de puntos de control que optimicen un levantamiento fotogramétrico para diferentes características de terreno por medio de un análisis comparativo de precisiones?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de productos fotogramétricos está determinado por la aplicación que se le dé, por esto es importante llevar a cabo el planteamiento de técnicas que permitan su correcto desempeño, así generar más aplicaciones y funciones asegurando de una manera estadística un grado de precisión en los productos finalizado. (QUIRÓS ROSADO, 2014)

Existen pocas empresas en Colombia que están trabajando con este tipo de tecnologías, por lo cual, se está iniciando el desarrollo e implementación de estas técnicas en los trabajos con aplicaciones a obras civiles, cartografía, catastro, etcétera. Algunas de estas empresas han venido trabajando con fotogrametría convencional y cámaras métricas, en las cuales los productos no cuentan con especificaciones técnicas preliminares y estándares de precisiones, el desarrollo de esta información en cámaras no métricas es reducido de acuerdo con investigación de los productos actualmente disponibles en el mercado. (PALACIOS BORJA, CHAPARRO MOLANO, & AMEZQUITA RODRÍGUEZ, 2021)

La propuesta es relevante para las UTS porque alimenta la línea de investigación de Geomática y Gestión territorial del grupo GRIMAT Grupo de investigación en medio ambiente y territorio, lo cual hace reforzar la actividad investigativa del programa académico.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar la cantidad de puntos de control que optimicen un levantamiento fotogramétrico para diferentes características de terreno por medio de un análisis comparativo de precisiones en la Mesa de los Santos en el año 2022.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar un vuelo fotogramétrico donde se identifiquen diferentes puntos de control distribuidos uniformemente en el área de estudio para optimizar el procesamiento digital de imágenes con el uso de RPAS y RTK.

Procesar el vuelo fotogramétrico utilizando diferentes cantidades de puntos de control para identificar la precisión en función de la cantidad de puntos de control por medio del uso del software Pix4Dmapper.

Analizar la cantidad de puntos de control, características del terreno y la precisión del modelo fotogramétrico por medio de un análisis comparativo para optimizar un levantamiento fotogramétrico con RPAS.

1.4. ESTADO DEL ARTE

Debido a la gran revolución tecnológica, la cual se encarga de evolucionar en todos los ámbitos, se quiere conocer los avances y aplicaciones de los Drones enfocados en los levantamientos topográficos y sus debidas condiciones óptimas para obtener un resultado de calidad que cumpla con las expectativas de quien realice el levantamiento. Para esto es necesario conocer los avances que se han obtenido en esta nueva manera de realizar levantamientos topográficos, las conclusiones y recomendaciones descritas en otros trabajos de investigación tanto nacionales como internacionales.

1. "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON ESTACIÓN TOTAL COMO MÉTODO DIRECTO Y EL USO DE DRONES Y GPS COMO MÉTODOS INDIRECTOS".

El proyecto realizado por JIMENEZ CALERO Y OTROS en el año 2019, en Salvador, se realizó un análisis comparativo de levantamientos topográficos con diferentes equipos de recolección de datos, donde se utilizaron equipos de medición directa como la estación total, y equipos de recolección de datos de medición indirecto como el GPS Y DRON. Según el estudio se realizaron tres tipos de medidas con los diferentes equipos se observan similitudes en los datos obtenidos, diferenciados en que las actividades realizadas con el dron generan menos costo y mayor rendimiento para la entrega de los resultados. Los métodos topográficos utilizados para mediciones de terrenos fueron Método directo con estación total, Método indirecto GPS >doble Frecuencia y el Método indirecto: Dron (fotogrametría). (JIMENEZ CALERO, MAGAÑA MONGE, & SORIANO MELGAR, 2019)

2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRADICIONAL Y TECNOLOGÍA DE DRONES.

El estudio realizado por SANTANA Y OTROS en el año 2020, en México se basa en un análisis comparativo para presentar un resultado de un levantamiento topográfico tradicional, y un vuelo fotogramétrico dela cancha de futbol de la Universidad Juárez del Estado de Durango.
Realizaron levantamiento topográfico con estación total, cinta métrica y fotogramétrico con RPAS, con los resultados obtenidos se hizo un análisis comparativo de los levantamientos para observar que diferencias presenta estos métodos de medición, el desempeño o precisión fue medido de acuerdo al error obtenido en las mediciones del levantamiento topográfico con respecto a las medidas con las cuales fue trazado en el plano. Obteniéndose como resultado que el método de levantamiento topográfico con RPAS es de mayor rendimiento y el recurso de personal humano es mucho menor que con los dos métodos tradicionales.
(SANTANA, GÓMEZ CÓRDOVA, LÓPEZ CARRILLO, SAENZ ESQUEDA, & ESPINOZA FRAIRE, 2020)

3. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS RESULTADOS DE MEDICIONES TERRENO TIPO URBANO MEDIANTE UN LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO Y LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL CON ESTACIÓN TOTAL.

El estudio realizado por GALVEZ en el año 2021, en Machala-Ecuador Analiza y fundamenta conceptualmente los resultados contenidos de un estudio topográfico, por métodos de levantamientos con estación total y fotogrametría.

Para esto realiza un levantamiento topográfico convencional con equipo tipo estación total y levantamiento fotogramétrico con equipo tipo RPAS, Análisis de resultados del levantamiento y comparación de los mismos.

El resultado obtenido muestra que los dos métodos son muy similares siempre y cuando se realicen las actividades con profesionalismo para poder resolver inconvenientes y con los datos obtenidos tener un criterio con fundamento de cada tipo de método, concluyendo que los dos métodos son aptos para trabajos de cartografía. Independiente del rendimiento y aprovechamiento de equipos.

(GALVEZ, 2021)

4. IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE ELEVACIÓN OBTENIDOS MEDIANTE
TOPOGRAFIA CONVENCIONAL Y TOPOGRAFIA CON DRONES PARA EL DISEÑO
GEOMETRICO DE UNA VIA EN REHABILITACION SECTOR TULUA – RIO FRIO.

El estudio realizado por DAZA en el año 2015, en corredor Rio Frio–Tuluá departamento del Valle del Cauca, realizo un estudio para analizar la implementación de modelos de elevación de terreno con levantamientos topográficos fotogramétricos (RPAS) y con equipos convencionales tipo estación total, para el diseño de un corredor vial, como resultado establece que el modelo digital de terreno obtenido por el vehículo aerotransportado genera saltos en el perfil longitudinal de la vía, teniendo en cuenta esto el autor reconstruye la superficie terrestre uniendo los dos modelos digitales de terreno y traza los alineamientos correspondientes, generando la rasante del proyecto y extrayendo de esta el perfil longitudinal y las secciones transversales del corredor vial, concluyendo que el trabajo conjunto de estas

dos técnicas permiten manejar con una mayor facilidad la producción de diseños geométricos de una vía ya sea para una rehabilitación (mantenimiento), mejoramiento o ampliación.
(DAZA, 2015)

5. EVALUACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN OBTENIDOS MEDIANTE TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL Y TOPOGRAFÍA CON DRONES PARA EL CÁLCULO DE VOLÚMENES.

   El estudio realizado por COLLAZOS en el año 2018, en Bogotá en las empresas del sector minero debido a que se encontraban en la incertidumbre de la calidad de los modelos digitales de terreno a partir de estudios fotogramétricos.
   La universidad Militar realizo la evaluación de los modelos digitales de elevación (MDE) derivados de la tradicional topografía convencional y la topografía realizada con RPAS. un estudio para el calculo de volumen de materiales en acopio en la planta de trituración de la empresa Pavimentos de Colombia S.A localizado en el municipio de Chicoral Tolima.
   Los resultados en el levantamiento con Dron y modelo fotogramétrico fueron muy satisfactorios, se economizo tiempo, se utilizó menos personal, las precisiones son muy buenas, y una ventaja adicional se obtiene mayor cobertura de la zona y entrega productos como orto-fotos, georreferenciadas de muy buena resolución.
   (COLLAZOS, 2018)

6. ELABORACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE TERRENO POR MEDIO DE FOTOGRAMETRÍA OBTENIDA POR TECNOLOGÍA DRONE, RELACIONADO CON EL MÉTODO CONVENCIONAL, EN LA

INTERSECCIÓN DE LA VÍA SABOYÁ SUTAMARCHÁN CON LA RUTA 45ª, BOYACÁ – COLOMBIA.

El estudio realizado por BECERRA & NIETO en el año 2020, en Boyacá se enfocó en comparar las diferencias de un Modelo Digital de Terreno (MDT), obteniéndose a partir de fotografías aéreas tomadas por medio de un Vehículo Aéreo no tripulado (VANT). Con un levantamiento topográfico convencional obtenido por estación total. se analizarán cualidades de digitalización de información, además se estudiarán características morfológicas de terreno como los son las diferentes pendientes, zonas boscosas, delimitación de quebradas, vías, casas, líneas de quiebre, para realizar un análisis comparativo en una intersección vial en el municipio de Boyacá.

Los resultados de este proyecto de investigación muestran varias observaciones, de las cuales se determina que los dos modelos deben ser complementarios y no como se piensa que el uno reemplaza al otro.

En los levantamientos con Dron donde no se encuentren puntos de control se presentan errores considerables en elevación, el uso de estaciones totales da una mayor seguridad en la toma de datos.

