

**Análisis Comparativo de Magnitudes de los Métodos de Topografía Ejecutado con
Sistemas RPAS y Fotogrametría y la Topografía Tradicional Aplicado en el Espacio
Público del Parque San Felipe del Municipio de Pasto - Nariño**

Adriana Martínez Díaz, Carlos Andrés Pantoja Santander, Wuilton Euler Romo Fuertes

**Trabajo investigativo para optar al título de Especialistas en Interventoría y Supervisión de
la Construcción**

Director

Robert Gutiérrez Ortiz

Candidato a 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

Agradecimientos

No podría avanzar sin la fe en Dios que es mi guía y mi equilibrio

Sin el apoyo de los docentes que generosamente compartieron sus conocimientos y su visión de esta ciencia y su aporte para la humanidad.

Y, Principalmente sin el amor y la comprensión de Juan Pablo, este maravilloso hijo que comparte conmigo los logros y los sacrificios y con quien nos mantenemos unidos en la diversidad y en el inmenso amor.

Adriana Martínez Díaz

A Dios por permitirme aprender cada día, de grandes personas que marcan la vida, docentes, compañeros. A mi Esposa e hijos Juan José e Isabella por ser el motor de muchos logros.

Wilton Euler Romo Fuertes

A mi familia por su apoyo y comprensión, a mis compañeros por su trabajo colaborativo, al Arquitecto Robert Gutiérrez por su eficaz y humana forma de compartir su conocimiento.

Carlos Andrés Pantoja Santander

Contenido

Introducción	10
1. Análisis Comparativo de Magnitudes de los Métodos de Topografía Ejecutado con Sistemas RPAS y Fotogrametría y la Topografía Tradicional Aplicado en el Espacio Público del Parque San Felipe del Municipio de Pasto - Nariño	11
1.1 Planteamiento del problema	11
1.2 Justificación	11
1.3 Objetivos.....	14
1.3.1 Objetivo general	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
2. Marco referencial.....	14
2.1 Marco conceptual.....	14
2.1.1 Levantamiento topográfico.....	14
2.1.2 Planimetría.....	15
2.1.3 Altimetría.....	15
2.1.4 Levantamiento tradicional	15
2.1.5 Fotogrametría	16
2.1.6 Plan de vuelo	16
2.1.7 Levantamiento con dron e	16
2.1.8 Puntos de control	17
2.1.9 Pix4D mapper	17
2.1.10 AutoCAD.....	17
2.1.11 Recap pro.....	18

2.1.12 ArcGIS – Arcmap.....	18
2.1.13 Global mapper	18
2.1.14 Google earth pro.....	19
2.1.15 Concoord	19
2.2 Marco teórico.....	20
2.3 Marco legal	20
2.4 Antecedentes y estados del arte	21
2.4.1 Antecedentes internacionales	21
2.4.2 Antecedentes nacionales.....	22
3. Método - fases y actividades específicas del proyecto	23
3.1 Fase I: Identificación de herramientas del vehículo aéreo.....	23
3.2 Fase II: Recolección de información base	24
3.3 Fase III: Análisis y comparación de los resultados obtenidos.....	25
4. Resultados.....	29
4.1 Localización y ubicación del proyecto	29
4.2 Proceso de fotogrametría que generó el producto.	31
4.3 Procesamiento de imágenes.....	34
4.3.1 Paso 1. Apertura del entorno digital del software y generación de un nuevo proyecto identificándolo debidamente con su nombre.....	34
4.3.2 Paso 2. Seleccionar las imágenes a procesar y definir ciertas propiedades solicitadas por el software.	35
4.3.3 Paso 3. Seleccionar el sistema de coordenadas con base en el cual se referenciarán las fotografías en el procesamiento.....	37

4.3.4 Paso 4. Seleccionar las opciones del procesamiento dentro de las que se presentan en la plataforma PIX4DMapper, las cuales corresponden a tres alternativas: 1. Estándar; 2. Rápida; y 3. Avanzadas	37
4.3.5 Paso 5. Primer nivel de procesamiento.....	38
4.3.6 Paso 6. Segundo nivel de procesamiento	40
4.3.7 Paso 7. Tercer nivel de procesamiento	42
4.3.8 Paso 8. Obtención de productos digitales del procesamiento.....	45
4.4 Edición de ortofoto en Recap Pro	46
4.5 Planimetría en ArcGIS.....	48
4.6 Planimetría en AutoCAD.....	49
4.6.1 Paso 1. Localizar las coordenadas de los puntos de control en el nuevo archivo	52
4.6.2 Paso 2. Importar desde el entorno autocad, el ortomosaico del postproceso de Pix4D mapper	52
4.6.3 Paso 3. Chequear la escala y orientación del ortomosaico en Autocad.....	53
4.6.4 Paso 4. Verificación de dimensiones en los elementos seleccionados	53
4.7 Fotointerpretación en Global Mapper.....	55
4.8 Comparativo mediciones existentes	59
5. Conclusiones.....	60
Referencias.....	62

Lista de figuras

Figura 1. <i>Revisión y ajustes a los diseños de la carrera 27 entre avenida Panamericana y calle 22 de la Ciudad de Pasto y Paseo de Ullaguanga.....</i>	25
Figura 2. <i>Captura de pantalla que detalla la georreferenciación para el levantamiento topográfico inicial.....</i>	26
Figura 3. <i>Superposición de la ortofoto con la planimetría en AutoCAD.</i>	27
Figura 4. <i>Planimetría en AutoCAD del plano récord de las obras de espacio público</i>	28
Figura 5. <i>Identificación del polígono objeto de verificación de magnitudes: A-B-C-D-E-F</i>	28
Figura 6. <i>Localización del municipio de Pasto y del proyecto.....</i>	30
Figura 7. <i>Localización del sitio de estudio en la ciudad de Pasto.....</i>	30
Figura 8. <i>Captura de imagen del Flight logbook estructurado</i>	32
Figura 9. <i>Dispositivo Electrónico Drone y Vuelo.....</i>	33
Figura 10. <i>Área de vuelo en entorno plataforma del dispositivo drone.</i>	33
Figura 11. <i>Imágenes de ejecución del vuelo y de la misión en el entorno Pix4D.</i>	33
Figura 12. <i>Plataforma para nuevo proyecto.....</i>	34
Figura 13. <i>Procedimiento para crear nuevo proyecto.....</i>	35
Figura 14. <i>Selección de imágenes a procesar.....</i>	35
Figura 15. <i>Validación el modelo de la cámara.....</i>	36
Figura 16. <i>Listado para selección de modelos de cámaras.....</i>	36
Figura 17. <i>Sistema de coordenadas de salida.....</i>	37
Figura 18. <i>Opciones de programación</i>	38
Figura 19. <i>Opciones de procesamiento.....</i>	39
Figura 20. <i>Reporte del nivel de procesamiento</i>	40

Figura 21. <i>Opciones de archivos a obtener</i>	41
Figura 22. <i>Tipo de archivos en la malla 3D</i>	41
Figura 23. <i>Factores en procesamiento de segundo nivel</i>	42
Figura 24. <i>Generación del modelo digital de superficie (MDS)</i>	43
Figura 25 . <i>Trayectoria de la animación</i>	44
Figura 26. <i>Opciones de video animación</i>	44
Figura 27. <i>Carpeta 1_initial: Report</i>	45
Figura 28. <i>Carpeta 3_dsm_ortho: Archivo con extensión</i>	45
Figura 29. <i>Vista en planta del archivo de imágenes importadas desde Recap Pro</i>	46
Figura 30. <i>Vistas desde varios ángulos del área de estudio #1</i>	47
Figura 31. <i>Vistas desde varios ángulos del área de estudio #2</i>	47
Figura 32. <i>Planimetría en ArcGIS</i>	48
Figura 33. <i>Imágenes de la limitación y verificación de magnitudes #1</i>	49
Figura 34. <i>Imágenes de la limitación y verificación de magnitudes #2</i>	49
Figura 35. <i>Captura de imagen del plano del levantamiento topográfico inicial</i>	50
Figura 36. <i>Captura de imagen del plano récord de las obras de espacio público en entorno Pix4DMapper</i>	51
Figura 37. <i>Identificación con coordenadas de puntos de control</i>	52
Figura 38. <i>Ortomosaico llevado a escala y coordenadas según los puntos de control</i>	53
Figura 39. <i>Polígono que conforma los elementos seleccionados para verificación de dimensiones</i>	54
Figura 40. <i>Apertura de archivo ortomosaico de PIX4D</i>	55
Figura 41. <i>Resultado apertura ortomosaico con Global Mapper</i>	55

Figura 42. <i>Identificación área a delimitar</i>	56
Figura 43. <i>Secuencia del proceso de mediciones #1</i>	56
Figura 44. <i>Secuencia del proceso de mediciones #2</i>	57
Figura 45. <i>Secuencia del proceso de mediciones #3</i>	57
Figura 46. <i>Secuencia del proceso de mediciones #4</i>	58
Figura 47. <i>Secuencia del proceso de mediciones #5</i>	58
Figura 48. <i>Secuencia del proceso de mediciones #6</i>	59

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Base cartográfica</i>	29
Tabla 2. <i>Resultados de las mediciones realizadas en el polígono</i>	54
Tabla 3. <i>Resultados de las mediciones</i>	59
Tabla 4. <i>Resultados Comparativos</i>	60

Introducción

Los conocimientos teórico prácticos adquiridos en desarrollo del proceso de formación continuada denominado: “Diplomado de Piloto de Operaciones RPAS y Fotogrametría básica en Pix4d y Arcgis - Cohorte V”, han permitido ampliar el horizonte de posibilidades frente a la aplicabilidad de la tecnología relacionada con Sistemas de aeronave pilotada de forma remota o RPAS por sus siglas en inglés (Remotted piloted aircraft system), en campos como la agricultura, publicidad, medios de información, distribución de productos, diseño Arquitectónico, Construcción de obras civiles, mediciones topográficas y la Supervisión de Interventoría de avances o verificación a áreas y magnitudes para desarrollo de proyectos de gran envergadura entre muchos otros más.

