

**Postproceso y fotointerpretación de muestras fotogramétricas adquiridas mediante
UAS para el levantamiento topográfico y comparación de perímetros con topografía
convencional aplicado al proyecto de vivienda “El Portal del Bosque” conjunto cerrado en
el municipio de Tunja-Boyacá**

John Freddy Gómez Daza, Libardo Alonso Roper Pacheco

**Trabajo investigativo para optar el título de Especialista en Interventoría y
Supervisión de la Construcción**

Director

Arquitecto Robert Gutiérrez Ortiz

Magister en Dirección y Gestión de Proyectos

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Especialización en Interventoría y Supervisión de la Construcción

2024

Dedicatoria

A Dios, quien nos proporcionó la fe, la fortaleza necesaria para salir siempre adelante pese a las dificultades, por colocarnos en el mejor camino iluminando cada etapa de nuestra vida y por darnos la salud y esperanza para terminar esta monografía.

A nuestros padres y hermanos, por darnos la estabilidad emocional, económica y sobre todo su infinito apoyo para poder alcanzar este logro.

A nuestros docentes, por compartir incondicional, generosa y especialmente sus conocimientos académicos.

Al personal directivo y administrativo de las facultades, por brindarnos todas las facilidades a lo largo de estos años de formación académica.

A nuestros compañeros de estudio, por brindarnos su amistad y apoyo moral.

Agradecimientos

A los ingenieros, arquitectos y docentes de las facultades involucrados, nuestro más sincero agradecimiento por su constante apoyo para la realización de la presente monografía, al mismo tiempo por brindarnos su amistad incondicional y a todas aquellas personas que hemos conocido a lo largo de nuestra vida estudiantil y que aportaron con sus valiosos conocimientos.

Finalmente queremos agradecer a todas las personas que de alguna manera hicieron posible la terminación de esta monografía y no han sido mencionadas, gracias a todos.

Tabla de Contenido

Introducción	15
1. Fotogrametría y Levantamiento Topográfico	17
1.1 Planteamiento del problema	17
1.2 Justificación.....	17
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
2. Marco referencial	20
2.1 Marco teórico	20
2.1.1 Principios de la Topografía	21
2.1.2 Tecnología de Drones.....	21
2.1.3 Ventajas de los Drones en Levantamientos Topográficos	21
2.1.4 Aplicaciones de los Drones en Levantamientos Topográficos	22
2.1.5 Fotogrametría	22
2.1.6 Drones en Fotogrametría.....	22
2.1.7 Sistemas de Información Geográfica SIG	23
2.1.8 Utilidad de los SIG	23
2.1.9 Los errores.....	23
2.1.10 Fuentes de error.....	24
2.2 Marco conceptual	24

2.2.1	Levantamientos Topográficos	24
2.2.2	Ortofoto	24
2.2.3	Fotointerpretación	25
2.2.4	Nube de puntos	25
2.2.5	Planimetría	25
2.2.6	Altimetría	25
2.2.7	Valor verdadero	26
2.2.8	Valor observado	26
2.2.9	Valor más probable	26
2.3	Marco legal.....	26
3.	Método	27
3.1	Fase I: Identificación preliminar de herramientas y actividades de campo	27
3.2	Fase II: Compilación de la investigación y las muestras recopiladas	28
3.2.1	Opciones de procesamiento inicial.....	28
3.2.2	Opciones de procesamiento para nube de puntos y malla.....	28
3.2.3	Opciones de procesamiento para Modelo Digital de Superficie, Ortomosaico e	
índices	29	
3.3	Fase III: Análisis y comparación de resultados.....	29
4.	Resultados	29
4.1	Localización y ubicación del proyecto	29

4.2	Bitácora de Vuelo y puesta en marcha del dron para toma de muestras	31
4.3	Parametrización previa y procesamiento de imágenes.....	34
4.4	Obtención de puntos de control.....	34
4.5	Procesamiento inicial, de nube de puntos y malla	36
4.6	Procesamiento del modelo digital de superficie, ortomosaico e índices.....	37
4.7	Optimización de nube de puntos (RecapPro).....	39
4.8	Fotointerpretación (Global Mapper)	40
4.9	Planimetría (AutoDesk).....	41
4.10	Comparativa entre metodologías aplicadas.....	44
5.	Conclusiones	53
	Referencias	54

Tabla de Figuras

Figura 1. Localización del área de estudio.	30
Figura 2. Planificación de la ruta.	31
Figura 3. Configuración inicial de parámetros para el vuelo.	32
Figura 4. Bitácora de vuelo en MSEXcel.	33
Figura 5. Puntos de control materializados en el sitio.	35
Figura 6. 245 imágenes con su sistema de coordenadas en Pix4DMapper.....	36
Figura 7. Resultado de procesamiento inicial.	37
Figura 8. Nube de puntos obtenida del procesamiento.	38
Figura 9. Nube de puntos optimizada.	39
Figura 10. Modelado de la superficie.....	40
Figura 11. Curvas de nivel generadas.	41
Figura 12. Planimetría perfeccionada.	43
Figura 13. Perfil longitudinal del proyecto.	44
Figura 14. Linderos del lote de terreno.	45
Figura 15. Precisión Vertical.....	46
Figura 16. Precisión horizontal.	47
Figura 17. Precisión de trabajo.....	48
Figura 18. Tiempo de trabajo en campo.....	49
Figura 19. Tiempo de trabajo en diseño.....	50
Figura 20. Tiempo total de trabajo.	51
Figura 21. Costo total de operaciones y diseño.....	52

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Revisión de datos meteorológicos consultados para el vuelo</i>	33
Tabla 2. <i>Puntos de referencia tomados con GPS</i>	35
Tabla 3. <i>Coordenadas y elevaciones de los vértices del proyecto.</i>	42
Tabla 4. <i>Alinderamiento del lote.</i>	42
Tabla 5. <i>Coordenadas para acometidas de servicios públicos.</i>	43
Tabla 6. <i>Tabla descriptiva de variables independientes (En vertical).</i>	46
Tabla 7. <i>Tabla descriptiva de variables independientes (En horizontal).</i>	47
Tabla 8. <i>Tabla descriptiva de variables independientes (Precisión de trabajo).</i>	48
Tabla 9. <i>Tabla descriptiva de variables independientes (Tiempo de trabajo en campo).</i> 49	
Tabla 10. <i>Tabla de variables independientes (Tiempo de trabajo en diseño).</i>	50
Tabla 11. <i>Tabla descriptiva de variables independientes (Tiempo total de trabajo).</i>	51
Tabla 12. <i>Tabla descriptiva de variables independientes (Costo operaciones y diseño).</i> 52	

Lista de Apéndices

“Véanse los archivos en medio digital externo”

Apéndice A Bitácora de Vuelo (Flight Logbook) realizada en MSEXcel.

Apéndice B Reporte de procesamiento entregado por Pix4D Mapper.

Apéndice C Planimetría perfeccionada en software de AutoDesk Civil3D.

Apéndice D Levantamiento Topográfico efectuado para una primera etapa.

Resumen

El presente trabajo fue elaborado con el objeto de perfeccionar mediante una metodología de desarrollo profesional aplicado, el levantamiento topográfico del proyecto de vivienda “El Portal del Bosque” conjunto cerrado, ubicado en el municipio de Tunja-Boyacá para solicitud de licencia urbanística de la segunda y la tercera etapa ante la curaduría urbana pertinente, siguiendo las observaciones contenidas dentro de la Resolución # 1026 del 31 de diciembre de 2021, metodología llevada a cabo por medio de la obtención de muestras fotogramétricas adquiridas mediante una aeronave remotamente tripulada, la fotointerpretación de nube de puntos, el escalamiento de orto-mosaico y postproceso del muestreo fotogramétrico mediante software especializado como Pix4D Mapper, ArcGIS, Global Mapper y las plataformas de Autodesk. Este trabajo complementa la topografía previamente realizada para la concepción de la primera etapa del proyecto, la cual fue elaborada bajo las técnicas convencionales utilizadas por los topógrafos y se efectuó de la misma forma una comparativa, de donde se determinó la confiabilidad en la aplicación de dichos métodos y herramientas tecnológicas.

Palabras clave: Topografía, Dron, Fotointerpretación, Escalamiento

Abstract

The present work was elaborated with the purpose of perfecting by means of a methodology of applied professional development, the topographic survey of the housing project “El Portal del Bosque” closed set, located in the municipality of Tunja-Boyacá for the application of urban development license of the second and third stage before the pertinent urban curator's office, following the observations contained within Resolution # 1026 of December 31, 2021, methodology carried out by obtaining photogrammetric samples acquired by remotely piloted aircraft, photointerpretation of point cloud, ortho-mosaic scaling and post-processing of photogrammetric sampling using specialized software such as Pix4D Mapper, ArcGIS, Global Mapper and Autodesk platforms. This work complements the topography previously carried out for the conception of the first stage of the project, which was elaborated under the conventional techniques used by the topographers and a comparison was made in the same way, from which the reliability in the application of such methods and technological tools was determined.

Keywords: Surveying, Drone, Photointerpretation, Scaling

Glosario

Accidente con aeronave no tripulada: Es todo suceso relacionado con la utilización de una aeronave no tripulada ocurrida entre el momento en que la aeronave está lista para desplazarse con el propósito de realizar un vuelo y el momento en que se detiene (RAC100, 2023, p.9).

Aeronave pilotada a distancia: RPA Aeronave no tripulada que es pilotada desde una estación de pilotaje a distancia (RAC100, 2023, p.9).

Bitácora de vuelo del piloto UAS: Registro de horas de vuelo en UA diligenciado en un formato determinado por el explotador UAS o por el piloto UAS, el cual debe contener como mínimo el nombre del piloto UAS, tipo y número de identificación, fecha del vuelo, hora de despegue, hora de aterrizaje, tiempo total de vuelo, fabricante, características de vuelo y modelo del equipo UAS registrado, tipo y condiciones de operación (RAC100, 2023, p.10).

Dron: En el contexto de los UAS, es la palabra genérica empleada para referirse a cualquier aeronave no tripulada o pilotada a distancia (RAC100, 2023, p.10).

MAGNA SIRGAS: Sistema de referencia geodésico usado en la zona de Colombia, que fue determinado entre los años 1994 y 1997, pero su adopción se oficializó en el año 2004. El elipsoide asociado al sistema corresponde con el GRS80 (Global Reference System 1980), equivalente al WGS84 (World Geodetic System, 1984), (Gil, 2010, p.63).

Observador UA: Persona capacitada y competente, designada por el explotador UAS, quien, mediante observación visual de la aeronave no tripulada, ayuda al piloto UAS en la realización segura del vuelo (RAC100, 2023, p.12).

Operador UA: Persona que manipula los mandos de control de una UA en categoría abierta durante el tiempo de vuelo de esta, quien no cuenta con certificado de idoneidad como piloto UAS (RAC100, 2023, p.13).

Piloto UA: Persona responsable de realizar tareas esenciales en la operación de una aeronave no tripulada UA en categoría específica, quien manipula los controles de vuelo durante toda la operación aérea (RAC100, 2023, p.13).

Sistema de aeronave no tripulada UAS: Es el conjunto conformado por la aeronave no tripulada y sus elementos conexos que permiten operarla a distancia (RAC100, 2023, p.13).

Lista de Abreviaturas

AGL: Altura sobre el nivel del terreno.

GSD: Distancia de muestreo del suelo.

LIDAR (Light Detection and Ranging): Detección y rango de luz.

MDE: Modelo de elevación digital.

MDS: Modelo digital de superficie.