(BECERRA TRIANA & NIETO ORTEGA, 2020)

7. COMPARACIÓN DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL Y USO DE FOTOGRAMETRÍA PARA GENERAR CURVAS DE NIVEL A ESCALA INDICADA, CASO DE ESTUDIO LA FINCA, EL NUEVO MILENIO, PIEDECUESTA-SANTANDER.

El estudio realizado por los estudiantes de las Unidades tecnológicas de Santander ORDUZ & RODRÍGUEZ en el año 2021, en PIEDECUESTA-SANTANDER.

Realizo un análisis comparativo de levantamientos topográficos, con dos tipos de tecnologías para generar unas curvas de nivela una escala indicada, los métodos utilizados fueron levantamiento topográfico con equipo tipo y estación total y uso de fotogrametría utilizando aeronave piloteada a distancia, obteniendo como resultado que el método de fotogrametría es el que da mayores detalles por la cantidad de puntos y modelos digitales de elevación de alta resolución.

(ORDUZ SOTO & RODRÍGUEZ ROJAS , 2021)

2. MARCO REFERENCIAL

Se basa en el marco teórico argumentado en diferentes autores, justificándose en diversos documentos, libros, tesis y otros estudios e informes relacionados al planteamiento del problema, con bases teórica y experimentales donde el eje central es el levantamiento topográfico con RPAS, lo que permite hacer uso de la tecnología aplicado en el área de la Topografía.

Maneja métodos analíticos, experimentales y estadísticos de acuerdo con los diversos autores, lo cual permite establecer el tipo de investigación es aplicada, con un diseñó experimental.

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Definición de topografía

Es una ciencia que estudia los métodos y procedimientos para hacer mediciones sobre el terreno y su representación gráfica o analítica a una escala determinada, Además es el conjunto de instrucciones que ayuda a determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie y debajo de la tierra, por medio de la combinación de las medidas del espacio: distancia, elevación y dirección, posicionando en altimetría parar dar a conocer los desniveles del terreno, siendo de gran ayuda al momento de calcular los movimientos de tierra y para la realización de plataformas (nivelación), además, explica los procedimientos y operaciones del trabajo de campo, los métodos de cálculo o procesamiento de datos y la representación del terreno en un plano o dibujo topográfico a escala. (Quiróz, 2014)

2.1.2. Georreferenciación de puntos de control

Como lo dice son puntos de control, que nacen de la identificación de un conjunto de puntos que dan la correctamente imagen, además que sabiendo sus coordenadas se calcula las funciones matemáticas de transformación (lineales, cuadráticas) que mejor se ajustan a estos datos. La georreferenciación cumple un papel importante para lograr una alta precisión del levantamiento topográfico, ya que garantiza que la metodología de la labor y las operaciones de datos tomados en campo sean los más exactos y así brindar un resultado de calidad. (Dávila Martínez, 2021)

2.1.3. Geodesia

La Geodesia es la ciencia que estudia la forma y dimensiones de la Tierra, además tiene en cuenta la determinación del campo gravitatorio externo de la tierra, la superficie del fondo oceánico, la orientación y posición de la tierra en el espacio.

Ayuda a la determinación de la posición de puntos sobre la superficie terrestre mediante coordenadas (latitud, longitud, altura). Las materializaciones de estos puntos sobre el terreno constituyen las redes geodésicas, conformadas por una serie de puntos (vértices geodésicos o también señales de nivelación), con coordenadas que configuran la base de la cartografía de un país, por lo que también se dice que es "la infraestructura de las infraestructuras".

Los fundamentos físicos y matemáticos necesarios para su obtención, sitúan a la geodesia como una ciencia básica para otras disciplinas, como la topografía, fotogrametría, cartografía, ingeniería civil, navegación, sistemas de información geográfica, sin olvidar otros tipos de fines como los militares. (Íbero, s.f.)

2.1.4. Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS)

Se puede definir como un sistema que no necesita piloto, ya que es una aeronave que puede ser piloteada por medio de una comunicación a distancia mediante un control remoto externo desde una base de control, Además, que también cualquier otro control adicional se puede añadir al tipo de diseño, por lo que a parte del propio vehículo de vuelo también se incluye al dispositivo o control externo, siendo este uno de los grandes motivos diferenciadores de los drones autónomos, ya que estos poseen ya vuelos programados sin autonomía del cambio en las coordenadas, en cambio los RPAS tienen controles de vuelos a través de un operador en puestos ubicados en tierra. (Granshaw, 2018)

En la actualidad se puedes realizar diferentes trabajos de ingeniería a partir de drones RPAS en los levantamientos topográfico, tienen en cuenta una sucesión de dispositivos que facilitan la toma de datos y control de vuelo a través de una estación de mando que monitorea el desarrollo del trabajo. (Pedraza, 2019)

2.1.5. Fotogrametría

La técnica fotogramétrica se usa en los levantamientos topográficos ya que muestra imágenes aéreas que se definen estereoscópicamente con la ayuda de una aplicación de un software, lo que permite mediante diferentes procesos matemáticos y computacionales establecer sus formas, posiciones y dimensiones de todos los detalles de registrados en las fotografías. Es una de las técnicas muy usada en los vuelos de RPAS; ya que dimensiona con precisión formas y posiciones a base de imágenes aéreas, con el uso de esta técnica se pueden obtener detalles de todos los objetos de un área determinada y la realización de capturas de imagen en movimiento, por lo que es hoy usada en levantamientos topográficos con Drone. (Quiróz, 2014)

2.1.6. Método indirecto: GPS de doble frecuencia Introducción al GPS

2.1.6.1 GPS

Es un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) basado en satélites (SV) y operado por el Ministerio de Defensa de EEUU (DoD). El GPS provee información a nivel mundial, para lo que necesita un control riguroso del tiempo (hora GPS) y posicionamiento las 24 horas del día. El GPS también se usa para proveer información sobre el clima. Funcionamiento del GPS 1- Bases del sistema Midiendo la distancia desde un grupo de satélites a una posición cualquiera de la Tierra pueden calcularse las coordenadas exactas de dicha posición. Los satélites actúan como puntos de referencia precisos (sus posiciones se conocen en cada momento — efemérides). En la práctica se necesitan 4 satélites para resolver con precisión las cuatro incógnitas: X, Y, Z y el tiempo. Alcance del satélite Cada satélite GPS transmite dos señales de radio:

2.1.6.2 Precisión de datos GPS

La coordenada vertical (Z o altitud) es entre dos y cinco veces menos precisa que las coordenadas horizontales en cualquier posición GPS hallada. En general, suele citarse la precisión horizontal y obviarse la vertical. La precisión del posicionamiento con GPS varía desde 1 centímetro hasta unos metros, dependiendo del equipo y las técnicas de medición utilizadas. Es importante mencionar que la precisión obtenida en la determinación de las coordenadas horizontales es de dos a cinco veces mayor que la determinación en la coordenada vertical o cota, pues se sabe que las elevaciones son elipsoidales y no ortométrica al instante de medir (Granshaw, 2018). En general la exactitud obtenida en mediciones con G.P.S. depende de los siguientes factores: (Pedraza, 2019)

- Equipo receptor
- Planificación y procedimiento de recolección de datos

- Tiempo de la medición
- Programas utilizados en el procesamiento de datos.

2.2. MARCO NORMATIVO

1. El presente proyecto se realizará por medio de la normativa vigente que se encuentran en la REQUISITOS GENERALES DE AERONAVEGABILIDAD Y OPERACIONES PARA RPAS (Numeral 4.25.8.2) de la AERONÁUTICA CIVIL DE COLOMBIA, aplica a toda "persona (natural o jurídica) u organizaciones gubernamentales civiles interesadas en efectuar operaciones en el espacio aéreo colombiano con aeronaves pilotadas a distancia RPA, con fines diferentes a los de 47 recreación y deporte" (ICONTEC, 2018),Del mismo modo se tiene en cuenta la norma técnica colombiana NTC 6271 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS, la cual da los lineamientos para la realización de trabajos topográficos compatible con las normas técnicas colombianas e internacionales (Certificación, 2018), así mismo da parámetros técnicos para la adopción de un sistema global de referencia para la unificación de medición sobre la superficie terrestre. Estos sobrevuelos estarán cobijados bajo los estándares de seguridad y limitaciones que rezan los REGLAMENTOS AERONÁUTICOS DE COLOMBIA, en el cual el numeral anteriormente nombrado solicita: 4.25.8. AEROMODELISMO. Como los aeromodelos no son considerados aeronaves por tal motivo no están sometidos a las disposiciones de la aeronáutica, pero para su operación de deben tener en cuentas ciertas limitaciones.

- Los Drones no podrán operarse sobre áreas con edificaciones o directamente sobre público o aglomeraciones de personas.
- Estos equipos solo podrán ser volados en condiciones que no pongan en riesgo a las personas o propiedades particularmente en climáticas que puedan ocasionar un siniestro.