Dentro del amplio campo de acción que considera la arquitectura y la ingeniería civil, el levantamiento topográfico de terrenos y/o construcciones y la verificación de áreas y magnitudes para las tareas de la Supervisión y la Interventoría, corresponde al área de interés de los autores, siendo la realización de dichas actividades a través de la Disciplina de la fotogrametría proceso que se deriva de la obtención de muestras fotogramétricas a partir de vuelos programados de RPAS, una oportunidad para validar la confiabilidad de su ejecución al ser comparada con los resultados obtenidos en el mismo proceso a través de levantamientos con equipos de medición directa en terreno como los son las estaciones totales.

Este informe presenta el levantamiento topográfico de un área de espacio público urbano en la ciudad de Pasto, realizado mediante fotogrametría con sistema RPAS y con el apoyo de software de fotogrametría para el procesamiento de imágenes, y para la fotointerpretación de estas, resultados comparados con los obtenidos con levantamiento realizado con estación total y con validaciones en campo.

1. Análisis Comparativo de Magnitudes de los Métodos de Topografía Ejecutado con Sistemas RPAS y Fotogrametría y la Topografía Tradicional Aplicado en el Espacio Público del Parque San Felipe del Municipio de Pasto - Nariño

1.1 Planteamiento del problema

Como generalmente ocurre en procesos de cualquier índole, en los cuales se introducen nuevas tecnologías para obtener resultados similares a los que se registran con metodologías “tradicionales”, el levantamiento topográfico realizado a partir de fotogrametría con sistemas RPAS y apoyado en programas de computadora específicos para estas actividades, puede generar cierta resistencia para ser ampliamente aceptado en la comunidad especializada que se dedica a dichas labores, pese a las considerables ventajas que su implementación puede acarrear, como lo es la optimización de tiempos y recursos a la hora de llevar a cabo los trabajos.

1.2 Justificación

Como se expone por parte de la autora Gloria Cecilia Ruales Zambrano, en el año 2013: “Los orígenes de la topografía pueden rastrearse hasta tiempos remotos”. En la antigua Grecia, Tales de Mileto y Anaximandro construyeron las primeras cartas de las que se tenga noticia, en términos generales una carta se puede definir como la representación gráfica de una porción de mar, es decir, de las playas.

(...). Durante la edad media, la topografía recibió su impulso definitivo con la invención de la brújula (Siglo XII) y los avances en astronomía” (Ruales, 2013, p.18).

La historia de la fotogrametría se remonta a 1480 con las investigaciones de Leonardo da Vinci sobre la perspectiva. En 1851, Aimé Laussedat, un inventor francés, reconoció el potencial

de la recién inventada cámara para su uso en la cartografía. Más tarde, en 1867, el arquitecto prusiano Albrecht Medenbauer acuñó el término "fotogrametría" en su artículo "Die Photometrophie". La palabra "fotogrametría" se compone de tres partes: "foto" (luz), "gramo" (dibujar) y "-metría" (medir), lo que implica el uso de fotografías para realizar mediciones. Geomatas (s.f).

A pesar de ser conocida desde hace siglos, la fotogrametría no alcanzó su pleno potencial hasta la década anterior a la Primera Guerra Mundial. Durante este periodo, se utilizaban fotografías tomadas desde cámaras ubicadas en el suelo, una técnica que más tarde se conocería como "fotogrametría terrestre". Esta técnica implica el uso de una posición fija en el terreno, con el eje de la cámara paralelo al suelo, permitiendo trazar coordenadas y otros datos para crear un modelo detallado. Esta herramienta, popular entre los topógrafos, aunque precisa, requiere tiempo para cubrir grandes extensiones de terreno.

Se puede observar, que a lo largo de la historia de la humanidad se han desarrollado múltiples métodos e instrumentos para llevar a cabo las labores de topografía, métodos que se aplicaban directamente sobre el terreno, por su parte las técnicas de fotogrametría utilizadas antes de la inclusión de tecnologías relacionadas con drones y fotografía digital, se consideraba que no cumplían con tolerancias de precisión aceptables para competir con los métodos tradicionales

La fotogrametría con drones permite realizar levantamientos topográficos en un tiempo significativamente menor que las técnicas tradicionales. Esto no solo acelera el proceso de obtención de datos, sino que también libera recursos para otras actividades críticas en el proyecto. La capacidad de capturar grandes áreas en poco tiempo es especialmente beneficiosa en proyectos de gran escala o en terrenos de difícil acceso.

La utilización de drones equipados con cámaras de alta resolución y tecnología fotogramétrica ofrece una precisión en las mediciones topográficas tan confiable como la de los métodos tradicionales. La validación de estos datos con puntos de control georreferenciados garantiza su fiabilidad, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones.

Este estudio también busca superar la oposición o desconfianza de algunos topógrafos o profesionales de esta rama, que no confían en la precisión de estos métodos. Es fundamental que los profesionales del campo vean esta tecnología como una oportunidad para mejorar y optimizar su actividad profesional, integrando herramientas modernas que complementen sus conocimientos y habilidades tradicionales.

El éxito en la implementación de estas tecnologías en la comparativa de mediciones a efectuar en el Parque San Felipe de la ciudad de Pasto puede servir como modelo para proyectos futuros, demostrando la viabilidad y los beneficios de la fotogrametría con drones en la interventoría y/o en la ejecución de obras públicas. Esto facilita la adopción de estas tecnologías en otros proyectos, promoviendo su escalabilidad y contribuyendo al desarrollo del sector.

La justificación de este estudio radica en la convergencia de precisión, eficiencia, ahorro de costos, innovación, capacitación y seguridad, proyectando además un modelo replicable para futuros proyectos.

Análisis comparativo de magnitudes de los métodos de topografía ejecutado con sistemas RPAS y fotogrametría y la topografía tradicional aplicado en el espacio público del Parque San Felipe del Municipio de Pasto – Nariño.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar un análisis comparativo de magnitudes de un levantamiento topográfico tradicional y un levantamiento topográfico con tecnología de drones realizado al espacio público del parque San Felipe del Municipio de Pasto Nariño.

1.3.2 Objetivos específicos

Ejecutar una misión de vuelo en sistema RPAS para tomar muestras fotogramétricas para desarrollar nube de puntos y ortomosaico para obtener mediciones topográficas en el parque San Felipe del Municipio de Pasto

Procesar y Analizar Datos Fotogramétricos con Software Especializado como Pix4D Mapper, ArcMap, ReCAP y AutoCAD para obtener planimetría topográfica 2D

Validar la precisión de los datos fotogramétricos geolocalizados con métodos convencionales al comparar los datos obtenidos mediante fotogrametría con drones.

2. Marco referencial

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Levantamiento topográfico

Se entiende por levantamiento Topográfico al conjunto de actividades que se realizan en el campo con el objeto de capturar la información necesaria que permita determinar la posición relativa de los puntos que conforman una extensión de tierra, ya sea directamente o mediante un

proceso de cálculo, con las cuales se obtiene la representación gráfica del terreno levantado, el área y volúmenes de tierra cuando así se requiera; (Torres y Villate, 2001)

2.1.2 Planimetría

Se llama planimetría al conjunto de los trabajos efectuados para tomar en el campo los datos geométricos necesarios que permitan construir una figura semejante a la del terreno, proyectada sobre un plano horizontal. (García, 1994)

2.1.3 Altimetría

La altimetría es la parte de la topografía que tiene en cuenta las diferencias de nivel existentes entre los distintos puntos de un terreno. Para la elaboración de un “plano topográfico” propiamente dicho, es necesario conocer estas dos partes de la topografía y así poder determinar la posición y elevación de cada punto. (Torres y Villate, 2001, p.19).