MDT: Modelo digital del terreno.

RAC: Reglamentos aeronáuticos de Colombia.

RPA: Aeronave pilotada a distancia.

RPAS: Sistema de aeronave pilotada a distancia.

SIG: Sistema de información geográfica.

SMS: Sistema de gestión de la seguridad operacional.

UAS: Sistema de aeronave no tripulada.

Introducción

El proyecto de construcción denominado “El Portal del Bosque” conjunto cerrado, se encuentra ubicado en el área urbana de la ciudad de Tunja-Boyacá en la vía nacional que conduce hacia la ciudad de Bucaramanga-Santander, proyecto inicialmente licenciado para construcción en el año 2013 y que ha tenido atrasos concernientes a procesos administrativos referentes a modificaciones en la licencia y otros dentro de su primera etapa de construcción, derivando en que el proceso para el licenciamiento de las siguientes etapas tuviera que ser igualmente postergado y modificado con las respectivas actualizaciones solicitadas por la normativa vigente.

Dentro de algunas de las respectivas modificaciones se encuentra la actualización del estado real de la topografía del lote a intervenir, incluyendo en ella parámetros como la inclusión de los perímetros por las etapas a desarrollar, proyección de redes de servicios públicos además de la inclusión de las redes pasantes existentes y la correspondiente delineación urbana con sus respectivos linderos.

Es determinante especificar que dentro del proceso de licenciamiento al hacer uso de la tecnología acogida por los drones, se proporcionan vistas aéreas en tiempo real de la construcción, permitiendo a la interventoría evaluar el proceso y calidad del trabajo, ayudando de esta forma a asegurar que la misma se adhiera a las normativas y regulaciones con la evidencia visual que respalde el cumplimiento y la documentación concerniente utilizada para el seguimiento del proceso y la presentación de ella ante las partes interesadas.

El producto de la investigación busca la realización de un informe técnico en donde se realiza el postproceso y la fotointerpretación de muestras fotogramétricas adquiridas mediante un sistema aéreo no tripulado UAS, para posteriormente materializar un levantamiento topográfico que contenga las exigencias requeridas dentro de la resolución 1026 del 31 de diciembre del 2021 y las observaciones pertinentes presentadas por la curaduría dentro del proceso para el

licenciamiento de las siguientes etapas de proyecto (etapas 2 y 3) y finalmente la comparación de perímetros en contraste con la topografía convencional realizada previamente al área de estudio dentro de su licenciamiento preliminar en una primera etapa.

Por último, para esta investigación el uso de drones brinda un aporte significativo a la interventoría y supervisión de la construcción, ya que tiene un impacto evidente en el proceso de licenciamiento de edificaciones, que se manifiesta mediante la optimización de los procesos, la facilidad en el cumplimiento normativo que constituye la mejora de la documentación, la aceleración de los tiempos de materialización del producto, el aumento de la transparencia y su principal resultado de un entorno constructivo más eficiente y regulado.

1. Fotogrametría y Levantamiento Topográfico

1.1 Planteamiento del problema

Los levantamientos topográficos convencionales suelen ser por lo general lentos y laboriosos, debido a que los topógrafos frecuentemente afrontan dificultades de acceso a tipologías de terreno que pueden retrasar el proceso, igualmente requieren de equipamiento especializado y un número significativo de trabajadores, por lo que la medición manual se encuentra sujeta a errores, especialmente en condiciones adversas afectando la precisión de los datos recopilados.

La elección del entorno de trabajo no es una opción por lo que las inclemencias del tiempo pueden retrasar o interrumpir los trabajos realizados en campo; la cobertura visual y la perspectiva son limitadas, representando la dificultad para obtener una visión completa del terreno o la superficie, por lo tanto, se manifiesta que los métodos convencionales pueden ser menos eficientes y por ende más costosos en comparación con técnicas modernas que pueden ofrecer de alguna u otra medida soluciones más rápidas, precisas y accesibles.

Por lo tanto, ¿Con la implementación de técnicas modernas como los levantamientos realizados con drones, se puede generar un beneficio en términos de tiempo, costo, eficiencia y fidelidad en comparación con las técnicas convencionales que habitualmente son empleadas?

1.2 Justificación

Los drones han revolucionado los levantamientos topográficos, ofreciendo una serie de ventajas que mejoran la precisión, eficiencia y seguridad del trabajo en campo. Los drones aportan una herramienta valiosa y moderna para los levantamientos topográficos, mejorando la calidad del trabajo, aumentando la seguridad, reduciendo los costos y el tiempo de operación.

Es importante destacar que los trabajos topográficos habituales, como lo son los levantamientos taquimétricos mediante instrumentos y métodos convencionales está limitado por lo general a superficies de pequeña extensión y escalas grandes, puesto que se requiere de un amplio consumo de recursos técnicos y humanos, y un plazo de ejecución largo (Buill y Rodríguez, 2003, p.11).

En el planeamiento y ejecución de los trabajos topográficos para conseguir un modelo tridimensional del objeto en estudio, los drones pueden cubrir grandes extensiones de terreno en menos tiempo que los métodos tradicionales, lo que permite completar levantamientos topográficos en días en lugar de semanas.

De acuerdo con la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección (ISPRS) en su definición “Photogrammetry and Remote Sensing is the art, science, and technology of obtaining reliable information from noncontact imaging and other sensor systems about the Earth and its environment, and other physical objects and processes through recording, measuring, analyzing and representation” (ISPRS, 2000). Por lo que los Drones son ideales para usar en terrenos difíciles o de difícil acceso, como montañas, zonas forestales o áreas urbanas congestionadas, donde los equipos de topografía tradicionales tendrían dificultades para operar. Igualmente, al estar equipados con tecnología avanzada como GPS de alta precisión y sensores LIDAR, los drones pueden obtener datos topográficos con una alta resolución y exactitud, lo que mejora la calidad de los modelos digitales del terreno.

Por otro lado, al reducir la necesidad de trabajo en terrenos peligrosos o en condiciones adversas, los drones contribuyen a mejorar la seguridad en el lugar de trabajo. Aunque la inversión inicial en drones y tecnología puede ser alta, los costos operativos son generalmente más bajos, ya que reducen la necesidad de mano de obra y el tiempo de trabajo en el campo.

Dentro de la utilidad de los Sistemas de Información Geográfica SIG se deriva de su capacidad para responder a cuestiones relacionadas con problemas de índole espacial. En este sentido, el SIG se convierte en un útil idóneo, preparado para ofrecer respuestas a múltiples interrogantes, vinculados con la localización y organización espacial de las actividades en el territorio (Santos, 2020, p.13).

Es por esta razón que, integrando la capacidad de realizar levantamientos con regularidad, se permite a las empresas mantener actualizados los mapas y modelos topográficos, lo cual es esencial para proyectos en desarrollo y planificación a largo plazo. Los drones generan imágenes aéreas y modelos 3D que facilitan el análisis y la interpretación de datos, lo que ayuda en la toma de decisiones en proyectos de ingeniería, construcción y planificación territorial.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Perfeccionar mediante una metodología de desarrollo profesional aplicado el levantamiento fotogramétrico del proyecto de vivienda “El Portal Del Bosque” conjunto cerrado, ubicado en el municipio de Tunja-Boyacá para solicitud de licencia urbanística de la segunda y tercera etapas ante la curaduría urbana pertinente y la comparación de perímetros con los contenidos en la topografía realizada anteriormente en una primera etapa.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento fotogramétrico planificado mediante una aeronave remotamente tripulada y sistema de GPS de alta precisión, perfeccionando el dimensionamiento y la topografía del predio objeto.

- Revisar y analizar la precisión geolocalizada y dimensiones del terreno a partir de la topografía previamente realizada en el licenciamiento de la primera etapa del proyecto.
- Aplicar los procesos de fotointerpretación por medio del uso de herramientas de software Pix4d mapper, Recap Pro, Global Mapper y AutoCAD para la creación del modelo digital, edición y verificación del terreno y superficie, desarrollando la nube de puntos y el ortomosaico con el fin de definir una planimetría escalada que permita establecer las dimensiones del lote a intervenir.
- Establecer una comparativa entre las metodologías aplicadas para determinar la eficiencia tecnológica empleada al momento de realizar un levantamiento topográfico, instaurando un método para aplicar la verificación de los perímetros y propiedades de un terreno, afianzando la labor del control y verificación por parte del Interventor en el respectivo proceso que concluye con un licenciamiento.

2. Marco referencial

2.1 Marco teórico

El uso de drones en levantamientos topográficos ha transformado la forma en que se recopilan y analizan datos geoespaciales. Esta tecnología ofrece ventajas significativas en términos de eficiencia, precisión y seguridad, en comparación con los métodos tradicionales. En este marco teórico, se abordarán los principios de la topografía, el funcionamiento de los drones y su aplicación en levantamientos topográficos.

2.1.1 Principios de la Topografía

La topografía es la ciencia que se encarga de medir y representar la superficie terrestre y sus características. Se basa en principios geométricos y matemáticos que permiten la representación precisa de terrenos en dos o tres dimensiones (Mann, 2018). Los levantamientos topográficos son esenciales para la planificación de proyectos de construcción, estudios ambientales y gestión del territorio (Hassan et al., 2019).

2.1.2 Tecnología de Drones

Los drones, o vehículos aéreos no tripulados (UAS), son dispositivos equipados con tecnología de navegación y sensores que permiten la captura de datos desde el aire. Existen diferentes tipos de drones utilizados en topografía, incluidos aquellos equipados con cámaras de alta resolución y tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging) (Colomina & Molina, 2014). Estos sensores permiten obtener datos precisos sobre la superficie terrestre, generando modelos digitales de elevación y ortofotos.

2.1.3 Ventajas de los Drones en Levantamientos Topográficos

Los drones ofrecen múltiples ventajas en comparación con los métodos convencionales:

2.1.3.1 Eficiencia. Los drones pueden cubrir grandes áreas en poco tiempo, lo que reduce el tiempo total del levantamiento (Anderson & Gaston, 2013).

2.1.3.2 Precisión. Equipados con tecnología avanzada, los drones pueden alcanzar niveles de precisión en la captura de datos que son difíciles de lograr con métodos manuales (Zhang & Kovacs, 2012).

2.1.3.3 **Seguridad.** Al permitir inspecciones aéreas, los drones minimizan el riesgo de accidentes en terrenos peligrosos o de difícil acceso (Beyler et al., 2020).

2.1.4 *Aplicaciones de los Drones en Levantamientos Topográficos*

Los drones se utilizan en diversas aplicaciones, incluyendo:

2.1.4.1 **Proyectos de infraestructura.** Facilitan el monitoreo de obras en construcción y la evaluación del progreso (Kouadio et al., 2019).

2.1.4.2 **Agricultura de precisión.** Permiten la recopilación de datos para la gestión eficiente de recursos agrícolas (Liu et al., 2019).

2.1.4.3 **Estudios ambientales.** Contribuyen a la evaluación de impactos ambientales y gestión de recursos naturales (Rocca et al., 2020).

2.1.5 *Fotogrametría*

La fotogrametría es la ciencia que se encarga de medir y analizar fotografías para obtener información sobre la forma y las dimensiones de los objetos. Se basa en principios geométricos que permiten reconstruir la geometría de un objeto a partir de múltiples imágenes tomadas desde diferentes ángulos (Wolf & Dewitt, 2000). Este proceso implica técnicas de calibración de cámaras, georreferenciación y modelado tridimensional.