● El peso máximo de un Drone es de 25 Kg de tener un peso menor no se le podrá colocar cargas adicionales

2. Requisitos técnicos para estudios de topografía En Colombia, las NTC 6271:2018 Esta norma establecen los requisitos técnicos básicos y las condiciones mínimas exigibles para la adecuada ejecución de estudios de topografía en el territorio nacional. Estos requisitos estan establecidos en el numeral 8 de la norma, titulado "Requisitos específicos de un estudio topográfico". En este se menciona que: "8.1. La primera etapa de un estudio topográfico es la toma de información de campo. La estructura de los datos, densidad y precisión con que se adquieren determina la fidelidad de la representación a obtener a partir del modelo físico. De acuerdo con el instrumento empleado, el protocolo a seguir puede ser distinto. 8.2. El procesamiento de la información debe estar soportado por datos fidedignos, validados con los registros crudos almacenados en los dispositivos de memoria o carteras en copia dura originales de campo que garanticen que el 100% de los datos corresponden a las lecturas de campo inalteradas".

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

La finalidad del proyecto es la identificación de la cantidad de punto del control que optimicen un levantamiento fotogramétrico mediante el levantamiento topográfico en la Mesa de Los Santos utilizando un plan de vuelo a diferentes alturas y variación en la cantidad de puntos de control en los diferentes terrenos, mediante un análisis comparativo de precisiones; enfocándose en la obtención y procesamiento de imágenes, obtenidas por medio de DRON1 y DRON2 tipo DJI Phantom 4 Pro V2.0 manteniendo un tipo de investigación aplicada, de diseño experimental, y de enfoque cuantitativo.

Tabla 1. Matriz de metodología

Fase I	Actividades	Fuentes de Información		Métodos de Investigación					Herramientas	Entregables
		Primarias	Secundarias	Analítico-Sintético	Inductivo-Deductivo	Experimental	Estadístico	Observación		
Recolección de información del área de estudio	1. Instalacion puntos de control		Textos, Documentos, Normas, Bibliografías, Tesis, bases de datos, plataformas de imágenes satelitales.						Equipos de topografia: Equipo GNSS doble frecuencia Hi-Target V30 Plus yHiper V, estacion total South N6, drone Tipo Dji Phanton 4 pro V2.	Carteras de campo, imágenes del vuelo fotogrametrico.
	2. Vuelo fotogrametrico del area de estudio..									
	3. Levantamiento planimetrico y altimetrico con estacion total.									

Fase II	Actividades	Fuentes de Información		Métodos de Investigación					Herramientas	Entregables
		Primarias	Secundarias	Analítico-Sintético	Inductivo-Deductivo	Experimental	Estadístico	Observación		
Procesamiento de informacion de datos de campo	1. Procesamiento de vuelos fotogarmetricos, ajustado a los puntos de control.		Textos, Documentos, Normas, Bibliografías, Tesis, videos						Herramientas computacionales, software Pix4Dmapper	6 modelos digitales del terreno a partir de los vuelos fotgarmetricos, 1 modelo doigital del terreno a partir de la informacion tomada con la estacion total.
	2. Generar modelo digital del terreno a partir de el vuelo fotogrametrico ajustado ai los puntos de control.									
	3.Generar modelo digital del terreno a partir de la informacion descargada de la estacion total ajustada a los puntosde control.									
	4									

Fase III	Actividades	Fuentes de Información		Métodos de Investigación					Herramientas	Entregables
		Primarias	Secundarias	Analítico-Sintético	Inductivo-Deductivo	Experimental	Estadístico	Observación		
Analisis de la cantidad de puntos de control, comparacion de modelos digitales de terreno.	1. Analisis de los modelos digitales de terreno de los vuelos fotogrametricos y comparacion con el modelo digital de terreno de los datos de la estacion total.		Textos, Documentos, Normas, Bibliografías, Tesis, videos						Herramientas computacionales, Formato FIN01, correo institucional	Conclusiones y recomendaciones para la cantidad de puntos de control necesarios en tres tipos de terreno (Plano, Ondulado, Escarpado) para la elaboracion de un buen modelo digital del terreno por medio de vuelos fotogrametricos.
	3.Definicion de la cantidad de puntos de control necesarios en tres tipos de terreno (Plano, Ondulado, Escarpado) para la elaboracion de un buen modelo digital de terreno por Vuelos fotogrametricos..									

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

4.1. METODOLOGIA LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO:

Para la obtención de la superficie de terreno por el método de levantamiento topográfico con estación total, se llevaron a cabo varias actividades descritas a continuación:

- Identificación y reconocimiento del sitio para realizar las actividades.
- Georreferenciación de dos puntos al sistema de coordenadas magna sirgas.
- Levantamiento planimétrico y altimétrico con estación total de las áreas de estudio.
- Procesamiento de datos de campo.
- Comparación de superficies.
- Resultados y conclusiones.

4.1.1. Identificación y reconocimiento del sitio para realizar las actividades:

Se realizó búsqueda de un sitio que cumpliera con las necesidades del proyecto, que contara con sectores planos ondulados y escarpados, de fácil acceso y limpio de vegetación que fuera óptimo para la ejecución de las actividades necesarias del proyecto

.

4.1.1.1 Localización del área de estudio:

El área de estudio se encuentra localizado en la Vereda La Loma del municipio de Los Santos a 10 kilómetros del casco urbano del municipio por la vía que conduce a las minas de yeso denominada el toro.

Figura 1. Área de estudio



Fuente: Imagen Google earth.

4.1.1.2 Georreferenciación:

Se realizó traslado de coordenadas del punto de la red pasiva ubicado sobre la estrella de la policía en el casco urbano del municipio de Los Santos, identificado con la nomenclatura GPS-S-T-85 con coordenadas elipsoidales descritas en el siguiente cuadro:

Tabla 2. Descripción punto de red pasiva

PUNTO	LATIDUD	LONGITUD	ALTURA ELIPSOIDAL
GPS-S-T-85	6.754118	-73.104027	1342.475

Fuente: Autor

Figura 2. Descripción punto de red pasiva



Fuente: Autor

Figura 3. Imagen punto red pasiva IGAC GPS-ST-85



Fuente: Autor

Figura 4. Toma de altura instrumental del equipo GNSS armado en el punto del IGAC.



. Fuente: Autor

Se procede a armar la base del equipo GNSS doble frecuencia marca Hi-Target-V30 plus e iniciar la recepción de información por el método estático.
Luego nos trasladamos al sitio donde se va a tomar la información topográfica del terreno objeto de la investigación del proyecto, allí se arman dos equipos GNSS doble frecuencia para realizar la recepción de información, los puntos denominados GPS # 1 y GPS # 2, por el método de estático para luego realizar el cálculo de las coordenadas planas para estos dos puntos.

Figura 5. GPS # 1 Equipo Hipper V topcon



Fuente: Autor

Figura 6. GPS # 2 Equipo Hi-Target V30 Plus



Fuente: Autor

4.1.1.3 Levantamiento planimétrico y altimétrico con estación total de las áreas de estudio:

Ya realizado el proceso de posicionamiento de los puntos GPS # 1 y GPS # 2 por el método de estático, se procede a tomar la información de los puntos del terreno con equipo estación total por el método de radiación de puntos con ángulos y distancias, tomando ceros atrás armados en el GPS # 1 y tomando línea con ceros al GPS # 2.

Se realiza una radiación de puntos del terreno en una cuadricula de 10 * 10, detallando puntos del terreno que presenten deformaciones del mismo más notables con el fin de obtener un modelo de superficie lo más preciso posible.

Figura 7. Levantamiento planimétrico y altimétrico con estación total.



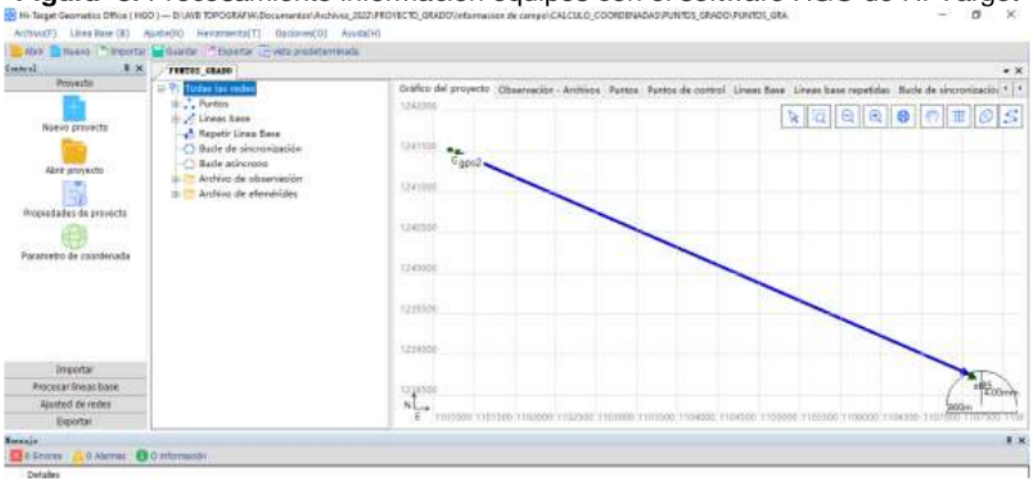
Fuente: Autor

4.2. Procesamiento de datos de campo:

4.2.1. Georreferenciación:

Se descarga la información de los equipos GNSS y se procesa la información de los equipos con el software HGO de Hi-Target, para obtener la información de las coordenadas planas de los puntos GPS # 1 y GPS # 2.
Ver anexo: Posicionamiento GNSS.