2.1.4 Levantamiento tradicional

El levantamiento topográfico tradicional se basa en la medición directa de ángulos y distancias utilizando instrumentos como teodolitos, estaciones totales y niveles. Este proceso consta de varias etapas, que incluyen la selección y marcado de puntos, la medición de ángulos y distancias, y la posterior triangulación y referenciación para obtener las coordenadas exactas de los puntos en el terreno.

Algunas de las principales ventajas del levantamiento topográfico tradicional son su precisión y su capacidad para obtener información detallada sobre el terreno. Sin embargo, esta

técnica conlleva un mayor tiempo y esfuerzo en comparación con las técnicas más avanzadas. (Equipos topografía, 2023).

2.1.5 Fotogrametría

Fotogrametría es la ciencia por medio de la cual a partir de fotografías del terreno se consigue deducir su planta y su alzado, llegando a formar un plano topográfico del mismo. Estas fotografías pueden tomarse desde tierra o desde el aire, dando lugar a la división en dos grandes ramas de la fotogrametría: terrestre y aérea. (Santamaría et ál, 2011, p. 7).

La fotogrametría es la ciencia de hacer mediciones precisas mediante fotografías. En la topografía moderna, se utilizan drones equipados con cámaras de alta resolución para capturar imágenes del terreno desde diferentes ángulos. Estas imágenes se procesan utilizando software especializado para generar modelos digitales del terreno (MDT) y modelos digitales de elevaciones (MDE). El procesamiento fotogramétrico involucra técnicas de correlación y triangulación para asegurar que las mediciones sean precisas (Wolf et ál, 2000).

2.1.6 Plan de vuelo

Información especificada que, respecto a un vuelo proyectado o parte de un vuelo de una aeronave, se somete a las dependencias de los servicios de tránsito aéreo (UAEAC, 2018).

2.1.7 Levantamiento con drone

Un levantamiento topográfico con drones se refiere al uso de un dron, o vehículo aéreo no tripulado (UAS), para capturar datos aéreos con dispositivo que captura imágenes orientados hacia abajo.

Los drones permiten realizar levantamientos topográficos detallados y precisos. Mediante la captura de imágenes aéreas y la recopilación de datos de altitud, los drones pueden generar modelos digitales de terreno (MDT) y mapas en 3D de alta resolución (Vásquez, 2023).

2.1.8 Puntos de control

Los puntos de control son puntos georreferenciados en el terreno que se utilizan para asegurar la precisión de los modelos fotogramétricos. Estos puntos se miden con alta precisión utilizando métodos convencionales de topografía y se utilizan para alinear y validar los datos fotogramétricos obtenidos de los drones. La correcta implementación de puntos de control es crucial para garantizar la precisión de los modelos 3D y ortomosaicos (Wolf et ál, 2006).

2.1.9 Pix4D mapper

Pix4D mapper es un software de procesamiento fotogramétrico que permite convertir imágenes aéreas tomadas por drones en modelos 3D detallados y ortomosaicos. Es una herramienta esencial para la topografía y cartografía, ya que facilita la generación de mapas precisos y modelos digitales del terreno a partir de datos fotográficos (Pix4D, s.f.).

2.1.10 AutoCAD

Autocad es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. El nombre Autocad surge como creación de la compañía Autodesk, donde Auto hace referencia a la empresa y CAD a diseño asistido por computadora, teniendo su primera aparición en 1982. Auto Autocad es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, hacen

posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D; es uno de los programas más usados por arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales y otros (Autocad, s.f.).

2.1.11 Recap pro

Autodesk recap es un software de procesamiento de nubes de puntos que convierte imágenes fotogramétricas en modelos 3D precisos. Es esencial para el procesamiento de datos de drones, ya que permite la creación de modelos detallados a partir de múltiples imágenes aéreas (Autodesk, s.f.).

2.1.12 ArcGIS – Arcmap

Arcgis es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI, bajo el nombre genérico Arcgis se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. Estas aplicaciones se engloban en familias temáticas como Arcgis Server, para la publicación y gestión web, o Arcgis Móvil para la captura y gestión de información en campo (Arcgis, s.f.)

2.1.13 Global mapper

Global mapper es un software avanzado y fácil de usar para procesar datos de Google Earth, Autocad, Surfer, Gis, etc. Global Mapper ofrece una variedad de herramientas para editar y analizar datos del terreno. También existen herramientas para calcular información a partir de datos del terreno basados en características vectoriales y crear características vectoriales a partir de datos del terreno.

Los métodos de análisis para este tipo de datos también se pueden aplicar a otros datos ráster que contienen valores que representan una medición o fenómeno distinto de la elevación, como la generación de contornos, la creación de puntos en los centros de las celdas de la cuadrícula de elevación, la medición del volumen entre superficies, la generación de un Perfil de carretera 3D a partir de una línea o característica de área seleccionada, perfil de carretera con datos Lidar, Calcular estadísticas de elevación/pendiente para características seleccionadas. Blue Marble Geographics (2023).

2.1.14 Google earth pro

Google Earth Pro es una herramienta de visualización geoespacial que permite explorar imágenes satelitales, mapas y terrenos 3D. En la topografía y cartografía, se utiliza para obtener una vista previa del área de interés, planificar vuelos de drones y validar datos geoespaciales (Google, s.f.).

2.1.15 Concoord

Concoord es un software utilizado para la conversión de datos geoespaciales entre diversos formatos, facilitando la transformación e integración de datos GIS (Sistema de Información Geográfica). Este software es valioso para asegurar la compatibilidad y usabilidad en diferentes aplicaciones y sistemas GIS, permitiendo una gestión y análisis más eficaces de la información geográfica (Aspose, s.f.).

2.2 Marco teórico

En el presente estudio, se realiza un comparativo sobre un levantamiento topográfico tradicional en el Parque San Felipe del Municipio de Pasto, y el levantamiento realizado mediante tecnología Drone y la disciplina de la Fotogrametría.

La validación de las mediciones topográficas obtenidas mediante fotogrametría con drones implica compararlas con las obtenidas por métodos convencionales. Esto se hace para asegurar la precisión y fiabilidad de los datos. La comparación se realiza evaluando puntos de control comunes y analizando las discrepancias entre los dos conjuntos de datos (Granshaw, 1980).

El estudio en el Parque San Felipe del Municipio de Pasto implica la recolección de datos topográficos mediante drones y la validación de estos datos con mediciones realizadas previamente con teodolitos y estaciones totales. Este proceso asegura que los datos fotogramétricos sean precisos y confiables para su uso en proyectos de planificación urbana y desarrollo.

2.3 Marco legal

En el contexto de elaboración y presentación de cartografía aplicable en el territorio nacional, el marco legal de referencia corresponde a las directrices que al respecto emite el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, como autoridad geográfica y catastral del Colombia, así lo emitido por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas - ICONTEC. En ese contexto, la siguiente normatividad emitida por esa entidad se considera como referente legal para el tema tratado:

- Resolución No. 643 de 2018: “Por la cual se adoptan las especificaciones técnicas de levantamiento planimétrico para las actividades de barrido predial masivo y las

especificaciones técnicas del levantamiento topográfico planimétrico para casos puntuales”.

- Norma Técnica Colombiana ICONTEC NTC-6271 (2018-23-05): Información Geográfica. Estudios Topográficos.

Para el contexto de ejecución de vuelos con RPAS, que en el presente caso son necesarios para la captura de imágenes aéreas sobre el terreno objeto de fotogrametría, se hace necesario considerar los lineamientos dados por la autoridad aeronáutica del país - AEROCIVIL, mediante los siguientes documentos:

- Reglamento Aeronáutico de Colombia: RAC 100, el cual en su numeral 100.001 Aplicación, indica claramente que: “Este reglamento establece las reglas de operación para todo sistema de aeronave no tripulada UAS que sea utilizadas u operada en el territorio colombiano, (...)”.
- Resolución No. 01983 del 27 de septiembre de 2023, mediante la cual se incorpora el RAC 100 a los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia.

2.4 Antecedentes y estados del arte

2.4.1 Antecedentes internacionales

Desde 1972 según el autor Almagro Gorbea en su publicación Medio siglo documentando el patrimonio arquitectónico con fotogrametría, indica que inició trabajos de fotogrametría con vuelos para la obtención de documentos de distintos yacimientos arqueológicos en obras de Numancia, Azaila, Clunia o Segóbriga España. En su publicación Almagro indica que posteriormente tras casi quince años de trabajos realizados con la colaboración de terceros y tras muchas insistencias, en 1984 el Ministerio de Cultura decidió finalmente constituir un Gabinete

de Fotogrametría que pasaría a integrarse en el Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales (ICRBC), hoy Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE).

Así, se ha ido surgiendo la fotogrametría estereoscópica usando fotografías aéreas métricas hasta la nueva era, desarrollándose la fotogrametría digital logrando levantamientos a gran escala. Es así como se han generado diversos softwares para generar modelos 3D.