2.1.6 *Drones en Fotogrametría*

Los drones, o vehículos aéreos no tripulados (VANT), han emergido como herramientas clave en la fotogrametría moderna. Equipados con cámaras digitales de alta resolución y, en

ocasiones, con sensores LIDAR, permiten la captura de datos aéreos con alta precisión y eficiencia (Colomina & Molina, 2014). La capacidad de operar a baja altitud y en áreas de difícil acceso hace que los drones sean ideales para aplicaciones de fotogrametría.

2.1.7 Sistemas de Información Geográfica SIG

Se define como herramientas informáticas, capaces de gestionar y analizar la información georreferenciada, con vistas a la resolución de problemas de base territorial y medioambiental. El primero de los términos pondría el acento en el carácter computarizado del tratamiento de la información. (Santos, 2020, p.13). Son herramientas bastante útiles que facilitan la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos de carácter espacial y geográfico, permitiendo abarcar diversas áreas y sectores para comprensión del entorno gráfico, así como la adecuada toma de decisiones informadas de múltiples sectores por parte del interesado.

2.1.8 Utilidad de los SIG

La utilidad de los SIG se deriva de su capacidad para responder a cuestiones relacionadas con problemas de índole espacial. En este sentido, el SIG se convierte en un útil idóneo, preparado para ofrecer respuestas a múltiples interrogantes, vinculados con la localización y organización espacial de las actividades en el territorio (Santos, 2020, p13).

2.1.9 Los errores

No se puede medir exactamente ninguna magnitud; por perfectos que sean los procedimientos y aparatos que se empleen; cada medida que se haga estará siempre afectada por un error. Al considerar una magnitud cualquiera debemos distinguir en ella tres valores: valor verdadero, valor observado y valor más probable (Márquez, 2017, p. 6).

2.1.10 Fuentes de error

En las medidas hechas en topografía no es posible tener el valor exacto a causa de los inevitables errores inherentes al operador, a la clase de instrumentos empleados y a las condiciones en que se efectúa la medida (Márquez, 2017, p.6).

2.2 Marco conceptual

Los levantamientos topográficos son fundamentales para la planificación y ejecución de proyectos en diversas disciplinas, como la ingeniería civil, la arquitectura y la gestión ambiental. La integración de drones en estos procesos ha revolucionado la manera en que se recopilan, analizan y presentan los datos geoespaciales.

2.2.1 Levantamientos Topográficos

Los levantamientos topográficos consisten en la medición y representación de las características físicas de la superficie terrestre. Estos levantamientos permiten crear representaciones gráficas, como mapas y modelos digitales de elevación, que son cruciales para la toma de decisiones en proyectos de infraestructura (Hassan et al., 2019).

2.2.2 Ortofoto

Es una imagen fotográfica de la superficie terrestre confeccionada con una o más fotografías aéreas, que son rectificadas para corregir las distorsiones debidas al movimiento e inclinación de la cámara aérea, el desplazamiento por el relieve, la altura de vuelo y el trayecto del avión (Vojkovic, 1996, p.2). Con este proceso se consigue un escalamiento exacto y único en donde se involucra a la computación para realizar la respectiva corrección y alineación de las fotos aéreas tomadas.

2.2.3 Fotointerpretación

Es una técnica mediante la cual se detectan, identifican, y separan o clasifican, los objetos o fenómenos de la superficie terrestre, utilizando procesos y criterios lógicos de interpretación sobre fotografías aéreas o imágenes satelitales, obteniendo información útil (Sisti, 2022, p.37). A partir de esta técnica se descifra la información contenida en las imágenes aéreas para obtener las características sobre el terreno observado.

2.2.4 Nube de puntos

La información obtenida de una escena mediante algún sistema de escaneo 3D se le denomina nube de puntos, y se puede usar para construir modelos digitales tridimensionales que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, entre ellas la metrología, automovilismo, arqueología, arquitectura, videojuegos, etc. (Salazar et al, 2012, p.136).

2.2.5 Planimetría

Estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo (Márquez, 2017, p.3). Por lo cual está constituido por los trabajos necesarios que se efectúan para captar en el campo de trabajo los datos geométricos que permitan construir una figura que sea semejante a la del terreno y que quede proyectada sobre un plano horizontal.

2.2.6 Altimetría

Determina las alturas de los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia; generalmente correspondiente al nivel medio del mar (Márquez, 2017, p.3).

2.2.7 Valor verdadero

El valor verdadero de una magnitud es el que está exento de todo error; y por lo mismo, será siempre desconocido para nosotros (Márquez, 2017, p.6).

2.2.8 Valor observado

El valor observado es el que resulta de la observación o experimentación, después de hechas todas las correcciones instrumentales y del medio en que se trabaja (Márquez, 2017, p.6).

2.2.9 Valor más probable

El valor más probable de una cantidad es el que más se acerca al valor verdadero de acuerdo con las observaciones hechas o medidas tomadas (Márquez, 2017, p.6).

2.3 Marco legal

Edición inicial como origen de la necesidad de la aviación local, armonización con RAC 100 de Sistema Regional de Cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional SRVSOP, mediante la temática de la Reglamentación de Operación de Sistemas de Aeronaves no Tripuladas UAS adoptado por la Resolución #01983 de 2023 y publicada en el Diario Oficial # 52.531 del 27 de septiembre de 2023 por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. Secretaría de Autoridad Aeronáutica – Grupo Estructura Normativa y Estándares Aeronáuticos. Colombia.

Resolución 1026 de 2021. Por medio de la cual se modifica la Resolución 463 de 2017, relacionada con el Formulario Único Nacional para la solicitud de licencias urbanísticas y el reconocimiento de edificaciones y otros documentos. Publicada el 31 de diciembre de 2021. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. 2021).

3. Método

3.1 Fase I: Identificación preliminar de herramientas y actividades de campo

Está compuesta por la planificación y ejecución del vuelo de reconocimiento y muestreo sobre el predio objeto de estudio, proyecto urbanístico denominado “El Portal del Bosque conjunto cerrado” en donde por medio de los conocimientos técnicos desarrollados, se diseña una bitácora de vuelo y se consignan los datos técnicos relevantes y especificidades en un formato para el desarrollo de misiones de vuelo con la respectiva toma de muestras fotogramétricas, todo esto valiéndose del uso de plataformas web, aplicativos desarrollados por la Aerocivil e instrumentación para la obtención de los datos que apremian ser consignados en la ejecución segura de la misión autónoma de la UAS.

Para la realización del muestreo fue elegido el Dron de DJI Mavic Air 2S, que tiene un peso de 595 gramos, es plegable y compacto, su cámara ofrece videos hasta en 5.4K a 30fps, contando con la tecnología avanzada APAS 4.0 para detectar obstáculos en 4 direcciones (Adelante, Atrás, Arriba y Abajo). La cámara está equipada con un sensor de 1 pulgada CMOS con 20MP de píxeles efectivos con tamaño de píxel de $2.4\mu\text{m}$. El rango de precisión en vuelo estacionario vertical es de (± 0.1 m con posicionamiento visual y ± 0.5 m con posicionamiento por GPS) y horizontal de (± 0.1 m con posicionamiento visual y ± 1.5 m con posicionamiento por GPS). La velocidad máxima cerca del nivel del mar y sin viento es de 16m/s en modo S, 10m/s en modo N y 6m/s en modo C y un alcance máximo en distancia de vuelo de 18.5km. La resistencia máxima a ráfagas de viento es de 8.5 a 10.5 m/s (Soporte DJI, 2023).

La obtención de los puntos de control fue realizada por medio de la herramienta Garmin eTrex 10 que dispone de un receptor GPS con WAAS de alta sensibilidad y predicción por satélite HotFix, localizando la posición de forma rápida y precisa, manteniendo la ubicación GPS incluso

en bosques espesos y cañones de gran profundidad o simplemente cerca de edificios o árboles altos. La serie eTrex dispone del primer receptor para consumidores que puede rastrear satélites GPS y GLONASS de forma simultánea, siendo este último aproximadamente un 20% más rápido en “fijar” la posición media más rápido que el GPS (Garmin and subsidiaries, 2024).

3.2 Fase II: Compilación de la investigación y las muestras recopiladas

Con el objeto de compilar la información recolectada por medio del uso de los software expuestos anteriormente, se realiza la configuración de cada parámetro deseado para la respectiva obtención del modelo deseado, seleccionando principalmente los acá resumidos:

3.2.1 Opciones de procesamiento inicial

En esta se recoge el escalado de la imagen para puntos clave, habiendo la opción de seleccionar entre un procesamiento Estándar o Completo que genera un MDS y un ortomosaico para aplicaciones de mapeo con relación Alta de calidad y Consistencia de los resultados y un procesamiento Rápido que genera con una pérdida potencial en la calidad y consistencia de los resultados mayormente orientadas hacia el terreno.

3.2.2 Opciones de procesamiento para nube de puntos y malla

En esta opción se parametrizan la densificación de la nube de puntos en cuanto a la escala de la imagen a (Tamaño original, mitad, $\frac{1}{4}$ de tamaño y $\frac{1}{8}$ de tamaño de la imagen), la densificación de los puntos como (Baja, alta y óptima), el mínimo número de emparejamientos, la opción de clasificación de la nube de puntos que mejora la generación del Modelo digital de terreno y los tipos de archivo para exportar (Tipo LAS, LAZ, PLY y XYZ).

También se realiza la configuración para generar la malla 3D con textura en resoluciones (Alta, media y baja) con opción de balanceado de color para texturas y los tipo de archivos para exportar (Tipo PLY, FBX, DXF y OBJ).

3.2.3 Opciones de procesamiento para Modelo Digital de Superficie, Ortomosaico e índices

En esta opción se parametriza para el MDS y Ortomosaico eligiendo la resolución x GSD con opción de filtrado de ruido y suavizado de superficie de tipo (Lisa, media o afilada), el ráster para el MDS con metodología para el GeoTIFF de (Triangulación o Ponderación de distancia inversa). Para el ortomosaico el GeoTIFF con fusión de teselas o GeoTIFF sin transparencia. Igualmente se seleccionan los tipo de archivos a exportar (Tipo XYZ, LAS y LAZ) para el Grid del MDS y para las curvas de nivel generadas desde el MDS (Tipo SHP, PDF y DXF).

3.3 Fase III: Análisis y comparación de resultados

Por último, es consolidada toda información inherente a la temática planteada, ella se configura en los distintos software de procesamiento para generar los resultados que dan como producto la descripción del terreno, una vez generada dicha representación, se procede a hacer la correspondiente comparación entre metodologías haciendo la correlación y determinando los aciertos y pormenores de cada técnica empleada.