Figura 8. Procesamiento información equipos con el software HGO de Hi-Target

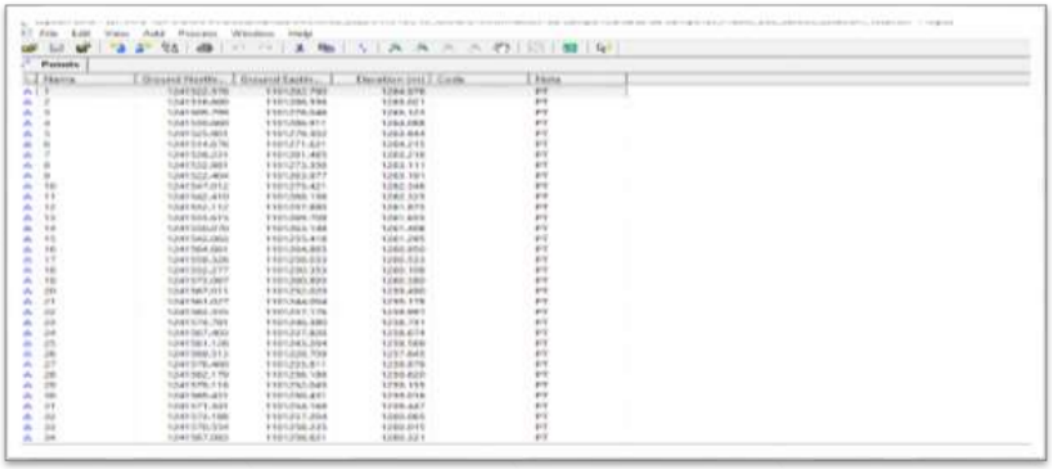


Fuente: Autor

4.2.2. Calculo de datos crudos estación total:

Con la información de coordenadas de los puntos GPS # 1 Y GPS # 2 puntos base de la radiación de puntos, se procede a descargar la información y se procesa con el software Topcon Link, con base en los puntos de coordenadas de los GPS # 1 Y GPS # 2 y se calculan los puntos tomados con la estación total.

Figura 9. Procesamiento con el software Topcon



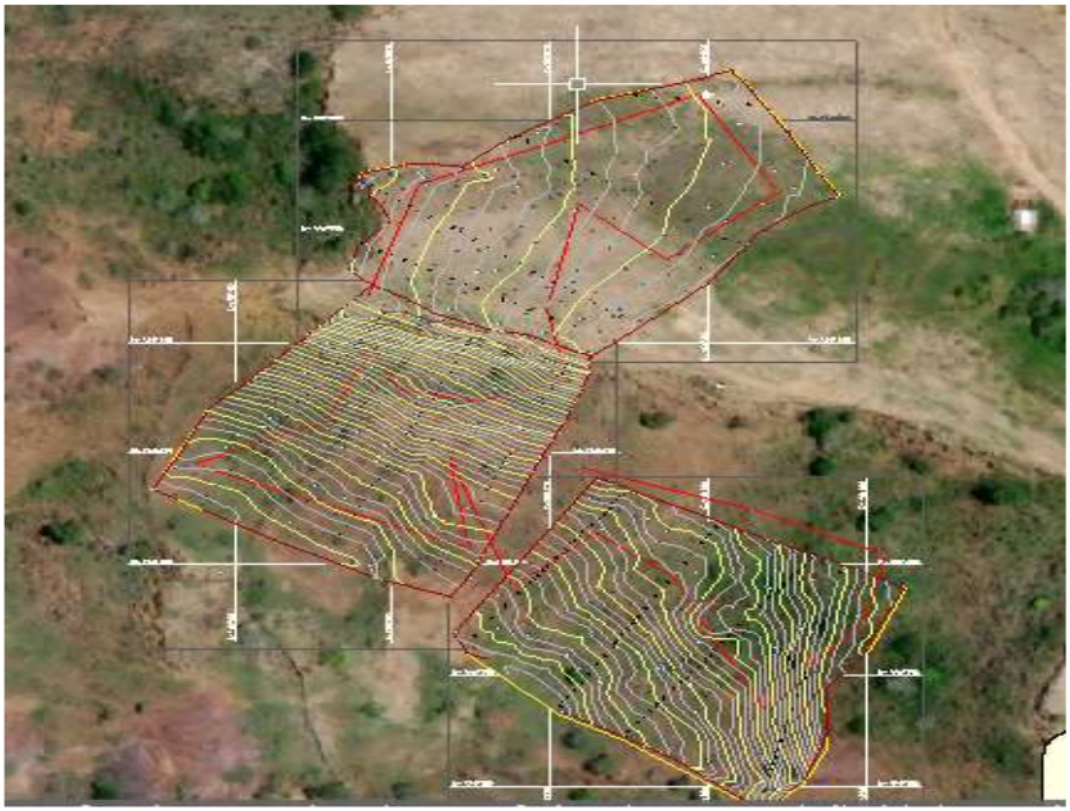
Fuente: Autor

Ver Anexo # 6 Levantamiento convencional con estación total

4.2.3. Creación de modelos digitales de terreno:

Ya con la información de la estación total procesada y habiendo obtenido las coordenadas de todos los puntos radiados, se procede a crear el modelo digital del terreno con el software AutoCAD Civil 3D, para proceder con la comparación de superficies.

Figura 10. Modelo digital del terreno AutoCAD civil 3D

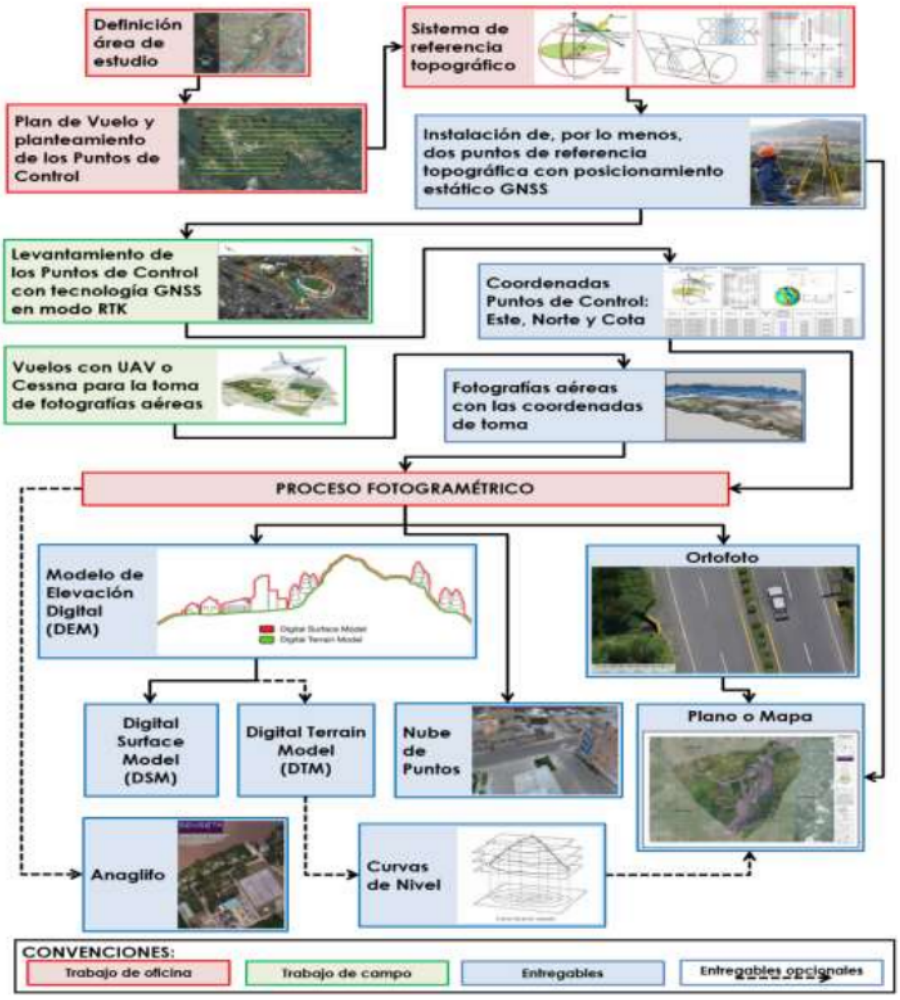


Fuente: Autor

4.3. Procesamiento de información de datos de campo

Los productos fotogramétricos se generarán utilizando la metodología fotogramétrica como lo muestra el siguiente diagrama metodológico:

Figura 11. Metodología Fotogrametría



Fuente: Autor

4.3.1. Definición del área de estudio

El primer paso consistió en delimitar el área de estudio mediante un polígono

cerrado para poder determinar su valor en hectáreas. Este valor está directamente relacionado con la duración del proyecto de fotogrametría de precisión.

Figura 12. Delimitación del área de estudio



Fuente: área de estudio sobre imagen de satélite tomada de Google Earth

Se definió, en conjunto con tres ingenieros en topografía:
Un área de estudio: 3 hectáreas, conformada por 1 hectárea plana, 1 hectárea ondulada y 1 hectárea escarpada (Ver área de estudio en el Anexo Digital 1).
Un GSD (Ground Sample Distance) que define cuantos centímetros de la realidad se representan con un pixel de la imagen: en este caso 1.4 cm.

4.3.2. Plan de vuelo

Fue posible diseñar el plan de vuelo con la aplicación APP (DJI PILOT).
Las características del plan de vuelo son:

- ✓ Líneas de vuelo por tipo de terreno.
- ✓ Longitud total de las líneas de vuelo: 150 mts.
- ✓ Altura de vuelo sobre el terreno: 50 m.