2.4.2 Antecedentes nacionales

Con el progreso de la fotogrametría en Europa, a partir de la Segunda Guerra Mundial y el desarrollo de nuevas técnicas para la confección de mapas topográficos con base en las fotografías aéreas, el gobierno colombiano creó el Instituto Militar dotándolo con los más avanzados aparatos de restitución cuya misión era elaborar la Carta General del país, crear y conservar el catastro nacional y efectuar el levantamiento cartográfico de sus zonas fronterizas.

En 1935. Colombia inicia sus operaciones Aerofotogramétricas siendo uno de los primeros países del continente en utilizar las fotografías aéreas para el levantamiento cartográfico de su territorio Esta labor ha continuado con admirables resultados como consecuencia del óptimo nivel técnico y científico alcanzado.

De acuerdo con la eficiente labor desempeñada por el Instituto Geográfico, el gobierno nacional le asignó otras actividades, no menos importantes, relacionadas con el conocimiento científico del territorio nacional y la difusión de su geografía

La institución cumple con estas funciones por medio de análisis geográficos integrados y temáticos a nivel local, regional y nacional, los cuales constituyen la base fundamental de los planes de desarrollo económico y social.

Pese al avance en el país en cartografía y fotogrametría en el área de enseñanza, la importancia y utilidad práctica de este material se desconoce porque los docentes no se capacitan para usar técnicas adecuadas sobre el manejo de la fotogrametría aérea y su aplicación.

Manual, Aplicación de las fotografías aéreas en Geografía; Instituto geográfico Agustín Codazzi. (s.f). Recuperado el 22 de mayo de 2024, de <https://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/1-00305>

3. Método - fases y actividades específicas del proyecto

La metodología para el alcance de los objetivos planteados se basa en un proceso de investigación con las siguientes fases:

- Planificación y ejecución del vuelo sobre el área del parque San Felipe en la ciudad de Pasto, fase de campo para el levantamiento topográfico con Dron.
- Recolección de información base, informes topográficos existentes y planimetría del proyecto ejecutado por la administración municipal.
- Análisis y comparación de los resultados obtenidos con la topografía tradicional, medidas realizadas en campo y la topografía obtenida con la aeronave no tripulada Dron.

3.1 Fase I: Identificación de herramientas del vehículo aéreo

Para el proyecto se usó un Dron Phantom 4 Pro pilotado a distancia, con capacidad de despegue y aterrizaje vertical, equipado con una cámara con sensor CMOS de 1"; 20 megapíxeles efectivos, objetivo: FOV (campo de visión) 84°, las imágenes que se capturan son el resultado de la aplicación de técnicas avanzadas de procesamiento de imagen.

El Dron cuenta con velocidad máxima de 45 mph y estabilizador en 3 ejes que proporciona una plataforma estable para la cámara acoplada, lo que le permite capturar imágenes y videos nítidos y estabilizados

Los drones, como el Phantom 4 Pro, se utilizan cada vez más para levantamientos topográficos y cartografía. Pueden capturar imágenes aéreas de alta resolución que se pueden procesar para crear mapas y modelos digitales del terreno.

3.2 Fase II: Recolección de información base

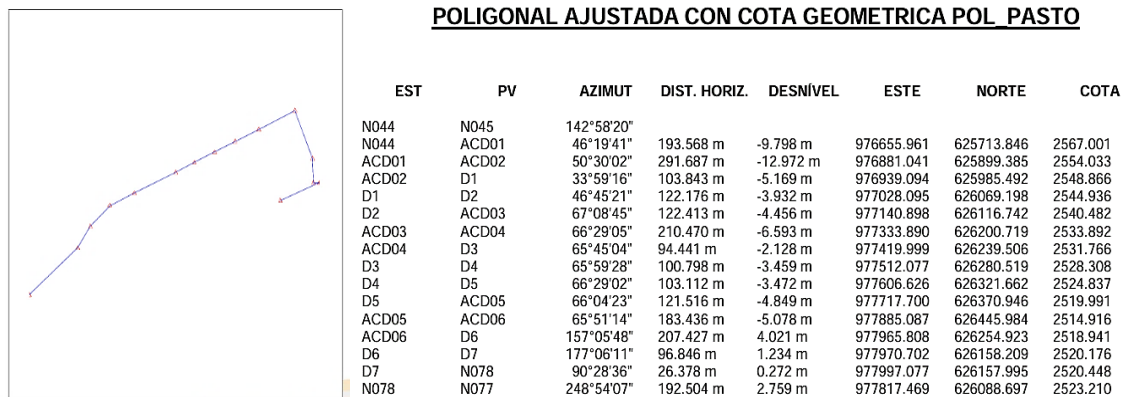
La información base para la ejecución del proyecto corresponde a la que se describe en los siguientes apartes, según las fuentes utilizadas para el efecto así:

- Informe técnico de levantamiento topográfico denominado: “Revisión y ajustes a los diseños de la carrera 27 entre avenida Panamericana y calle 22 de la Ciudad de Pasto y Paseo de Ullaguanga –”, elaborado por el Consorcio Vial 2014, según convenio Consorcio Vial 2014 – USAID – AVANTE SETP (Sistema Estratégico de Transporte Público de Pasto).
- Planos récord del contrato de obra denominado: “Construcción de la infraestructura vial, espacio público y obras complementarias del corredor vial de la carrera 27, Fase III, Eje Paseo Rumipamba (Arandario Pasto- Mijitayo) entre calles 10 y 13 incluye par vial (carrera 25 entre calles 7 y 13 calle 13 entre carreras 25 y 27) para la implementación del sistema estratégico de transporte público de la Ciudad de Pasto”, ejecutado por AVANTE SETP a través del contratista de obra: Consorcio APCA Santa María 03 y la Interventoría: Consorcio MPH 2020.
- Imágenes orto mosaico obtenidas mediante la realización de vuelo con equipo RPAS.

3.3 Fase III: Análisis y comparación de los resultados obtenidos

Como base el levantamiento topográfico realizado para obtener planos récord del proyecto indicado en el anterior numeral, referido a placas con Coordenadas, ligadas al sistema de referencia MAGNA-SIRGAS origen oeste, identificadas como ACD 01, ACD 02, ACD 03, ACD 04, ACD 05, se referencian las cámaras de inspección del sistema de alcantarillado para lo cual utilizamos como puntos de comparación.


Figura 1. Revisión y ajustes a los diseños de la carrera 27 entre avenida Panamericana y calle 22 de la Ciudad de Pasto y Paseo de Ullaguanga.



Tomado de Informe de topografía convenio Consorcio Vial 2014 – Usaid-Avante Setp, (2015)

En la siguiente imagen extractada del informe de topografía utilizado como insumo del proceso, se indica una de las placas de referencia del sistema de coordenadas utilizado en dicho levantamiento y posteriormente en la elaboración del plano récord de las obras de espacio público construidas en la zona de interés.

Figura 2. Captura de pantalla que detalla la georreferenciación para el levantamiento topográfico inicial.

REVISIÓN Y AJUSTES A LOS DISEÑOS DE LA CARRERA 27 ENTRE AVENIDA PANAMERICANA Y CALLE 22 DE LA CIUDAD DE PASTO - PASEO DE ULLAGUANGA -				
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA GEOREFERENCIADA				
Coordenadas, ligadas al sistema de referencia MAGNA-SIRGAS.				
MUNICIPIO	PASTO	DEPARTAMENTO	NARTIÑO	COORD. CAMPO: ING. ALDEMAR MOLINA
VÉRTICE	GEOGRÁFICAS ELIPSOIDALES WGS84		PLANAS CARTESIANAS	COTA
ACD02	Norte		625899.385	Geométrica
	Este		976881.041	
PANORÁMICA VÉRTICE			PLACA VÉRTICE	
				
ORIGEN DE COORDENADAS PLANAS CARTESIANAS				
Latitud:	4° 35' 46.3215" N	Falso Norte:	1000000.000m	Factor de Escala:
Longitud:	74° 04' 39.0285" W	Falso Este:	1000000.000m	Plano de proyección: 0 MSNM
ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN				
				
Georeferenció: 	Calculó: Top. Yelson Alayon Mat: 01-13137 CPNT Revisó: Ing. Javier Rivera Daza Mat: 75335239573 CND	PAG. 2 DE 5		

Tomado de Informe de topografía convenio Consorcio Vial 2014 – Usaid-Avante Setp, (2015)

Ubicando las dos cámaras en el sector delimitado para nuestro trabajo Sector San Felipe; una cámara frente a la iglesia San Felipe y otra cámara ubicada sobre el andén a una cuadra hacia el occidente de la misma iglesia. Estas dos cámaras se localizan en las coordenadas PTC 1 Norte 626016.59, Este 976973.07 y PTC 2, Norte 625885.86, Este 976856.63.

Con el levantamiento realizado a través del sistema RPAS, y una vez generado el ortomosaico sobre el área de estudio con la aplicación del programa PIX4DMapper, realizamos el enlace con la planimetría existente en el programa de Autocad, posteriormente se realizó la fotointerpretación tal como lo muestra la figura 3.