4. Resultados

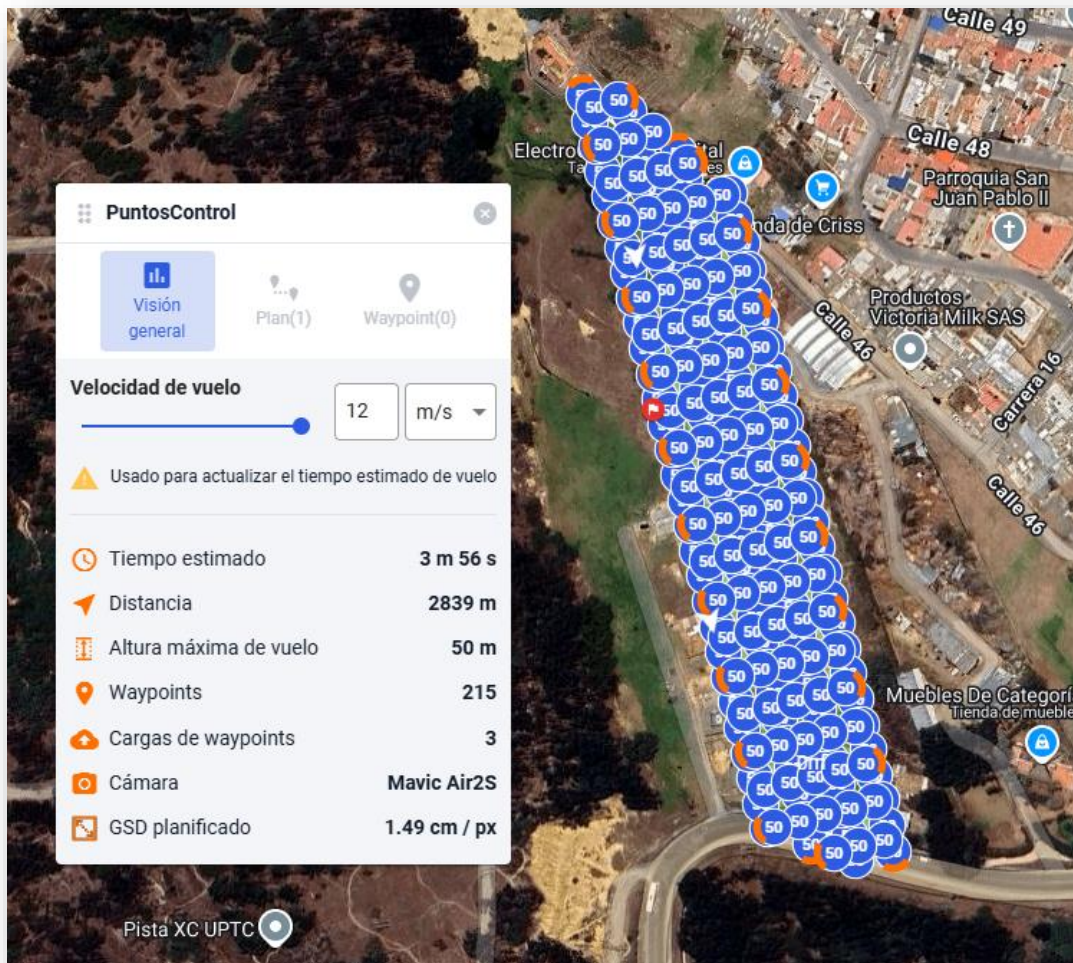
4.1 Localización y ubicación del proyecto

El predio se encuentra localizado en el municipio de Tunja, departamento de Boyacá, en la avenida sobre la salida que de Tunja conduce hacia la ciudad de Bucaramanga-Santander # 13-112,

en donde se encuentra en construcción el proyecto de vivienda “El Portal del Bosque” conjunto cerrado. Su matrícula inmobiliaria es 070-181195 de la Oficina de Registro de Instrumentos Públicos, con una identificación catastral de 010202580042000 y registrado el ENGLOBE del predio con un área de 12.659 m². Se puede observar un acercamiento en la figura 1.

Figura 1. Localización del área de estudio.



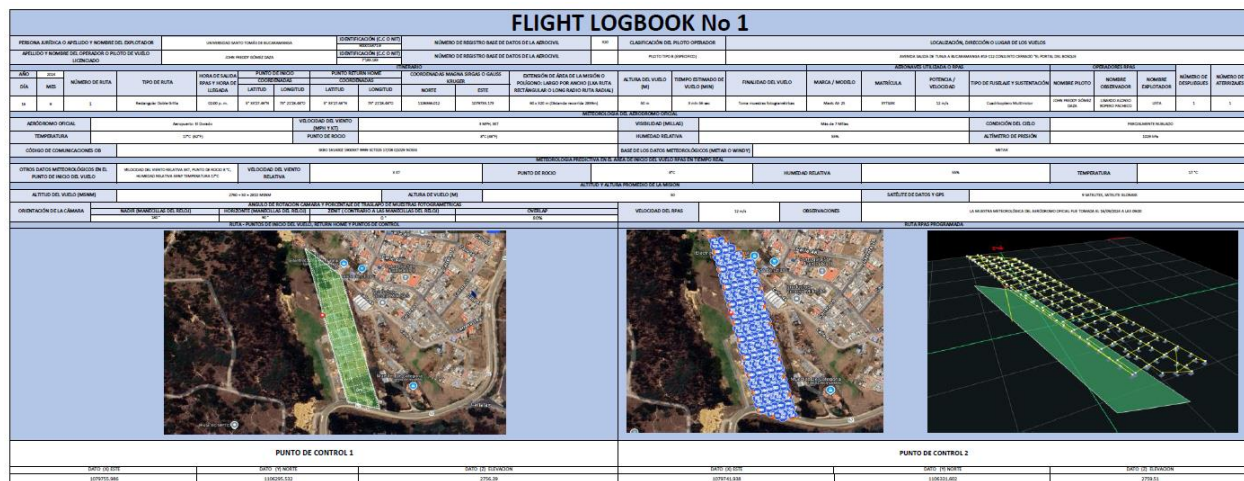
Figura 3. Configuración inicial de parámetros para el vuelo.

Tomado de (Drone Harmony, 2024).

Posteriormente, para la obtención de los datos meteorológicos se consultó por medio del código OACI el aeropuerto más cercano, SKBO siendo éste el de la ciudad de Bogotá ubicado a 128 Km, llamando a consulta en la aplicación para Android Metar. La revisión de los datos meteorológicos se realizó igualmente en la plataforma Windy y en la aplicación para Android UAV Forecast basado en la ubicación precisa del proyecto y en tiempo real obteniendo el siguiente resumen de datos organizados en la tabla 1. y consignándolos en la forma de MSEXcel para la bitácora del vuelo, captura que puede verse en la figura 4.

Dato meteorológico	Propiedad
Velocidad de viento relativa	5 km/h (3 KT)
Punto de rocío	8°C (46°F)
Humedad relativa	55%
Temperatura	17°C (62°F)
Visibilidad en kilómetros	Más de 11 km (7 Millas)
Condición del cielo	Parcialmente nublado
Altímetro de presión	1029 hPa (30.39 in. Hg)
Velocidad de ráfagas	25 km/h (15.5 MPH)
Dirección del viento	190° Desde el sur
Código OACI	SKBO 161400Z 19003KT 9999 SCT025 17/08 Q1029 NOSIG

Figura 4. Bitácora de vuelo en MSExcel.



Bitácora de Vuelo elaborada en el software de Microsoft Excel.

El vuelo como quedó consignado en la bitácora de MSEXcel (Véase el Apéndice A) se realizó el día 16 de septiembre de 2024 a las 14:00 hora local, utilizando el Dron de marca DJI Mavic AIR 2S con una distancia recorrida total de 2.839 metros a una velocidad máxima de 12m/s tardando 3 minutos con 56 segundos en realizar la toma de muestras.

4.3 Parametrización previa y procesamiento de imágenes

Del resultado de la toma de muestras se obtuvo un total de 245 imágenes, que al ser depuradas y revisadas quedaron habilitadas para su respectivo procesamiento la totalidad de ellas, cargándolas por último en la aplicación de Pix4D Mapper, pudiéndose apreciar en la figura 6. y asociando las mismas al sistema de coordenadas con su correspondiente precisión de la geolocalización y el modelo de cámara usado durante la captura de muestreo.

La plantilla de opción de procesamiento fue seleccionada en un modelo de análisis Estándar para mapas 3D, que genera un MDS (Modelo Digital de Superficie) y un ortomosaico para aplicaciones con relación Alta en calidad y consistencia de los resultados; únicamente repercutiendo en la velocidad de análisis del equipo de cómputo utilizado ya que es más demorado el procesamiento.

4.4 Obtención de puntos de control

Con el objeto de optimizar y garantizar la precisión en la información captada, se materializaron tres puntos de control (3) por medio del uso de un dispositivo GPS de alta precisión, apoyándose del uso de 4 sillas plásticas, 2 conos viales con cinta reflectante de tamaño grande y el uso de una esquina en una de las torres ya construidas del proyecto como se puede observar en las imágenes capturadas e ilustradas en la figura 5. y devolviendo los valores tomados del GPS marca Garmin eTrex 10 resumidos en la tabla 2.

Tabla 2. *Puntos de referencia tomados con GPS*

P.C.	Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)
A	1079755.986	1106295.532	2756.39
B	1079741.938	1106331.602	2759.51
C	1079762.890	1106364.316	2767.95

Nota: Puntos materializados en el sitio con placas.

Figura 5. *Puntos de control materializados en el sitio.*

Tomas fotográficas realizadas en el terreno a intervenir.

4.5 Procesamiento inicial, de nube de puntos y malla

Por medio del uso del software Pix4D Mapper se generó el procesamiento inicial, que busca la escala de la imagen en tamaño original “completa” para los puntos clave, por lo cual se encuentran los puntos comunes contenidas en las imágenes. Posteriormente se computó la densificación de la nube de puntos, clasificándola en forma óptima, con un número mínimo de emparejamientos de 3 muestras y un escalado de imagen de la mitad del tamaño de imagen, la generación de la malla 3D se hizo con una resolución media “triangulación realizada por defecto”, obteniendo como tal los resultados mostrados en el reporte (Véase el Apéndice B) y la figura 7.

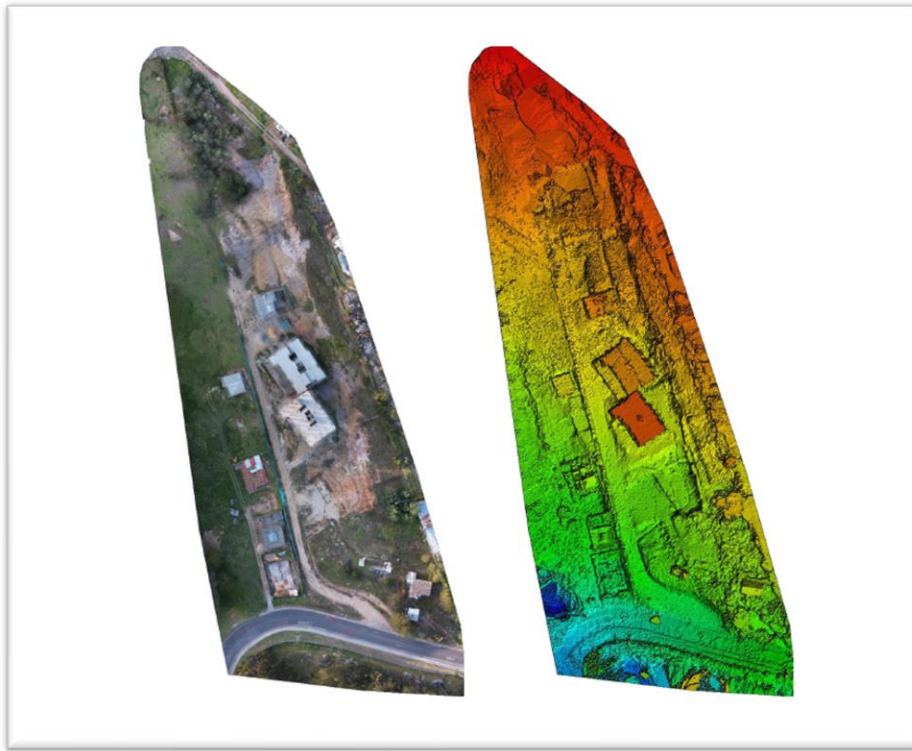
Figura 6. 245 imágenes con su sistema de coordenadas en Pix4DMapper.



Tomado de (Pix4DMapper, 2024).