Tabla 3. Características del plan de vuelo

LUGAR	Nombre		**Los Santos (Santander)**	
	Área cubierta (ha)		**3**	
UNIDAD DE VUELO	Plataforma de vuelo		**Phantom 4 Pro V2**	
	Velocidad (millas/hora)		10	
	Velocidad (km/h)		32	
	Velocidad (m/s)		3.9	
CÁMARA FOTOGRÁFICA	Marca		**DJI**	
	Tamaño del Sensor - Sw (mm)		**13.20**	8.80
	Resolución de las fotografías (megapixeles)		**20**	
	Tamaño de la fotografía (pixeles)		**5472**	3648
	Distancia focal del lente - Fr (mm)		**8.8**	
	Tamaño del área cubierta por cada fotografía - Dw (m)		**137**	**91**
	Area cubierta por cada fotografía (ha)		**1.2**	
	ISO o ASA		máximo 200	
	Velocidad de obturación		fija según iluminación	
	Diafragma		Automático	
ESPECIFICACIONES VUELO	Ground Sample Distance - GSD (cm)		**1.37**	
	Altura de vuelo sobre el terreno - H (m)		**50**	
	Separación de las líneas de vuelo (m). **Sidelap**	**65%**	**41**	
	Distancia entre fotos (m). **Overlap**	**80%**	18	
	Tiempo máximo entre disparos (segundos)		**2.0**	
	Líneas de vuelo		14	
	Longitud de todas las líneas de vuelo (m)		150	
	Número de vuelos		2	
	Tiempo de vuelo de las líneas (minutos)		4.4	
	Cantidad aproximada de fotografías		**62**	
PUNTOS DE CONTROL	Cantidad		**14**	
	ESCALA RESULTANTE		**xxx**	

Fuente: Autor

4.3.3. Trabajos de campo

El vuelo fotogramétrico para toma de fotografías aéreas se realizó los días 14 y 15

de junio de 2022.

4.3.3.1 Equipos empleados

Para la realización del vuelo fotogramétrico se empleó el siguiente equipo:

Figura 13. Dron DJI Phantom 4 Pro V2.0



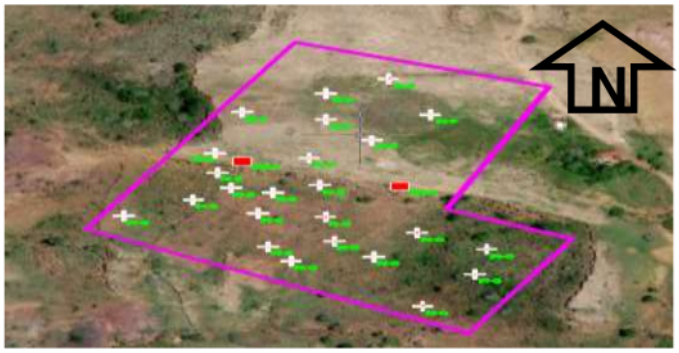
Dron DJI Phantom 4 Pro V2.0

Fuente: levantamiento fotogramétrico en Barrancominas (2021-07-15)

4.3.3.2 Puntos de fotocontrol o GCP (Ground Control Points)

Se levantaron, con tecnología GNSS en modo RTK, 8 puntos de foto control por hectárea o GCP (Ground Control Points). A estos puntos se agregaron 2 más (GPS-1 y GPS-2) para un total de 10 puntos (Ver Anexo Digital xxx).

Figura 14. Localización de 17 puntos de fotocontrol o GCP



Fuente: puntos de fotocontrol sobre imagen de satélite tomada de Google Earth

Tabla 4. Datos 25 GCP

MARCO DE REFERENCIA ITRF2014 ÉPOCA 2018.0 DATUM MAGNA-SIRGAS (WGS84) PROYECCIÓN TRANSVERSA DE MERCATOR ORIGEN MAGNA-SIRGAS/COLOMBIA BOGOTA ZONE			
PUNTOS DE CONTROL	COODENADAS		COTA ORTOMÉTRICA (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
GPS-1	1101208.55	1241511.24	1257.12
GPS-2	1101303.72	1241481.15	1267.84
ZONA PLANA			
P1-P	1101296.85	1241611.8	1263.151
P2-P	1101322.11	1241567.71	1264.854
P3-P	1101208.38	1241571.28	1255.273
P4-P	1101248.9	1241515.23	1262.107
P5-P	1101258.97	1241562.31	1260.541
P6-E	1101192.08	1241521.09	1255.35
P7-P	1101286.81	1241537.3	1263.745
P8-P	1101258.97	1241593.82	1260.298
ZONA ESCARPADA			
P1-E	1101192.08	1241521.09	1255.35
P2-E	1101255.45	1241482.47	1252.904
P3-E	1101224.1	1241407.29	1222.327
P4-E	1101136.95	1241444.96	1216.509
P5-E	1101201.71	1241479.02	1237.176
P6-E	1101193.52	1241497.45	1242.712
P7-E	1101178.87	1241464.38	1225.903
P8-E	1101226.92	1241473.29	1240.721
P9-E	1101217.99	1241447.86	1228.458
ZONA ONDULADA			
P1-O	1101258.89	1241443.79	1234.42
P2-O	1101237.98	1241389.94	1220.391
P3-O	1101317.45	1241334.97	1234.016
P4-O	1101356.27	1241404.35	1249.231
P5-O	1101288.21	1241395.04	1230.85
P6-O	1101314.29	1241424.45	1239.718
P6-O	1101314.29	1241424.45	1239.716
P7-O	1101349.09	1241373.96	1247.671
P8-O	1101264.19	1241414.08	1228.273

Fuente: Autor

4.3.4. Vuelo fotogramétrico

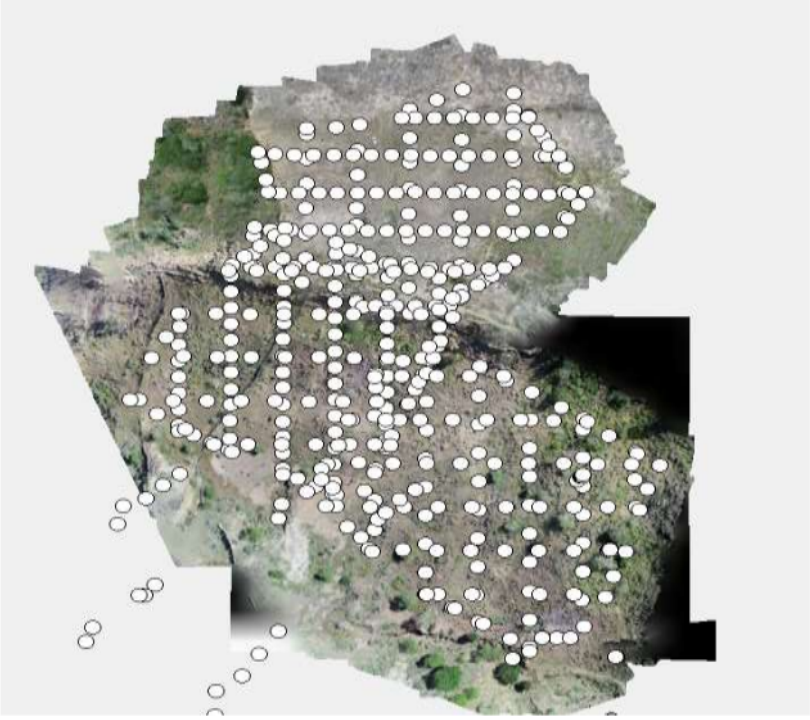
El vuelo fue ejecutado por un dron DJI Phantom 4 Pro V2.0 con una cámara digital de 20 megapixeles con un lente de 8.8 mm para tomar las fotografías cenitales. Se tomaron en total 954 fotografías aéreas (Ver Anexo Digital 11).

4.3.4.1 Fotografías aéreas con las coordenadas de toma

Las fotografías aéreas, con las coordenadas de toma de cada una, son el segundo insumo fundamental para el procesamiento fotogramétrico, el primero son las coordenadas de los puntos de foto control.

Se entregan varios archivos KMZ que se puede desplegar en Google Earth como herramienta de consulta para poder saber a qué sitio corresponde cada una de las fotografías aéreas.

Figura 15. Ejemplo archivo KMZ con la localización de las fotografías aéreas



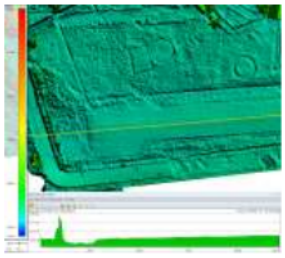
Fuente: CE&DF. En color rojo se muestran las líneas de vuelo

4.3.5. Trabajos de oficina

4.3.5.1 Procesamiento fotogramétrico

El procesamiento en el programa Pix4D mapper generó los siguientes productos.

Figura 16. Productos fotogramétricos resultantes del procesamiento de las aerofotografías

Nube de Puntos	Modelo de Elevación	Ortoimagen
		
3D	Altimetría (3D)	Planimetría (2D)
157 millones de puntos	Baldosas 4.8 cm x 4.8 cm	GSD=1.4 cm

Fuente: Autor

El reporte del procesamiento se puede consultar en el Anexo Digital 8.