Figura 3. *Superposición de la ortofoto con la planimetría en AutoCAD.*



Tomada Imagen superpuesta de planos de topografía convenio Consorcio Vial 2014 – Usaid-Avante Setp, (2015)

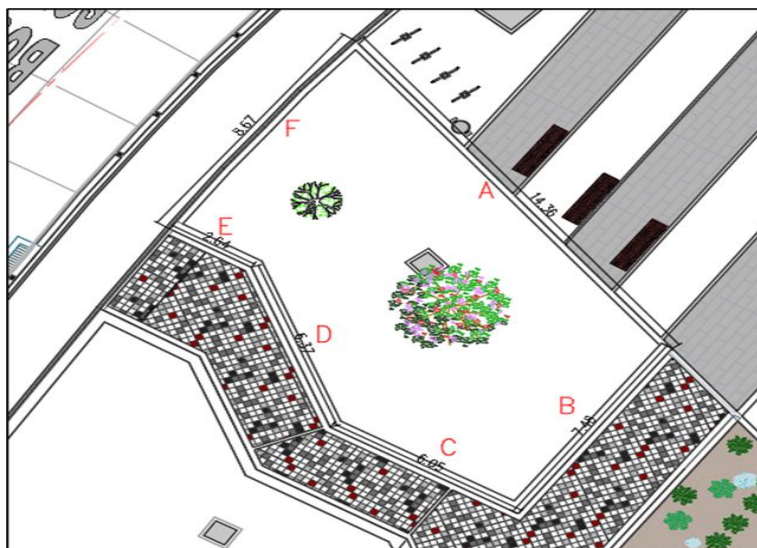
Figura 4. *Planimetría en AutoCAD del plano récord de las obras de espacio público*



Tomado de plano récord construcción de obras de infraestructura vial y de espacio público de la Carrera 27 – Fase 3 – Avante Setp, (2021)

Como un segundo punto de comparación seleccionamos la plazoleta frente a la iglesia de San Felipe la cual nos permite realizar mediciones como se indica en la siguiente imagen.

Figura 5. *Identificación del polígono objeto de verificación de magnitudes: A-B-C-D-E-F*



Tomado de plano récord construcción de obras de infraestructura vial y de espacio público de la Carrera 27 – Fase 3 – Avante Setp, (2021)

Base cartográfica tomada del plano en AutoCAD del plano récord de las obras, efectuado con estación total.

Tabla 1. *Base cartográfica*

LADO	LONG (M)
A	14,36
B	7,48
C	6,05
D	6,37
E	2,64
F	8,67

4. Resultados

4.1 Localización y ubicación del proyecto

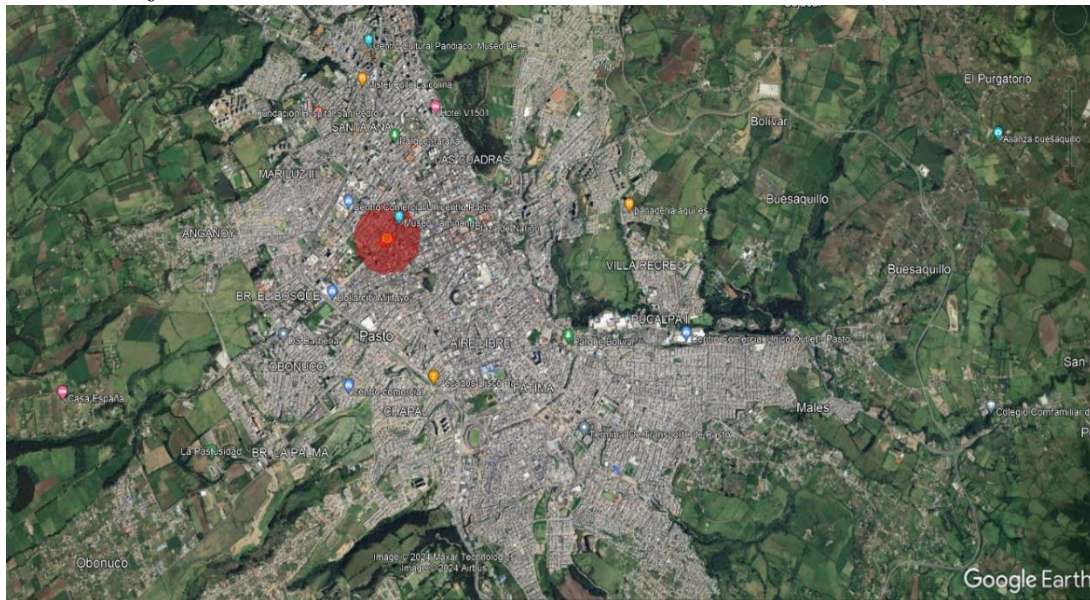
El área de estudio y comparación está en el municipio de Pasto, parque San Felipe entre carrera 27, carrera 26 y calles 11 y 12 y comprende un área de 5.200 m² de acuerdo con la sectorización realizada a partir de la planimetría existente.

Figura 6. Localización del municipio de Pasto y del proyecto



Tomado de Wikipedia, (2024)

Figura 7. Localización del sitio de estudio en la ciudad de Pasto




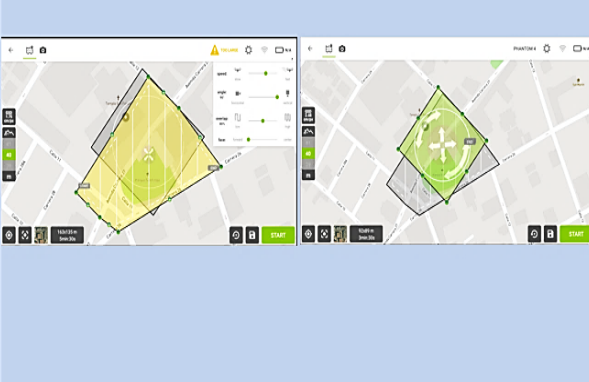
Adaptado de localización del sitio de estudio, Wikipedia y Google Earth, (2024)

4.2 Proceso de fotogrametría que generó el producto

La planificación de vuelo UAS, o Flight logbook se desarrolla en el formato dado por el Diplomado de Piloto de Operaciones RPAS y Fotogrametría, y creado por el Arq. Robert Gutierrez Ortiz para ejecutar misiones precisas fotogramétricas.

Igualmente, dicho Flight logbook forma parte del método de precisión diseñado por el Arq. Robert Gutiérrez Ortiz denominado “Método de Fotointerpretación en AutoCAD con nube de puntos y ortomosaico escalado y geolocalizado con puntos de control”, nuevo conocimiento aprendido en el Diplomado y que se utilizara cada una de sus etapas en el presente informe Técnico, para comparar su precisión con otros softwares. El Flight logbook o formato de información detallada de una misión de vuelo, se planifico con 3 horas de anticipación con respecto a la hora del vuelo programado, teniendo en cuenta la meteorología predictiva tomada desde la plataforma windy.com y otros aplicativos.