En el resultado se obtuvo un cubrimiento de área de 3.51 hectáreas, un promedio de muestreo en distancia al suelo de 1.46 centímetros, la media de 27.121 puntos clave por imagen, 24'351.464 puntos 3D densificados y una densidad promedio de 1038.9 por metro cúbico.

Figura 7. *Resultado de procesamiento inicial.*



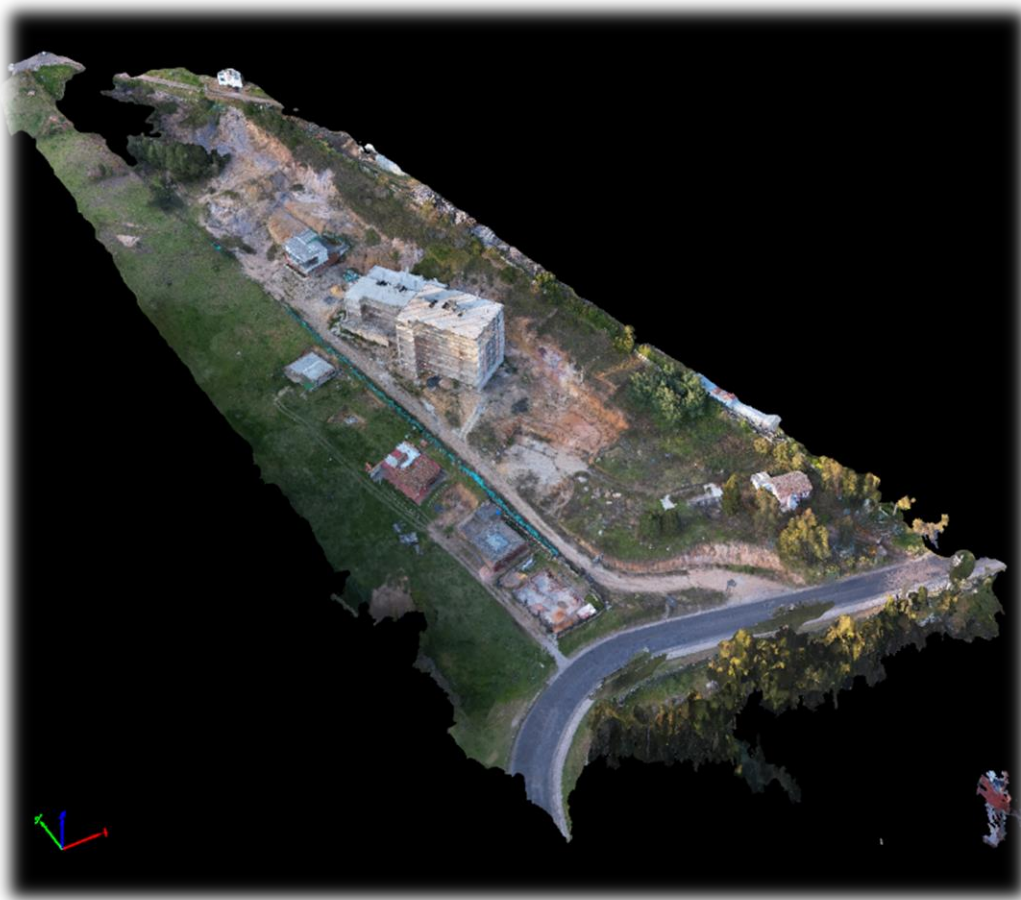
Tomado de (Pix4DMapper, 2024).

4.6 Procesamiento del modelo digital de superficie, ortomosaico e índices

En este apartado se seleccionó dentro de las opciones de procesamiento la salida para el DSM (Modelo digital de superficie) y el Ortomosaico, definiendo la resolución espacial permitida, los parámetros de filtrado y el suavizado de los puntos de la nube de puntos empleada para obtener el DSM; basados en un mapa de índices, siendo esta una imagen de banda única en donde cada valor de píxel se calcula utilizando una fórmula matemática incluida en el software que combina información de banda de los mapas de reflectancia.

Para este en los resultados de procesamiento se tuvo como derivación una resolución de 1xGSD (1.46 cm por píxel) en el DSM y el Ortomosaico, aplicando una filtración para el suavizado de la superficie de tipo “Sharp” quien trata de preservar la orientación de la superficie y preserva los filos y las esquinas en las edificaciones muestreadas. La grilla resultante del DSM fue generada con un espaciado de 100 centímetros, la resolución del DTM (Modelo digital de terreno) resultó de 5xGSD a 1.46 cm por píxel y la generación de líneas de contorno fue constituida con intervalos de elevación de 10 metros a una resolución de 1 metro con un mínimo para línea de vértices de 20, obteniendo como resultado los mostrados en la figura 8.

Figura 8. *Nube de puntos obtenida del procesamiento.*



Tomado de (Pix4DMapper, 2024).

4.7 Optimización de nube de puntos (RecapPro)

La plataforma de Autodesk Recap está compuesta por una serie de software con servicios que proporcionan diversos flujos de trabajo que facilitan la manipulación de información adquirida por medio de datos de fotografía, escaneos y resultados como nube de puntos para la creación de modelos 3D o imágenes 2D.

Después de realizado el procesamiento de las muestras fotogramétricas y la respectiva creación de los modelos objeto de estudio, se realizó la revisión, ajuste y optimización de las texturas del modelo, eliminando la geometría no deseable o simplemente no utilizable y redundante, esta puede ser apreciada brevemente en la figura 9., con el fin de generar las mediciones necesarias comprobando la validez de la muestra generada y posteriormente poder mover la información a otras aplicaciones de la plataforma Autodesk y Global Mapper.

Figura 9. *Nube de puntos optimizada.*

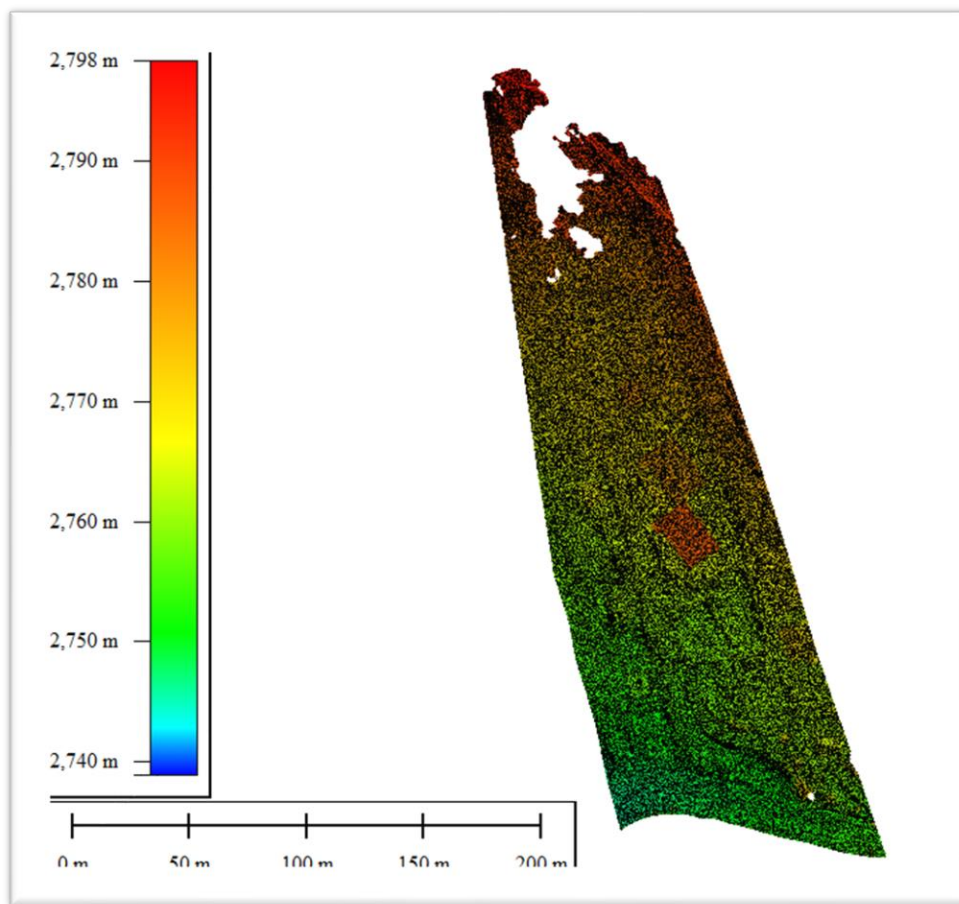


Tomado de (Autodesk Recap, 2024).

4.8 Fotointerpretación (Global Mapper)

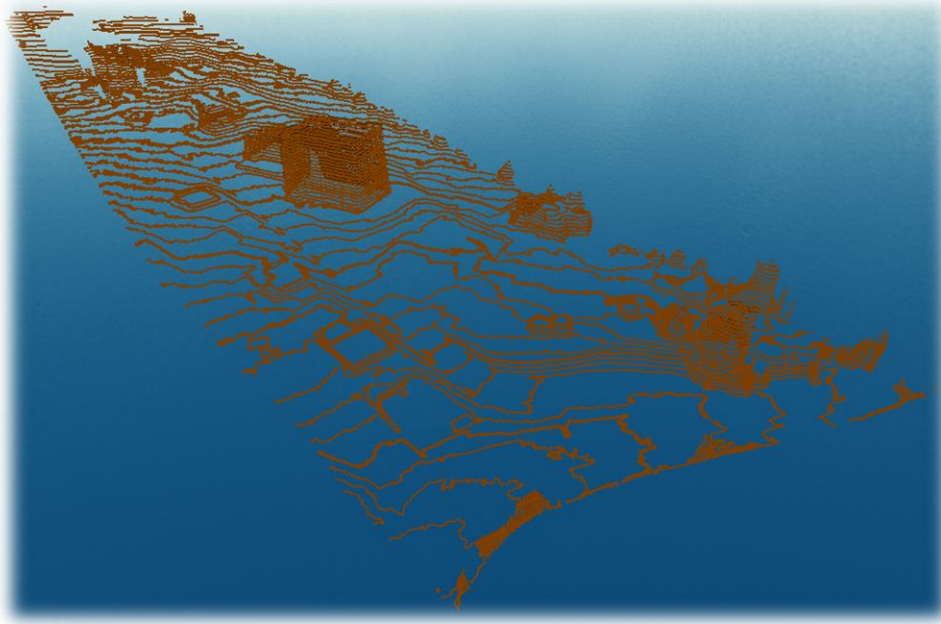
Seguidamente se utilizó la plataforma de Global Mapper que tiene la capacidad de mostrar, convertir y analizar los datos geospaciales adquiridos previamente en 2D y 3D de la nube de puntos remota importada, obteniendo con ella la fotointerpretación de los datos relevantes y la generación de contornos a partir de los datos de superficie captados como se puede apreciar en las figuras 10 y 11, para posteriormente exportar rápidamente los diferentes conjuntos de datos ráster, vectoriales y de elevación para realizar la planimetría correspondiente desde la plataforma de Autodesk.

Figura 10. *Modelado de la superficie.*



Tomado de (GlobalMapper, 2024).

Figura 11. *Curvas de nivel generadas.*



Tomado de (GlobalMapper, 2024).