Nube de puntos

Una nube de puntos a color, en formatos LAS, que puede ser consultada con el software Global Mapper.

Figura 17. Nube de puntos con 18.544.980 puntos

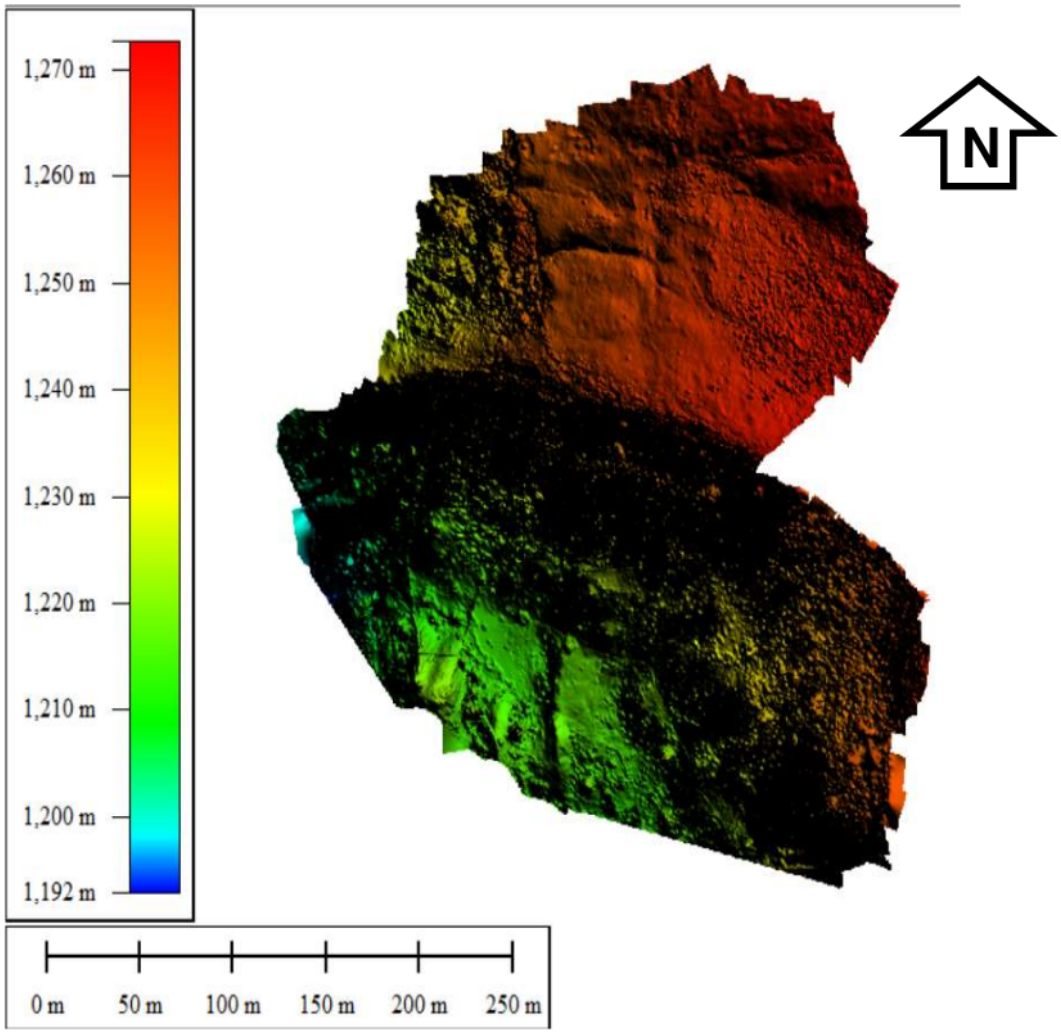


Fuente: Autor

MDS (Modelo Digital de Superficie)

Un archivo en formato GeoTIFF (Geographic Tagged Image File Format), con baldosas de 4.8 cm x 4.8 cm, que puede ser consultado en ArcGIS o Global Mapper. Contiene, además del terreno natural, las construcciones y vegetación existentes.

Figura 18. MDS de la zona de estudio



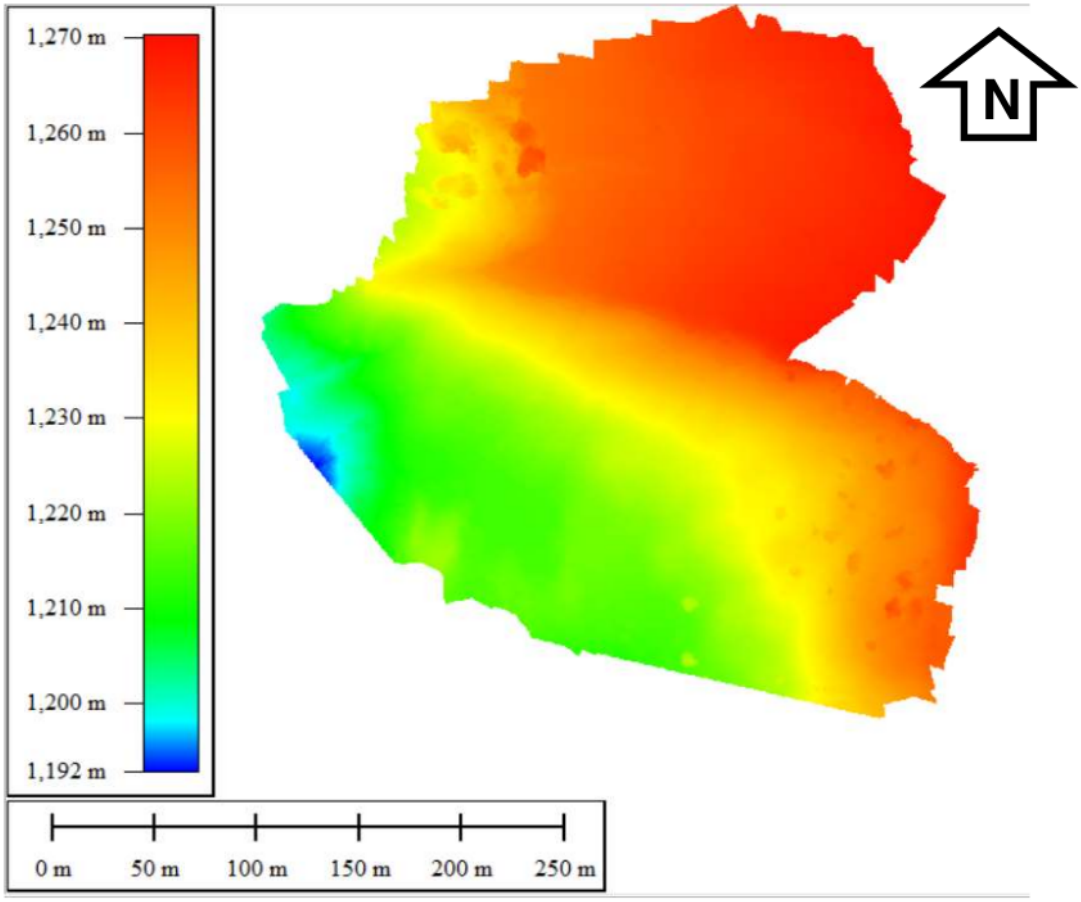
Fuente: Autor

MDT (Modelo Digital de Terreno)

Un archivo en formato GeoTIFF (Geographic Tagged Image File Format), con baldosas de 50 cm x 50 cm, que puede ser consultado en ArcGIS o Global Mapper. Contiene el terreno natural desnudo, es decir, sin construcciones ni vegetación,

fusionado con el modelo de elevación del terreno natural

Figura 19. MDT fusionado de la zona de estudio

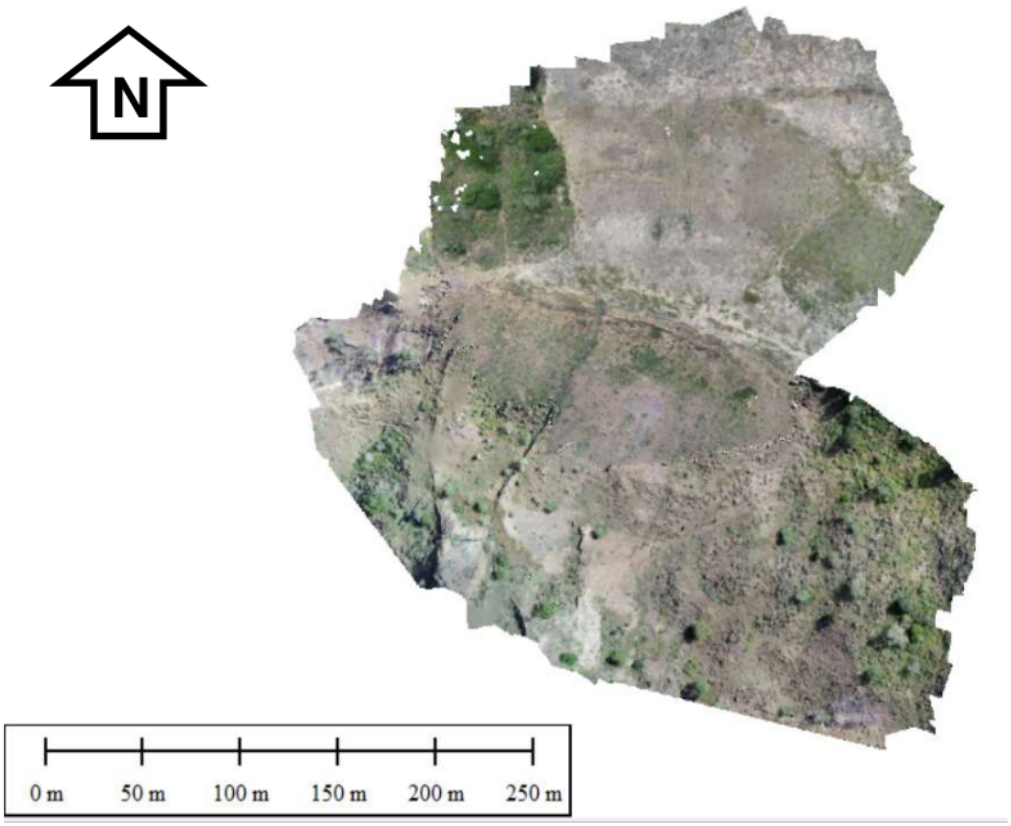


Fuente: Autor

Ortoimagen

Una ortoimagen con 1.4 cm de resolución por pixel en formato comprimido ECW Raster y KMZ (para visualizar en Google Earth), que se puede consultar en AutoCAD (utilizando el comando “mapiinsert”), ArcGIS y Global Mapper.