Figura 8. Captura de imagen del Flight logbook estructurado

FLIGHT LOGBOOK No 1																					
PERSONA JURÍDICA O APELLIDO Y NOMBRE DEL EXPLOTADOR		UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE BUARAMANGA		IDENTIFICACIÓN (C.O. O MIT)		999.015.071-9		NÚMERO DE REGISTRO BASE DE DATOS DE LA AEROCIFIL		OLASIFICACIÓN DEL PILOTO OPERADOR <td colspan="3">LOCALIZACIÓN, DIRECCIÓN O LUGAR DE LOS VUELOS</td>		LOCALIZACIÓN, DIRECCIÓN O LUGAR DE LOS VUELOS									
APELLIDO Y NOMBRE DEL OPERADOR O PILOTO DE VUELO LICENCIADO				IDENTIFICACIÓN (C.O. O MIT)				NÚMERO DE REGISTRO BASE DE DATOS DE LA AEROCIFIL		PILOTO TIPO B (ESPECÍFICO)		CARRERA 27 ENTRE CALLES 10 Y 11 PARQUE SANTIPELES SAN JUAN DE PASTO - NARIÑO									
ITINERARIO																					
AÑO	2024	HÓMERO DE RUTA	TIPO DE RUTA	HORA DE SALIDA RPAS Y HORA DE LLEGADA	PUNTO DE INICIO	PUNTO RETURN HOME	COORDENADAS MAGNA SIRGAS O GAUSS KRUGER	EXTENSIÓN DE BIEN DE LA MISIÓN O POLÍGONO: LARGO POR ANCHO (LÍNEA RUTA RECTÁNGULAR O LONGITUD RUTA RADIAL)	ALTURA DEL VUELO (M)	TIEMPO ESTIMADO DE VUELO (MIN)	REALIDAD DEL VUELO	MOD. Y MODE	MATRÍCULA	POTENCIA / VELOCIDAD	TIPO DE FUSELAJE Y SUSTENTACIÓN	NOMBRE PILOTO	NOMBRE OPERADOR	NOMBRE ESPAYAS	UBICACIÓN DE DESPLIEGUE	NÚMERO DE ATERRIZAJES	
27	4	1	RECTANGULAR DOBLE GRILLA	11:05 A.M.	112°48.647N 77°17'5.957O	112°48.647N 77°17'5.957O	N 625491.724 E 478400.720	92 m x 105 m	40 m	5 min. 30 s	Toma de mostrar fotografico	Phantom 4		300 rpm	Oscilidictura multitor	Adriana Martínez	Eduar Rama/Carla Pantoja		USTA	1	1
27	4	2	CIRCULAR	11:46 A.M.	112°48.647N 77°17'5.957O	112°48.647N 77°17'5.957O	N 625491.724 E 478400.720	92 m x 19 m	40 m	3 min. 30 s	Toma de mostrar fotografico	Phantom 4		300 rpm	Oscilidictura multitor	Adriana Martínez	Eduar Rama/Carla Pantoja		USTA	1	1
METEOROLOGÍA DEL AERÓDROMO OFICIAL																					
AERÓDROMO OFICIAL		AEROPUERTO DE ANTONIO NARIÑO		VELOCIDAD DEL VIENTO (MPH Y KT)		4KT		VISIBILIDAD (MILLAS)		7MILLAS		CONDICIÓN DEL CIELO		MAYORMENTE DESPEAADO							
TEMPERATURA		25 GRADOS CENTIGRADOS		PUNTO DE ROCIO		11 GRADOS CENTIGRADOS		HUMEDAD RELATIVA		65%		ALTIMETRO DE PRESIÓN		91% AP							
CÓDIGO DE COMUNICACIONES OB		SIBG 031402Z 270401KT 9999 FEW12519 010N		BASE DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS (METAR O WMO)										METAR							
METEOROLOGÍA PREDICTIVA EN EL ÁREA DE INICIO DEL VUELO RPAS EN TIEMPO REAL																					
OTROS DATOS METEOROLÓGICOS EN EL PUNTO DE INICIO DEL VUELO		VELOCIDAD DEL VIENTO RELATIVA 4KT, PUNTO DE ROCIO 11 °C, HUMEDAD RELATIVA 65% TEMPERATURA 25 °C		VELOCIDAD DEL VIENTO RELATIVA		4KT		PUNTO DE ROCIO		11 GRADOS CENTIGRADOS		HUMEDAD RELATIVA		65%		TEMPERATURA		25 GRADOS CENTIGRADOS			
ALTITUD Y ALTURA PROMEDIO DE LA MISIÓN																					
ALTITUD DEL VUELO (MSRM)		4172 ± 10 - 4521 MSNM		ALTURA DE VUELO (M)		90 METROS		SATELITE DE DATOS Y GPS		24 SATELITES, SATELITE GLOHAS											
ÁNGULO DE ROTACIÓN CÁMERA Y PORCENTAJE DE TRASLAPO DE MUESTRAS FOTOGRAFÉTRICAS																					
ORIENTACIÓN DE LA CÁMERA		RÁDIO (MANECILLAS DEL RELOJ)		MANECILLAS DEL ZENIT Y CONTRARIO A LAS MANECILLAS DEL RELOJ		OVERLAP		VELOCIDAD DEL RPAS		300 rpm		OBSERVACIONES		LA MUESTRA METEOROLÓGICA DEL AERÓDROMO OFICIAL FUE TOMADA EL 27/04/2024 A LAS 11:05 AM							
		90 GRADOS		70 GRADOS		20 GRADOS															
RUTA - PUNTOS DE INICIO DEL VUELO, RETURN HOME Y PUNTOS DE CONTROL																					
																					
RUTA RPAS PROGRAMADA																					
																					
PUNTO DE CONTROL 1					PUNTO DE CONTROL 2																
DATO (X) ESTE		DATO (Y) NORTE		DATO (Z) ELEVACION		DATO (X) ESTE		DATO (Y) NORTE		DATO (Z) ELEVACION											

Se establece las dimensiones del cuadrante de Ruta de vuelo para la aeronave, estos cuadrantes o polígonos en archivo KML se implantan en el software PIX4D Capture para la programación de la aeronave. Puesta en marcha la misión del dron Phantom 4 Pro para la adquisición de imágenes.

Figura 9. *Dispositivo Electrónico Drone y Vuelo*



Figura 10. *Área de vuelo en entorno plataforma del dispositivo drone.*



Figura 11. *Imágenes de ejecución del vuelo y de la misión en el entorno Pix4D.*

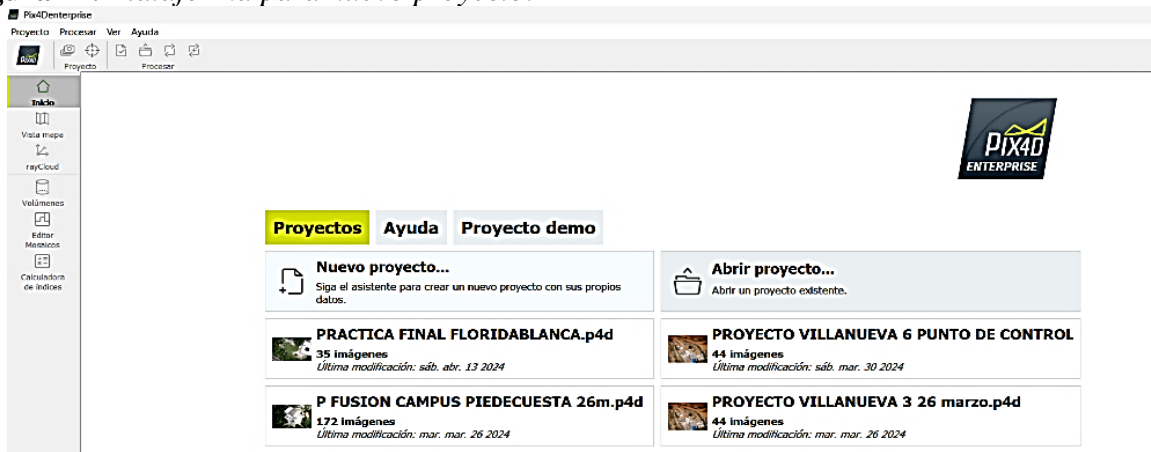


4.3 Procesamiento de imágenes

El procesamiento de las fotografías del vuelo o muestras fotogramétricas inicia con el chequeo general de las imágenes en el ordenador, verificando que no existan imágenes con capturas de objetivos diferentes a los planificados, especialmente tomas hacia el horizonte que no correspondan con las áreas a procesar; una vez hecha la validación visual, se procedió a aplicar el software PIX4DMapper versión 4.5.6, para procesar el material fotográfico. En estos apartes se indica el paso a paso para tales efectos.

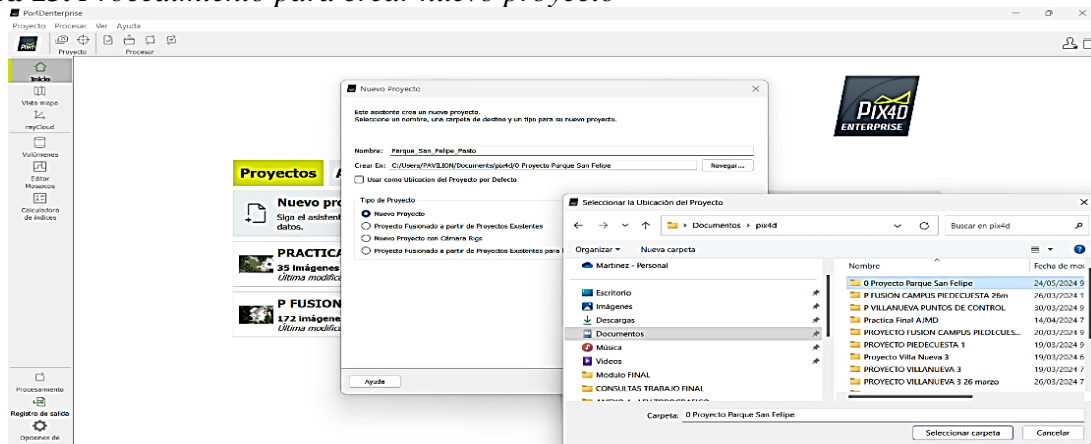
4.3.1 Paso 1. Apertura del entorno digital del software y generación de un nuevo proyecto identificándolo debidamente con su nombre.

Figura 12. Plataforma para nuevo proyecto.