4.9 Planimetría (AutoDesk)

Se empleó la aplicación de Civil3D para perfeccionar la planimetría del proyecto con los requerimientos contenidos dentro del apartado 2.3, ellos pueden apreciarse mínimamente en las figuras 12 y 13 y completo en el Apéndice C, por el cual se realiza la importación de los datos de elevación y vectorizado de las muestras ya tratadas por las aplicaciones anteriormente mencionadas, georreferenciándolas y creando una superficie contenedora con la información y descripción respectiva, como lo son la localización y ubicación del lote en estudio en cuadrícula de coordenadas GAUSS KRUEGER, la ubicación del norte del proyecto, cotas de elevación, coordenadas de las tomas o acometidas de las redes de servicio público (tabla 5), linderos y distancias entre los puntos como reposa en la escritura y matrícula inmobiliaria (tablas 3 y 4), perfil del terreno y los puntos de control tomados para el amarre del proyecto; los puntos georreferenciados mencionados anteriormente son mostrados en la tabla 2.

Tabla 3. *Coordenadas y elevaciones de los vértices del proyecto.*

Vértice	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m.s.n.m.)
D	1079747.227	1106270.013	2749.72
E	1079802.731	1106255.700	2755.65
F	1079727.839	1106519.380	2790.90
G	1079684.090	1106560.281	2796.00
H	1079674.206	1106563.823	2796.00
I	1079672.816	1106559.998	2795.22

Nota. Datos recopilados de la planimetría generada.

Tabla 4. *Alinderamiento del lote.*

Origen	Vértices	Colindante	Longitud
Norte	H – I	Barrio San Rafael	4.07 m
Norte	G – H	Barrio San Rafael	10.50 m
Norte	F – G	Barrio San Rafael	59.89 m
Oriente	E – F	Lote COINVER	274.11 m
Sur	D – E	Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	57.32 m
Occidente	I – D	Heraclio Rico Moreno	299.38 m

Área del Lote: 12.659 m²

Matrícula Inmobiliaria: 070-181195

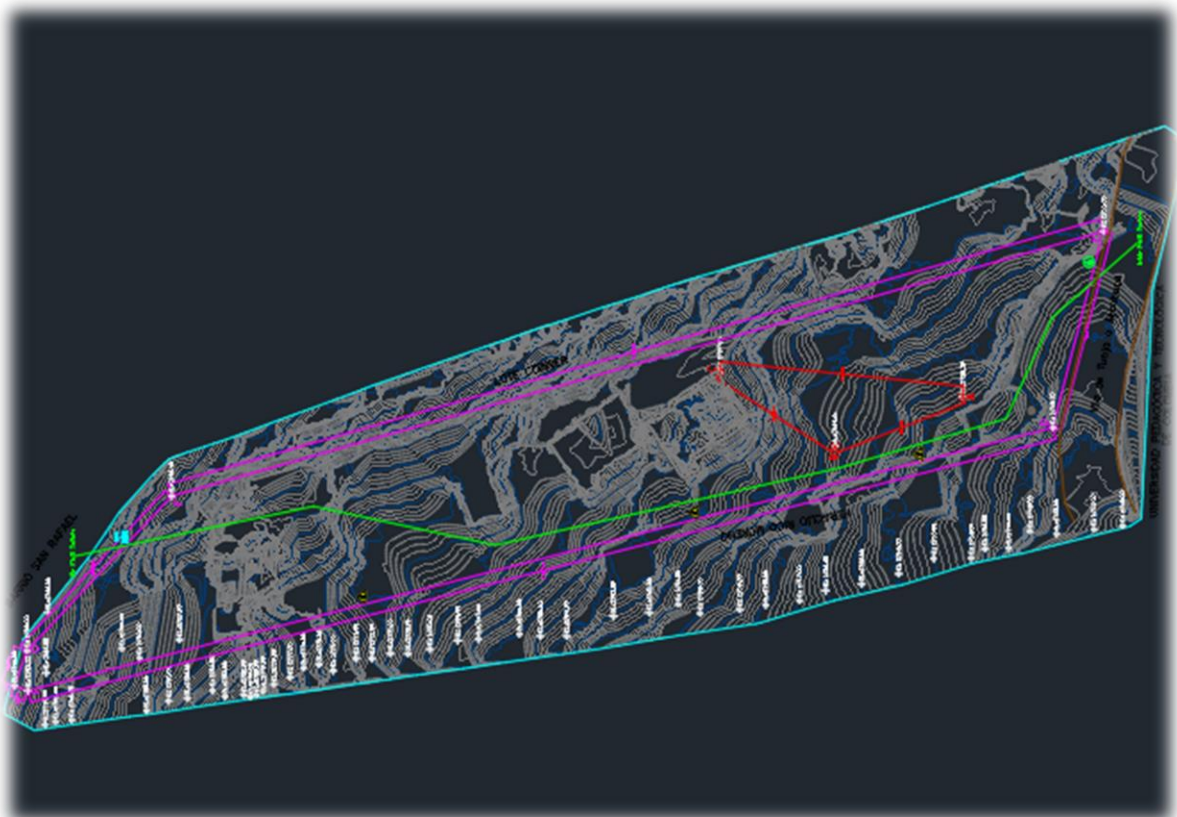
Código Catastral: 010202580042000

Nota: Los datos fueron recopilados de los que reposa en la escritura pública.

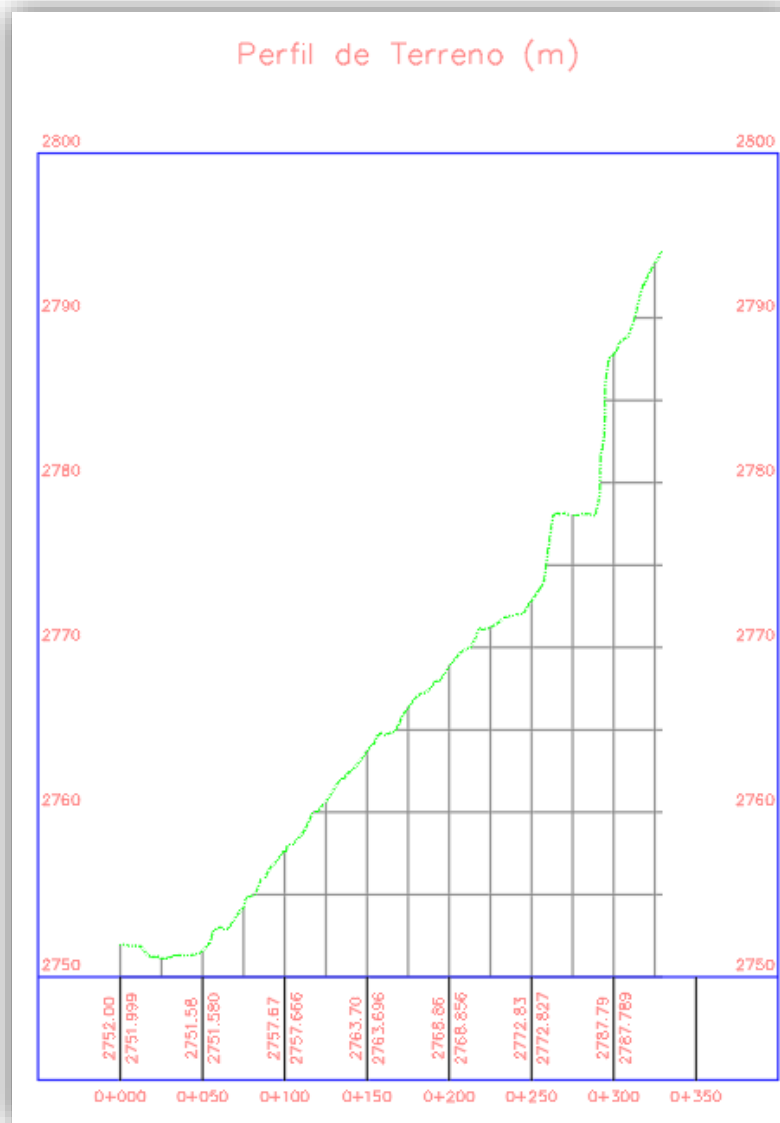
Tabla 5. *Coordenadas para acometidas de servicios públicos.*

Red de servicio público	Este (m)	Norte (m)
Alcantarillado	1079751.988	1106276.106
Luz etapa 1	1079737.975	1106306.931
Luz etapa 2	1079721.526	1106370.353
Luz etapa 3	1079697.451	1106464.171
Agua	1079716.308	1106533.290
Gas	1079794.016	1106259.778

Nota: Los datos fueron obtenidos en campo por medio del uso del GPS marca Garmin.

Figura 12. *Planimetría perfeccionada.*

Tomado de (Autodesk Civil3D, 2024).

Figura 13. *Perfil longitudinal del proyecto.*

Tomado de (Autodesk Civil3D, 2024).

4.10 Comparativa entre metodologías aplicadas

Para la obtención de comparativas se estableció que el punto base de las longitudes de los perímetros del lote sería la escritura pública con la que se encuentran representados los vértices legalmente; en la figura 14 se puede apreciar los linderos con las longitudes pertinentes a cada costado del lote. Igualmente, éstos fueron resumidos en la tabla 4.

Figura 14. *Linderos del lote de terreno.*

NORTE: Partiendo del mojón No. 8, siguiendo en sentido Nor-Oriental en longitud de cuatro metros con siete centímetros (4,07 metros), hasta el mojón No. 1. Siguiendo en sentido Sur-Oriental en longitud de diez metros con cincuenta centímetros (10,50 metros), hasta el mojón No. 2. Siguiendo en sentido Sur-Oriental en longitud de cincuenta y nueve metros con ochenta y nueve centímetros (59,89 metros), hasta el mojón No. 3 donde termina el lindero, lindando por todo este costado con predios del BARRIO SAN RAFAEL.

ORIENTE: Del mojón No. 3 siguiendo en sentido Sur-Oriental en longitud de doscientos setenta y cuatro metros con once centímetros (274,11 metros), hasta el mojón N° 6, lindando con predios de propiedad de: COINVER y JUNTA DE VIVIENDA COMUNITARIA "EL PORTAL DEL BOSQUE".

SUR: Del mojón N° 6 siguiendo en sentido Nor-Occidente, en longitud de cincuenta y siete metros con treinta y dos centímetros (57,32 metros), hasta el mojón N° 7; vía carretable al medio que conduce de Tunja a Arcabuco, lindando con predios de propiedad de: UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA.

OCIDENTE: Del mojón N° 7, siguiendo en sentido Nor-Occidente en longitud de doscientos noventa y nueve metros con treinta y ocho centímetros hasta el mojón No. 8 punto de partida y encierra; lindando con predio de propiedad del Señor: HERACLIO RICO MORENO.

Imagen tomada de la escritura pública del lote.