Figura 20. Ortoimagen de la zona de estudio con GSD=1.4 cm



Fuente: Autor

5. RESULTADOS

31

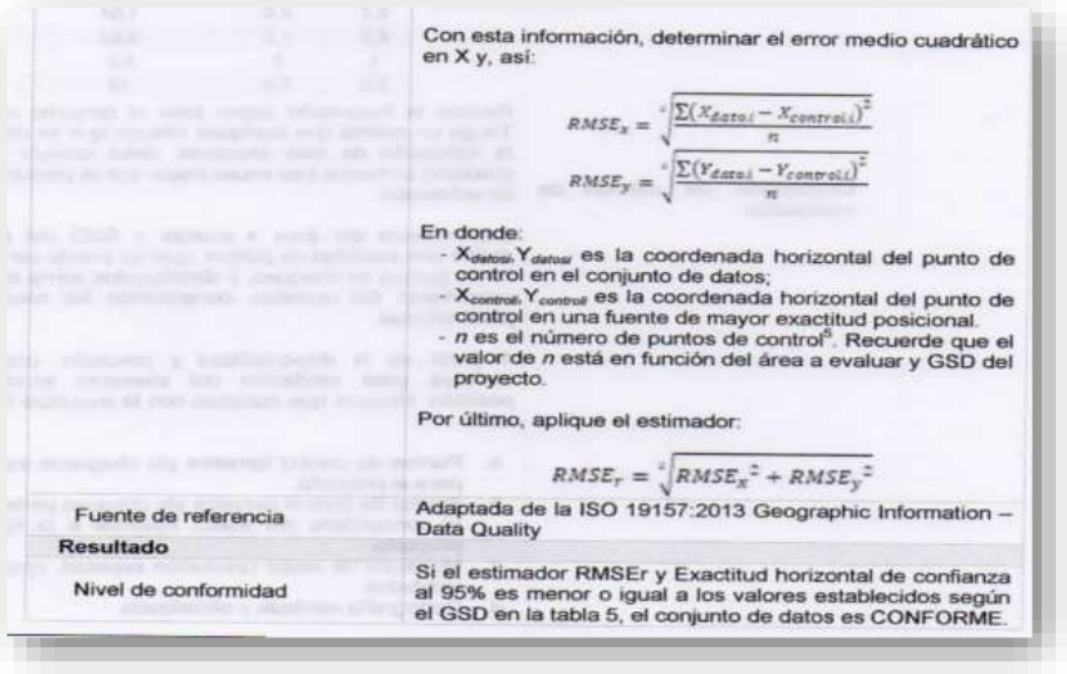
A continuación, se muestra las diferencias de los resultados promedio obtenidos previamente:

Tabla 5. Error Medio Cuadrático (RMSEr)

DIFERENCIA RESULTADOS PROMEDIO DRON 3PC VS 8PC			
	3PC (m)	8PC (m)	DIFERENCIA (m)
50 PLANO	0.075	0.072	0.003
50 ESCARPADO	0.204	0.222	0.018
50 ONDULADO	0.152	0.147	0.005

Fuente. Resolución 471 del 14 de mayo de 2020 IGAC.

Figura 21. Error Medio Cuadrático (RMSEr)



	Con esta información, determinar el error medio cuadrático en X y, así: $RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum(X_{datoi} - X_{controli})^2}{n}}$ $RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum(Y_{datoi} - Y_{controli})^2}{n}}$ En donde: - X_{datoi}, Y_{datoi} es la coordenada horizontal del punto de control en el conjunto de datos; - $X_{controli}$, $Y_{controli}$ es la coordenada horizontal del punto de control en una fuente de mayor exactitud posicional. - *n* es el número de puntos de control[5]. Recuerde que el valor de *n* está en función del área a evaluar y GSD del proyecto. Por último, aplique el estimador: $RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$
Fuente de referencia	Adaptada de la ISO 19157:2013 Geographic Information – Data Quality
Resultado	
Nivel de conformidad	Si el estimador RMSEr y Exactitud horizontal de confianza al 95% es menor o igual a los valores establecidos según el GSD en la tabla 5, el conjunto de datos es CONFORME.

Fuente. Resolución 471 del 14 de mayo de 2020 IGAC.

De las anteriores tablas se puede concluir lo siguiente:

- Los resultados son producto de la comparación de una muestra del universo de datos de la fuente de mayor precisión, en este caso los datos obtenidos por medio de levantamiento topográfico y GNSS, respecto a un producto en formato Ráster, cuyos datos digitales son continuos, pero de los cuales se extrajo una muestra por medio de la digitalización de puntos que representan algunos objetos pertenecientes a los diferentes tipos de terreno.
- Por esta razón es importante decir que la prueba de calidad del producto fotogramétrico es el reflejo de la interpretación visual del autor el cual conlleva consigo algunos errores ajenos a los que tiene por su naturaleza el producto digital. Sin embargo, es la forma más adecuada para evaluar cualquier producto cartográfico o producto de información espacial ya que se tiene un análisis estadístico serio, basado en la Resolución IGAC 471 del 14 de mayo de 2020 estándares que determinan un resultado tangible representado en unidades métricas.
- Se evidencia grandes cambios en la diferencia de promedios, tomando 3 puntos de control con respecto a los de 8 puntos de control, por lo cual ambos resultados son confiables teniendo en cuenta el rango de confiabilidad de la exactitud vertical absoluta obtenida del RMSE que significa Error medio cuadrático, resolución IGAC 471 del 14 de mayo de 2020, con un nivel de conformidad del 95% según los valores declarados en los cálculos obtenidos, para un GSD de 1.4 cm el MDT es conforme. (diferencias al milímetro, la máxima que se observó fue de 2,5 cm).
- En el terreno escarpado se presentó mayor error debido a la zona rocosa que representaba un cambio importante en la topografía del terreno, la cual fue tenida en cuenta en el levantamiento convencional y omitida por el modelo del dron. (se aprecia a simple vista en las gráficas de los perfiles).

6. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los datos obtenidos por parte de los levantamientos tradicionales topográficos y GNSS, es importante tener la certeza de la fuente de la información, ya que estos datos serán la base de la información que se tendrá como puntos de control, partiendo del supuesto que es la información más cercana a la realidad. A su vez, con los datos obtenidos por medio de fotogrametría, es importante conocer que es un producto generado a partir de imágenes aéreas en alta resolución, para esto es importante que en la parte de procesamiento y análisis de la información se hayan tenido en cuenta todos estos parámetros para poder realizar un análisis de la información con bastante certeza y precisión.
- La información geográfica es capturada desde distintos medios, en este caso por medio de topografía convencional de alta precisión y por medio de fotogrametría con cámaras de alta resolución, y cada dato capturado cuenta con una precisión que depende de los instrumentos utilizados para esa adquisición, esto no implica que la información esté errada, sino que esa información puede ser utilizada para varias aplicaciones que pueden variar en cada uno de los casos. Por esta razón es supremamente importante conocer el valor de los errores y precisiones de cada uno de los datos geográficos para poder tomar decisiones en cuanto a la generación de productos cartográficos. Esta información que contiene todo el análisis de precisión de datos geográficos debe estar contenida de forma estandarizada de acuerdo a la normatividad vigente en las especificaciones técnicas de los productos y en los análisis de calidad de los mismos.

- Para un terreno con dimensiones similares a las del proyecto, 3 puntos de control son suficientes y usar más puntos de control representa mayor exactitud importante en los resultados.
- Se puede concluir que los errores verdaderos son menores a los que se muestran en las tablas, puesto que en la comparación se tomó como base la topografía convencional con datos en una cuadricula de 5 metros por 5 metros, un muestreo menor al modelo del dron el cual obtiene información en cuadriculas mucho más detalladas del terreno.
- Esta tecnología presenta grandes precisiones, en los datos obtenidos siempre y cuando el software utilizado y los conocimientos del digitador sean los más apropiados para la generación de este tipo de modelos, dado que los datos obtenidos de los equipos en campo son bastante completos.