Para el presente caso, se consideró nombrar la carpeta como: “Proyecto San Felipe Pasto”

Figura 13. Procedimiento para crear nuevo proyecto



4.3.2 Paso 2. Seleccionar las imágenes a procesar y definir ciertas propiedades solicitadas por el software.

Figura 14. Selección de imágenes a procesar

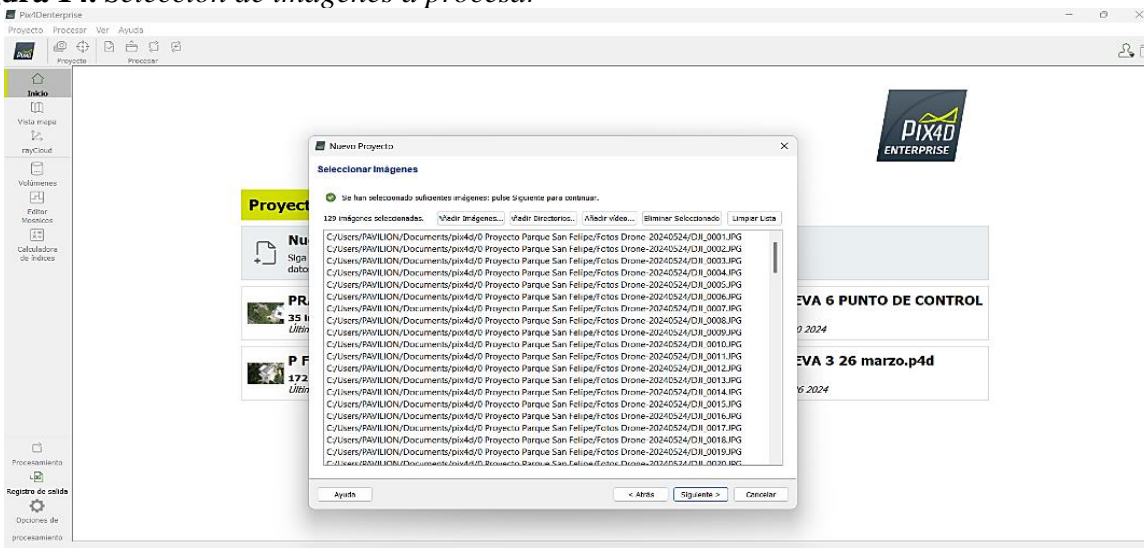
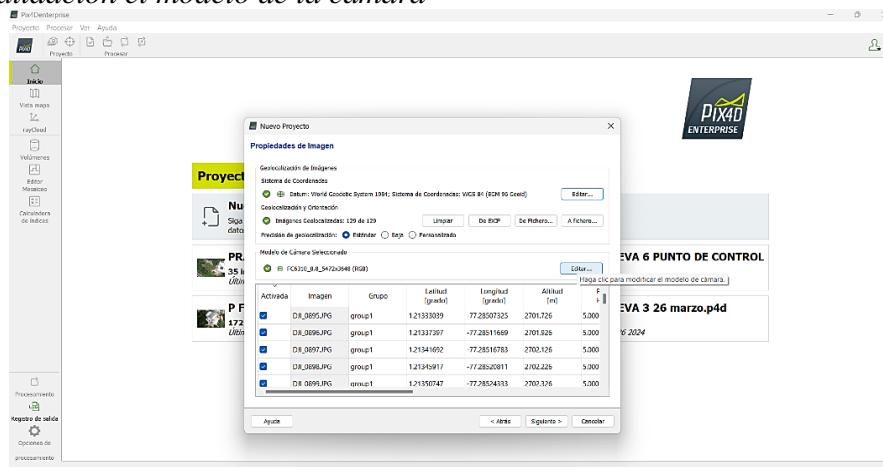


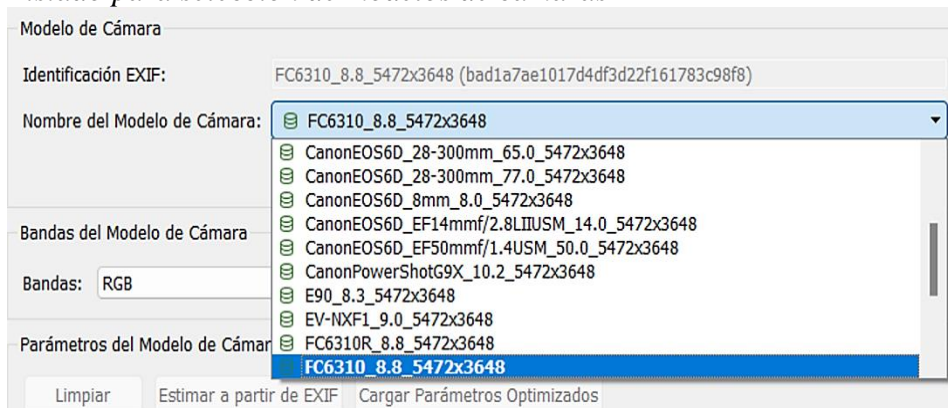
Figura 15. Validación el modelo de la cámara



Una vez seleccionado todo el grupo de fotografías áreas o muestras fotogramétricas desde la ruta de acceso que se definió en el ordenador, se hace necesario validar el modelo de la cámara, para lo cual se selecciona el botón “Editar...” indicado en la ventana del programa tal como se indica en la imagen anterior.

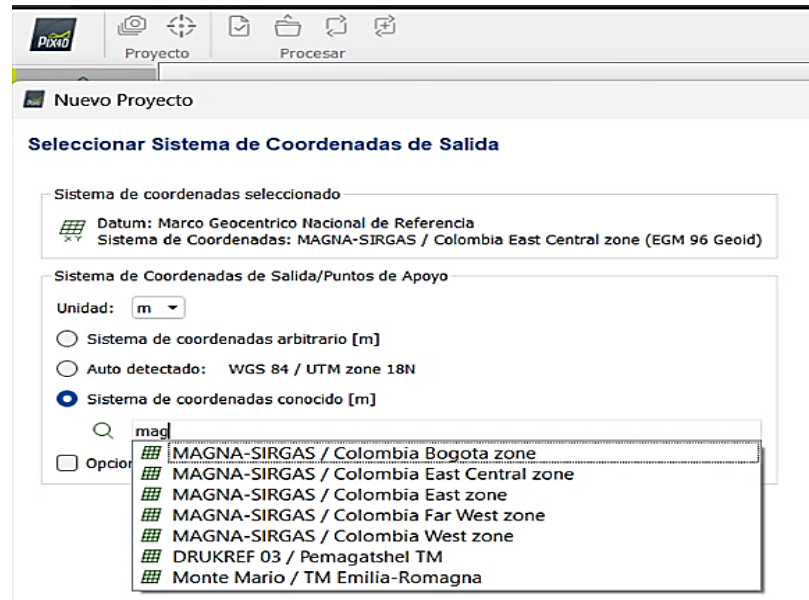
Después de esto el programa despliega un listado de modelos de cámaras que se han utilizado según los diferentes procesamientos efectuados con el software en el mismo ordenador, para lo cual se selecciona aquel modelo mostrado con letras en negrita, para nuestro caso correspondió al modelo FC6310_8.8_5472x3648 así.

Figura 16. Listado para selección de modelos de cámaras



4.3.3 Paso 3. *Seleccionar el sistema de coordenadas con base en el cual se referenciarán las fotografías en el procesamiento*

Figura 17. *Sistema de coordenadas de salida*



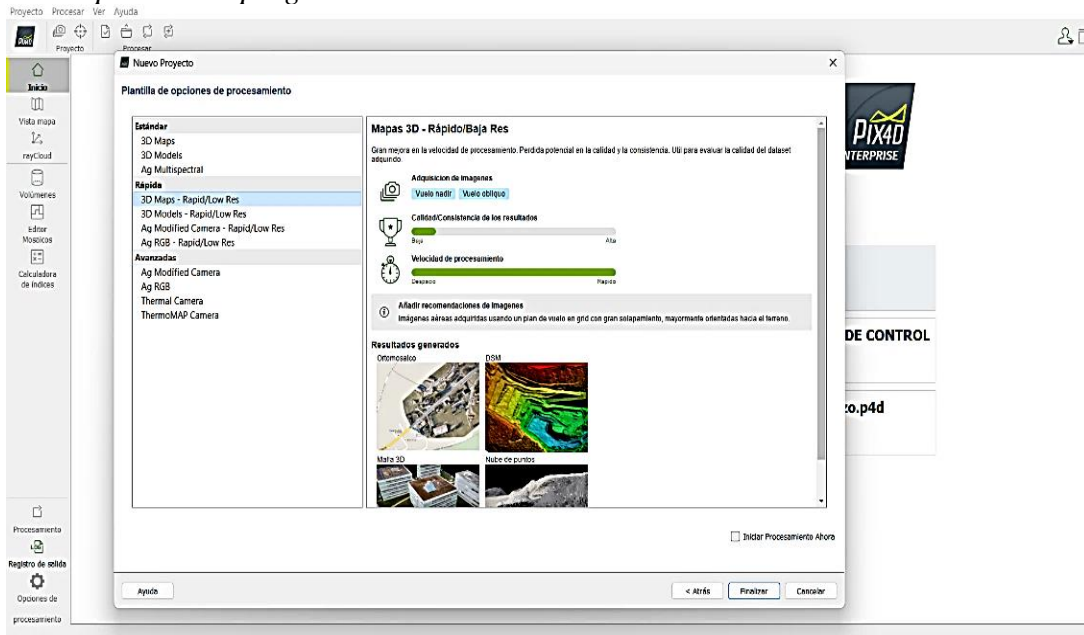
Para el presente caso, según la ubicación geográfica del sitio objeto de estudio, el sistema de coordenadas seleccionado es “MAGNA – SIRGAS/ Colombia West zone”, teniendo en cuenta que se corresponde a la zona occidental del país.