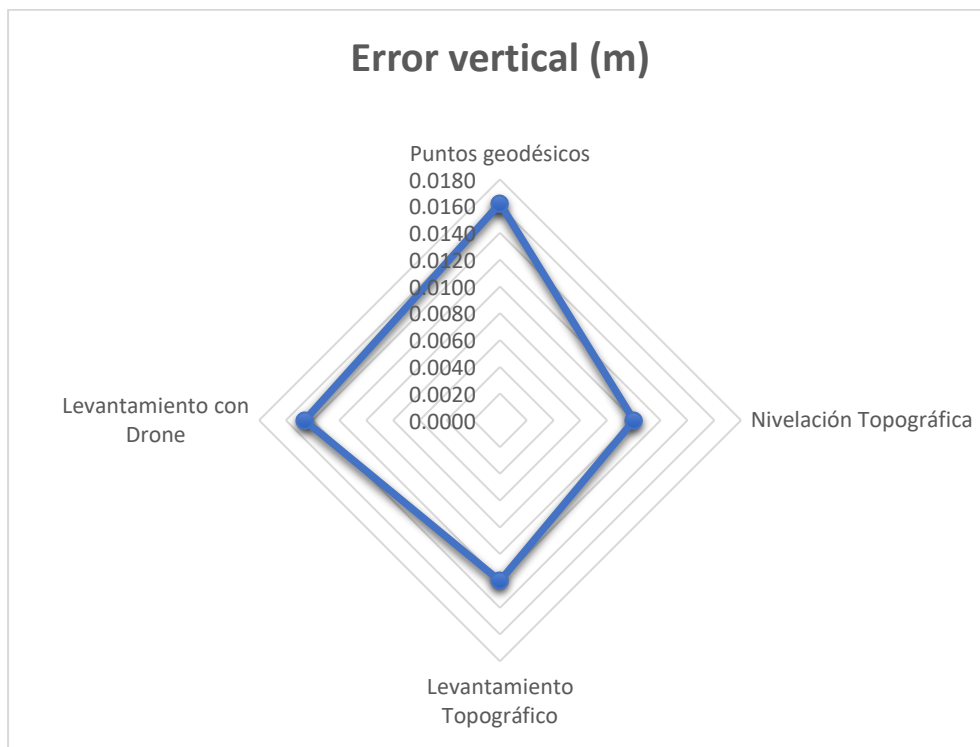
El levantamiento topográfico para una primera etapa del proyecto fue realizado por medio del uso de un sistema tradicional con Estación Electrónica Total Laser y GPS de Alta Precisión, en él como se puede apreciar en el Apéndice D, se indica que el levantamiento fue amarrado a unas coordenadas arbitrarias con cotas de elevación propuestas en un perfil de terreno de unos diseños Arquitectónicos usados para la aprobación inicial de la licencia del proyecto. En él y como comentario quedan expresadas en el archivo tipo .pdf las coordenadas con cotas de elevación con amarre a coordenadas MAGNA-SIRGAS.

A continuación, en la tabla 6. Se hace un análisis descriptivo de los resultados con las variables independientes para el Levantamiento topográfico tradicional y el Levantamiento topográfico con UAS en precisión vertical y se ilustra en la figura 15.

Tabla 6. *Tabla descriptiva de variables independientes (En vertical).*

Tipo de trabajo	Error vertical (m)
Puntos geodésicos	0.0162
Nivelación topográfica	0.0100
Levantamiento topográfico	0.0120
Levantamiento con UAS	0.0146

Nota: Elaboración propia en software de Microsoft Excel.

Figura 15. *Precisión Vertical.*

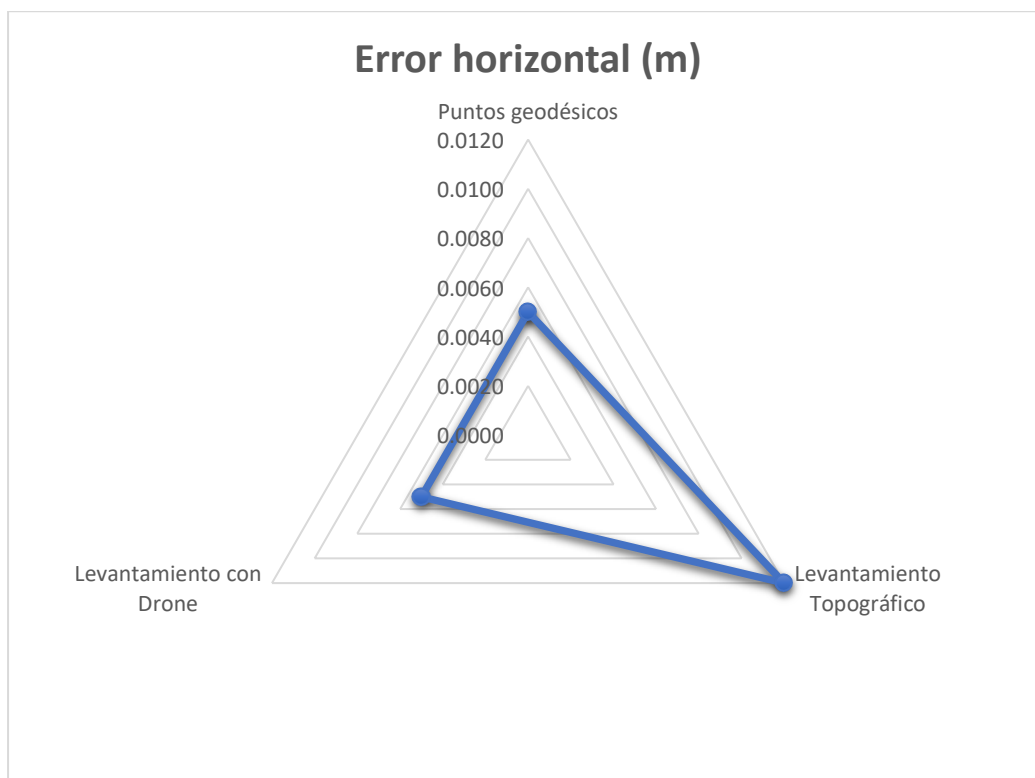
Tomado de (Microsoft Excel, 2024).

Seguidamente, en la tabla 7. Se hace un análisis descriptivo de los resultados con las variables independientes para el Levantamiento topográfico tradicional y el Levantamiento topográfico con UAS en precisión horizontal y se ilustra en la figura 16.

Tabla 7. *Tabla descriptiva de variables independientes (En horizontal).*

Tipo de trabajo	Error horizontal (m)
Puntos geodésicos	0.0050
Levantamiento topográfico	0.0120
Levantamiento con UAS	0.0050

Nota: Elaboración propia en software de Microsoft Excel.

Figura 16. *Precisión horizontal.*

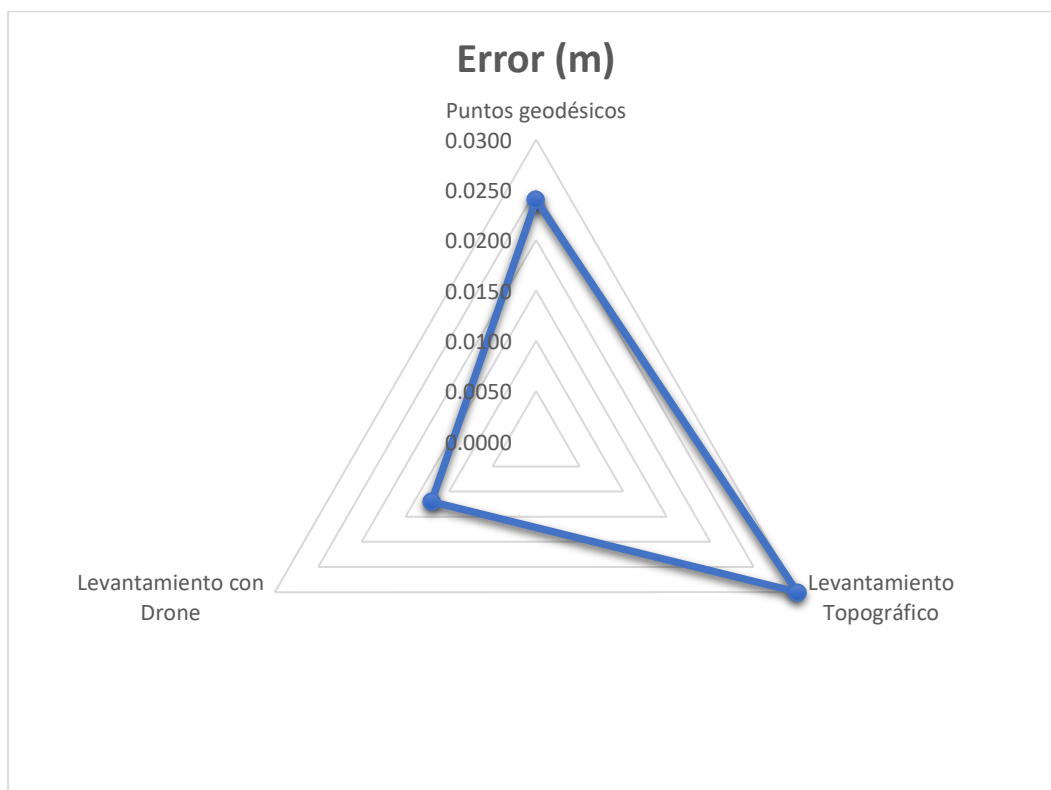
Tomado de (Microsoft Excel, 2024).

Posteriormente, en la tabla 8. Se hace un análisis descriptivo de los resultados con las variables independientes para el Levantamiento topográfico tradicional y el Levantamiento topográfico con UAS en precisión trabajo y se ilustra en la figura 17.

Tabla 8. *Tabla descriptiva de variables independientes (Precisión de trabajo).*

Tipo de trabajo	Error (m)
Puntos geodésicos	0.0240
Levantamiento topográfico	0.0300
Levantamiento con UAS	0.0120

Nota: Elaboración propia en software de Microsoft Excel.

Figura 17. *Precisión de trabajo.*

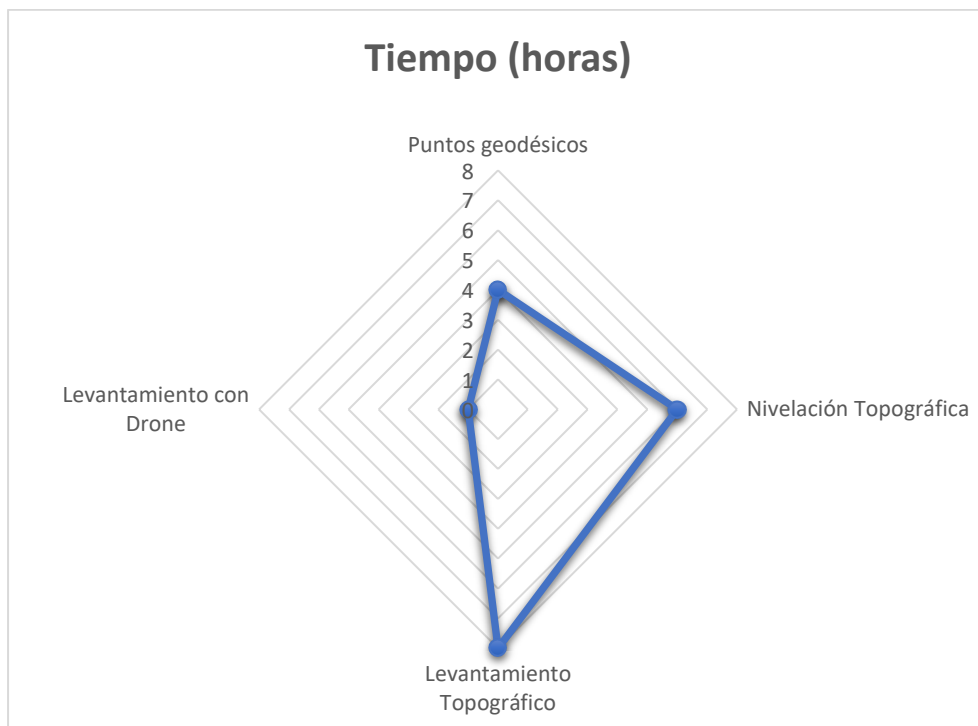
Tomado de (Microsoft Excel, 2024).

Consecutivamente, en la tabla 9. Se hace un análisis descriptivo de los resultados con las variables independientes para el Levantamiento topográfico tradicional y el Levantamiento topográfico con UAS en tiempo de trabajo en campo y se ilustra en la figura 18.