7. RECOMENDACIONES

Para trabajos futuros se recomienda inicialmente la búsqueda de artículos o publicaciones tipo tesis recientes y que no superen los 5 años puesto que, los sistemas de RPAS a medida que pasan los años tienen mejoras significativas que afectan directamente el rendimiento, alcance y exactitud de los datos tomados en el terreno.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

a, W. L., & Nieto Ortega, J. J. (22 de Mayo de 2020). *Elaboración de modelos digitales de terreno por medio de fotogrametría obtenida por tecnología Drone, relacionado con el método convencional, en la intersección de la vía Saboyá Sutamarchán con la ruta 45ª, Boyacá - Colombia*. Obtenido de Universidad Catolica de Colombia: Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26666/1/ELABORACI%C3%93N%20DE%20MODELOS%20DIGITALES%20DE%20TERRENO%20POR%20MEDIO%20DE%20FOTOGRAMETR%C3%8DA%20OBTENIDA%20POR%20TECNOLOG%C3%8DA%20DRONE.pdf

Castro Tovar, A. F., & Urrego FUQUENE, J. E. (2018). Obtenido de https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13108/CastroTovarAndresFelipe2018.pdf?sequence=12&isAllowed=y

Collazos, J. J. (1 de Agosto de 2018). 5. EVALUACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN OBTENIDOS MEDIANTE TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL Y TOPOGRAFÍA CON DRONES PARA EL CÁLCULO DE VOLÚMENES. Bogota, Colombia. Obtenido de https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17948: https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17948/CollazosCaycedoJohnJairo2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Dávila, Francisco y Camacho, Elena. Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de Archivos y Cartotecas. Propuesta Metodológica. Cantabria: Institut Cartografic de Catalunya, 2012. 9 pp.

Daza, J. G. (5 de Diciembre de 2015). *IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE ELEVACIÓN OBTENIDOS MEDIANTE TOPOGRAFIA CONVENCIONAL Y*

TOPOGRAFIA CON DRONES PARA EL DISEÑO GEOMETRICO DE UNA VIA EN REHABILITACION SECTOR TULUA – RIO FRIO. Obtenido de Univerdidad Militar Nueva Granada: https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7596/CorredorDazaJuanGuillermo2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Del Río Santana, O., Gómez Córdova, F., López Carrillo, N. V., Saenz Esqueda, J. A., & Espinoza Fraire, A. (27 de Noviembre de 2020). *Revista de Arquitectura e Ingeniería.* Obtenido de Análisis comparativo de levantamiento: https://www.redalyc.org/journal/1939/193963490001/193963490001.pdf

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, C. (27 de Noviembre de 2019). *http://www.empai.cu/.* Obtenido de http://www.empai.cu/: https://www.redalyc.org/journal/1939/193963490001/193963490001.pdf

Granshaw, S. (Octubre de 2018). *Revista The Photogrammetric Record [en línea].* Obtenido de http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=e33b23

Íbero, I. d. (s.f.). *Instituto Geográfico Naciona, España.* Obtenido de https://www.ign.es/web/gds-teoria-geodesia

IGAC, ICONTEC -. (2008). NTC 5043 Conceptos básicos de calidad. Bogotá DC. Obtenido de https://www.google.com/search?q=NTC+5043+Conceptos+b%C3%A1sicos+de+calidad&oq=NTC+5043+Conceptos+b%C3%A1sicos+de+calidad&aqs=chrome..69i57.9943j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8#

INVIAS. (2016). Obtenido de https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7714-manual-de-mantenimiento-de-carreteras-2016-v2

Jimenez Calero, N. M., Magaña Monge, A. O., & Soriano Melgar, E. (marzo de 2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON ESTACIÓN TOTAL COMO MÉTODO DIRECTO Y EL USO DE DRONES Y GPS COMO MÉTODOS INDIRECTOS.* Obtenido de https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/20697/1/An%C3%A1lisis%20comparativo%20entre%20levantamientos%20topogr%C3%A1ficos%20con%20estaci%C3%B3n%20total%20como%20m%C3%A9todo%20directo%20y%20el%20uso%20de%20Drones%20y%20GPS%20como%20m%C3%A9todos%20indirectos.pdf

Juan Guillermo Corredor Daza, I. T. (05 de Diciembre de 2015). Obtenido de https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/7596:

Nieto Ortega, J. J., & Becerra Triana, W. L. (2019). *repository.ucatolica.* Obtenido de ELABORACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE TERRENO POR MEDIO DE : https://repository.ucatolica.edu.co/jspui/bitstream/10983/26666/1/ELABORACI%C3%93N%20DE%20MODELOS%20DIGITALES%20DE%20TERRENO%20POR%20MEDIO%20DE%20FOTOGRAMETR%C3%8DA%20OBTENIDA%20POR%20TECNOLOG%C3%8DA%20DRONE.pdf

Orduz Soto, J. S., & Rodríguez Rojas , A. J. (10 de Mayo de 2021). *COMPARACIÓN DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL Y USO DE FOTOGRAMETRÍA PARA GENERAR CURVAS DE NIVEL A ESCALA INDICADA, CASO DE ESTUDIO LA FINCA, EL NUEVO MILENIO, PIEDECUESTA-SANTANDER.* Obtenido de Repositorio Institucional RI-UTS: http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/6181

Oswaldo, G. V. (22 de septiembre de 2021). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS RESULTADOS DE MEDICIONES TERRENO TIPO URBANO MEDIANTE UN LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO Y*

LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL CON ESTACIÓN TOTAL. Obtenido de https://www.utmachala.edu.ec/: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17821/1/ECFIC-2021-IC-DE00032.pdf

Palacios Borja, L. A., Chaparro Molano, J. M., & Amezquita Rodríguez, N. S. (23 de Julio de 2021). Análisis Comparativo De Vuelos Fotogramétricos De Vehículos Aéreos No Tripulados (Uav). Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia.

Pedraza, A. (2019). *Análisis comparativo del levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento* . Obtenido de Repositorio Universidad Cesar Vallejo: file:///F:/Datos/Descargas/Pedraza_SA.pdf

Quirós Rosado, E. (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil. Caceres, España.

Santana, O., Gómez Córdova, F. d., López Carrillo, N. V., Saenz Esqueda, J. A., & Espinoza Fraire, A. T. (27 de Noviembre de 2020). Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones. *Revista de arquitectura e ingeniería*, 1-10. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/1939/193963490001/193963490001.pdf

Topográfico, J. G. (5 de Diciembre de 2015). Obtenido de https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/7596

9. ANEXOS

Anexo 01 Área de Estudio para ver en Google Earth
Anexo 02 Información IGAC
Anexo 03 Topógrafo
Anexo 04 Equipos Empleados
Anexo 05 Posicionamiento GNSS
Anexo 06 Levantamiento Convencional Con Estación Total
Anexo 07 Reporte de Procesamiento Fotogramétrico
Anexo 08 Plan de Vuelo para ver en Google Earth
Anexo 09 Puntos de Foto Control GCP (Ground Control Points)
Anexo 10 Aerofotografías (2022-07)
Anexo 11 Nube de Puntos
Anexo 12 DSM (Digital Surface Model)
Anexo 13 DTM (Digital Terrain Model)
Anexo 14 Orto imagen GSD=1.4 cm (2022-07-15)
Anexo 15 Resultados Obtenidos
Anexo 16 Registro Fotográfico

Identificación de la cantidad de puntos de control 125 para repositorio

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	9%	1%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.docsity.com Fuente de Internet	3%
2	repository.udistrital.edu.co Fuente de Internet	1%
3	1library.co Fuente de Internet	<1%
4	Submitted to Universidad Militar Nueva Granada Trabajo del estudiante	<1%
5	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	enmiopinionlrgm.wordpress.com Fuente de Internet	<1%
7	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1%
8	www.semanticscholar.org Fuente de Internet	<1%

9	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
12	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
13	María Senderos Laka, Iñigo León Cascante, José Javier Pérez Martínez. "Levantamiento gráfico de patrimonio industrial en actividad: Nueva Cerámica de Orio", EGA Revista de expresión gráfica arquitectónica, 2019 Publicación	<1 %
14	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
15	talentos.ueb.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
16	www.upv.es Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
18	www.clubensayos.com Fuente de Internet	<1 %

19	repositorio.unan.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
20	www.buenastareas.com Fuente de Internet	<1 %
21	Silas Hughes, Devynn Diggins, Salvatore Cerchio, Andrew Bennett. "Morphometric measurements of Omura's whales using consumer grade sUASs: a methodological study", OCEANS 2019 - Marseille, 2019 Publicación	<1 %
22	argentina.indymedia.org Fuente de Internet	<1 %
23	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
24	revistas.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	bdigital.uncu.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
26	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
27	Serge Noiret. "Publications on financial history 2005", Financial History Review, 2007 Publicación	<1 %
28	Simona Rinaldi. "Integración de sistemas para la documentación, gestión y puesta en valor	<1 %

del patrimonio arquitectónico: el parque arqueológico de las tumbas de la Vía Latina en Roma", Universitat Politecnica de Valencia, 2022
Publicación

29	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.unesum.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
32	repository.unipiloto.edu.co Fuente de Internet	<1 %
33	studylib.es Fuente de Internet	<1 %
34	transportesynegocios.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %
35	www.takeda.de Fuente de Internet	<1 %
36	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 5 words
Excluir bibliografía	Activo		