Tabla 9. *Tabla descriptiva de variables independientes (Tiempo de trabajo en campo).*

Tipo de trabajo	Tiempo (horas)
Puntos geodésicos	4 horas
Nivelación topográfica	6 horas
Levantamiento topográfico	8 horas
Levantamiento con UAS	1 hora

Nota: Elaboración propia en software de Microsoft Excel.

Figura 18. *Tiempo de trabajo en campo.*

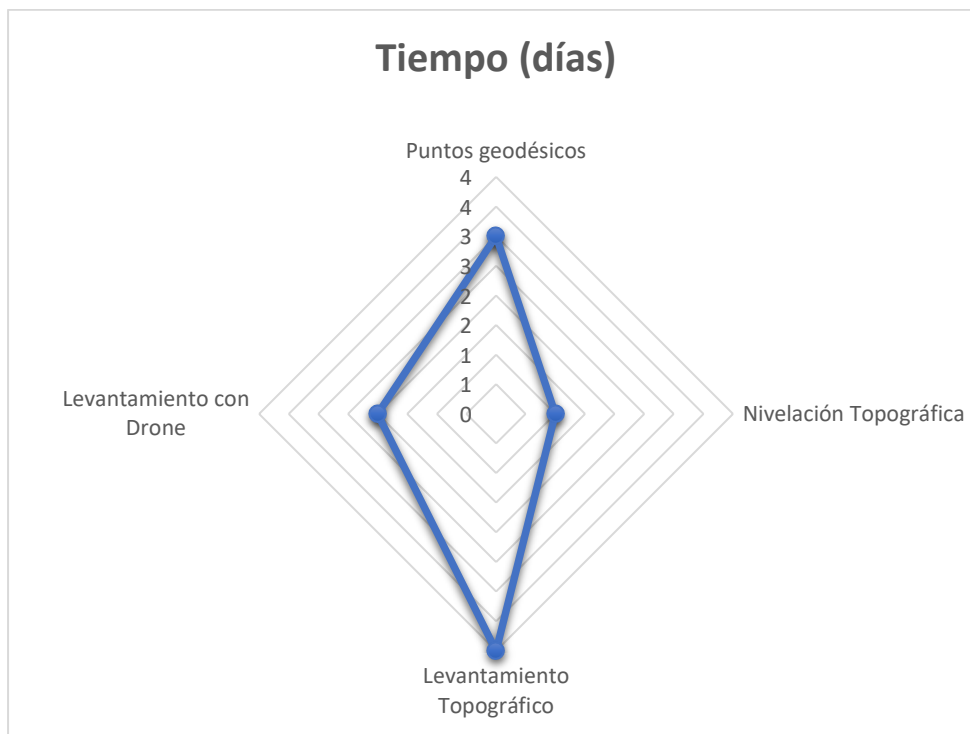
Tomado de (Microsoft Excel, 2024).

Subsiguientemente, en la tabla 10. Se hace un análisis descriptivo de los resultados con las variables independientes para el Levantamiento topográfico tradicional y el Levantamiento topográfico con UAS en tiempo de trabajo en diseño y se ilustra en la figura 19.

Tabla 10. *Tabla de variables independientes (Tiempo de trabajo en diseño).*

Tipo de trabajo	Tiempo (días)
Puntos geodésicos	3 días
Nivelación topográfica	1 día
Levantamiento topográfico	4 días
Levantamiento con UAS	2 días

Nota: Elaboración propia en software de Microsoft Excel.

Figura 19. *Tiempo de trabajo en diseño.*

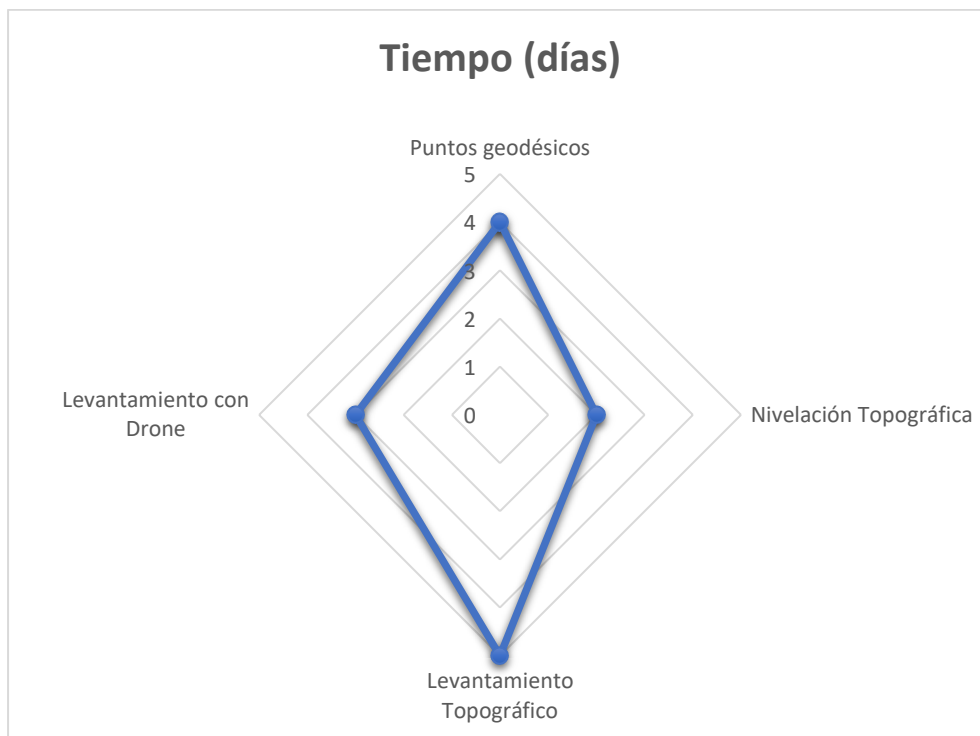
Tomado de (Microsoft Excel, 2024).

En consecuencia, en la tabla 11. Se hace un análisis descriptivo de los resultados con las variables independientes para el Levantamiento topográfico tradicional y el Levantamiento topográfico con UAS en tiempo total de trabajo en diseño y se ilustra en la figura 20.

Tabla 11. *Tabla descriptiva de variables independientes (Tiempo total de trabajo).*

Tipo de trabajo	Tiempo (días)
Puntos geodésicos	4 días
Nivelación topográfica	2 días
Levantamiento topográfico	5 días
Levantamiento con UAS	3 días

Nota: Elaboración propia en software de Microsoft Excel.

Figura 20. *Tiempo total de trabajo.*

Tomado de (Microsoft Excel, 2024).

Finalmente, en la tabla 12. Se hace un análisis descriptivo de los resultados con las variables independientes para el Levantamiento topográfico tradicional y el Levantamiento topográfico con UAS en costo total de trabajo en operaciones y diseño mostrado en la figura 21.

Tabla 12. *Tabla descriptiva de variables independientes (Costo operaciones y diseño).*

Tipo de trabajo	Costo (en pesos m/cte)
Puntos geodésicos	\$ 1'600.000,00
Nivelación topográfica	\$ 500.000,00
Levantamiento topográfico	\$ 1'200.000,00
Levantamiento con UAS	\$ 3'500.000,00

Nota: Elaboración propia en software de Microsoft Excel.

Figura 21. *Costo total de operaciones y diseño.*

Tomado de (Microsoft Excel, 2024).

5. Conclusiones

Se puede concluir que existe una diferencia entre el levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico realizado con UAS del proyecto “El Portal del Bosque” conjunto cerrado, toda vez que los resultados permite afirmar que ambas metodologías aplicadas alcanzan precisiones distintas diferenciadas notablemente por el tiempo que se emplea en campo y el diseño para entregar el producto final.

Igualmente, su puede determinar que existe una diferencia entre los costos de operación del levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico con UAS, debido a que el equipamiento necesario de operación con Dron requiere de tecnología de punta para mantener una precisión en los muestreos requeridos tanto para su toma como para su post proceso.

El uso de drones en levantamientos topográficos representa una evolución significativa en la recopilación y análisis de datos geoespaciales. Su capacidad para mejorar la eficiencia, precisión y seguridad en comparación con métodos tradicionales hace que sean una herramienta indispensable en la planificación y gestión de proyectos.

La incorporación de drones en los levantamientos topográficos ha transformado el enfoque tradicional, mejorando la eficiencia, precisión y seguridad en la recolección de datos. Esto no solo optimiza los procesos, sino que también proporciona información valiosa para la toma de decisiones en múltiples aplicaciones.

Referencias

- Anderson, K., & Gaston, A. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138-146.
- Beyler, C., Calhoun, K., & Paul, A. (2020). *Drones in construction: A safety perspective*. *Construction Management and Economics*, 38(5), 489-501.
- Buill, P., Rodríguez, J. (2003). *Fotogrametría Analítica*. Volumen 79 de Aula Politécnica. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97.
- Garmin and subsidiaries, G.Ltd. or its (2024) Etrex 10, *Garmin*. Disponible en: <https://www.garmin.com/es-ES/p/87768#overview> (Recuperado: 26 septiembre 2024).
- Gil Pérez, S, Zuleta Bonilla, M y Quintero Zapata, O. (2010). *Determinación de parámetros de transformación local para escalas cartográficas grandes: apoyo al proceso de migración de internacional Bogotá a magna sirgas*. Universidad Nacional de Colombia.
- Hassan, Q., Hossain, M., & Azad, A. (2019). *An overview of current trends in topographic surveying*. *Survey Review*, 51(371), 68-77.
- Historical background (2000) *ISPRS*. Disponible en: <https://www.isprs.org/society/history.aspx> (Recuperado: 20 septiembre 2024).
- Kouadio, L., Yao, S., & Yao, G. (2019). Drones in construction: Monitoring and tracking. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(10), 04019065.
- Liu, Y., Zhang, L., & Zhang, C. (2019). Application of UAVs in precision agriculture. *International Journal of Remote Sensing*, 40(15), 5718-5735.
- Mann, K. (2018). *Fundamentals of Surveying*. New York: Springer.

Márquez, F. G. (2017). *Curso básico de topografía: planimetría, agrimensura, altimetría*. Editorial Pax México.

Resolución #01983 de 2023. *Reglamentos Aeronáuticos de Colombia RAC 100*. 27 de septiembre de 2023. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. Secretaría de Autoridad Aeronáutica – Grupo Estructura Normativa y Estándares Aeronáuticos. Colombia.

Resolución 1026 de 2021. *Por medio de la cual se modifica la Resolución 463 de 2017*, relacionada con el Formulario Único Nacional para la solicitud de licencias urbanísticas y el reconocimiento de edificaciones y otros documentos. Publicada el 31 de diciembre de 2021. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia.

Rocca, C., Giannico, V., & Scoppettuolo, P. (2020). *Assessing the potential of drones for environmental monitoring*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(12), 735.

Salazar, E. A. Q., Martínez, A. B., & Salced, A. F. C. (2012). Procesamiento de nubes de puntos por medio de la librería PCL. *Scientia et technica*, 1(52), 136-142.

Santos, J. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. Unidad didáctica. Editorial UNED. Madrid.

Sisti, J. M. (2022). *Fotointerpretación en agrimensura*. Libros de Cátedra.

Support for DJI air 2s (2023) *DJI*. Disponible en: <https://www.dji.com/global/support/product/air-2s> (Recuperado: 26 septiembre 2024).

Vojkovic Acevedo, E. (1996). *La ortofoto en CIREN*.

Wolf, P. R., & Dewitt, B. A. (2000). *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*. New York: McGraw-Hill.

Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). *The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review*. *Precision Agriculture*, 13(6), 693-712.