4.3.4 Paso 4. *Seleccionar las opciones del procesamiento dentro de las que se presentan en la plataforma PIX4DMapper, las cuales corresponden a tres alternativas: 1. Estándar; 2. Rápida; y 3. Avanzadas*

El mismo programa recomienda las aplicaciones para las cuales es viable su utilización, teniendo en cuenta que en cada alternativa se registran diferentes niveles de: i) Calidad/consistencia de los resultados y ii) Velocidad de procesamiento, aspectos cuyos valores

son inversamente proporcionales entre sí. Para el presente caso se seleccionó la opción 2. Rápida, tal como se indica en la imagen.

Figura 18. *Opciones de programación*



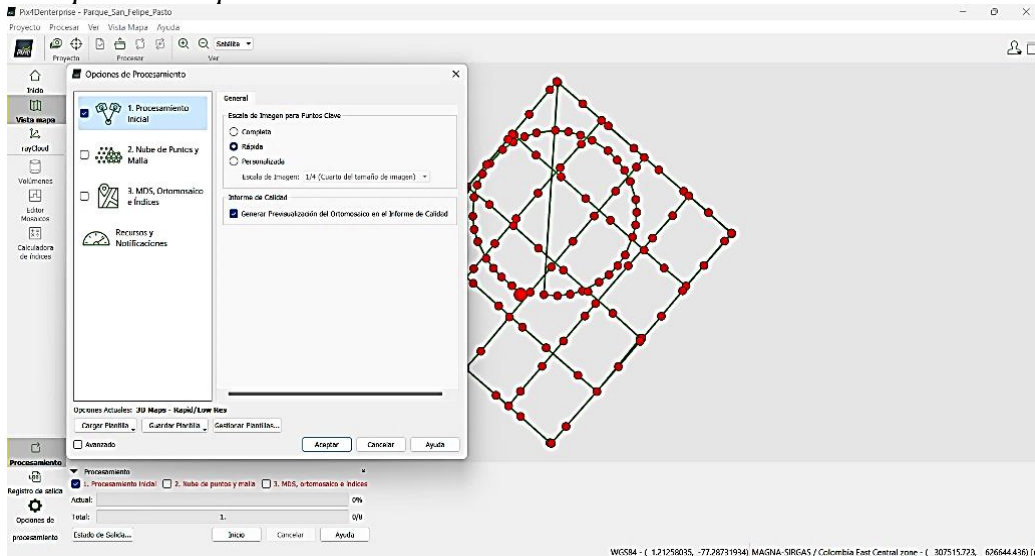
Es recomendable no habilitar la opción de “Iniciar Procesamiento Ahora”, localizada en la parte inferior izquierda de la ventana, con el fin de permitir el control de los niveles de procesamiento, lo cual se puede observar más adelante.

4.3.5 Paso 5. *Primer nivel de procesamiento*

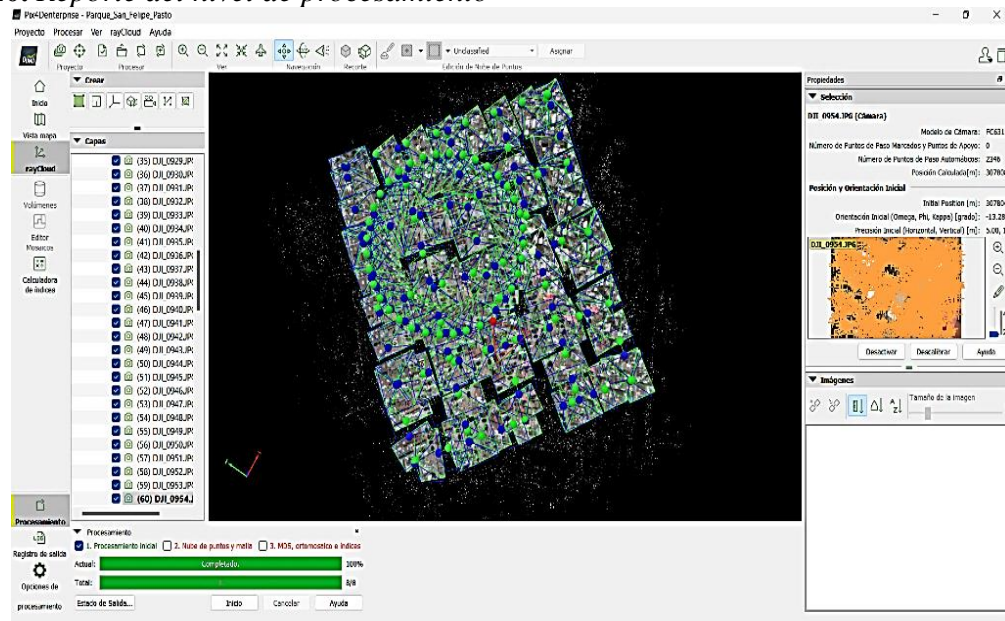
El procesamiento de las imágenes consta de tres niveles, en el primero de ellos se puede observar que el programa identifica y localiza de manera geoespacial los ejes de recorrido del dron y las fotografías capturadas, según las misiones asignadas previamente. Para el caso particular se programaron dos misiones: una rectangular doble grilla y otra de tipo circular. En este primer proceso se define la “escala” de imagen para puntos entre tres opciones: Completa, Rápida y

Personaliza, para nuestro caso se seleccionó la opción Rápida. En la siguiente imagen se evidencia el avance del primer nivel de procesamiento.

Figura 19. *Opciones de procesamiento*



Una vez finalizado ese nivel de procesamiento se puede obtener un reporte de este y se pueden observar en el entorno del programa, cada una de las imágenes tomadas en las misiones, localizadas de manera geoespacial, tal como puede observarse en la siguiente captura de pantalla.

Figura 20. *Reporte del nivel de procesamiento*

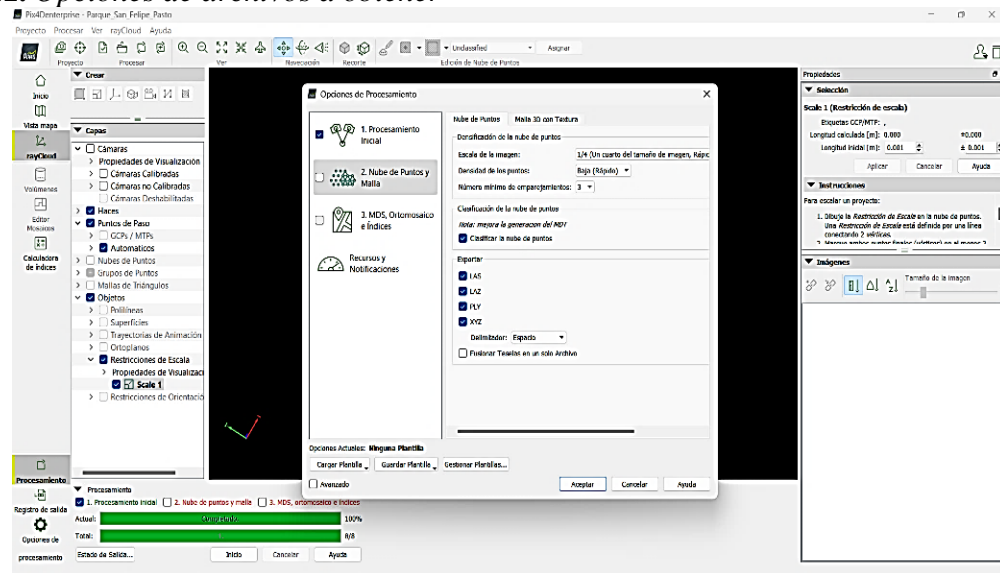
4.3.6 Paso 6. Segundo nivel de procesamiento

El segundo nivel del procesamiento comprende la generación de nube de puntos y malla en tres dimensiones con textura, a partir de las fotografías georreferenciadas. Tanto para la nube de puntos como para la malla 3D, se presentan varias opciones de tipos de archivos, que se generarán y establecerán digitalmente en una carpeta creada automáticamente por el programa durante el procesamiento.

Para la nube de puntos, se pueden generar archivos LAS, LAZ, PLY y XYZ; entre tanto, para malla los archivos que se pueden generar con tipo: PLY, FBX, DXF y OBJ. En las siguientes imágenes se observan los procesos indicados:

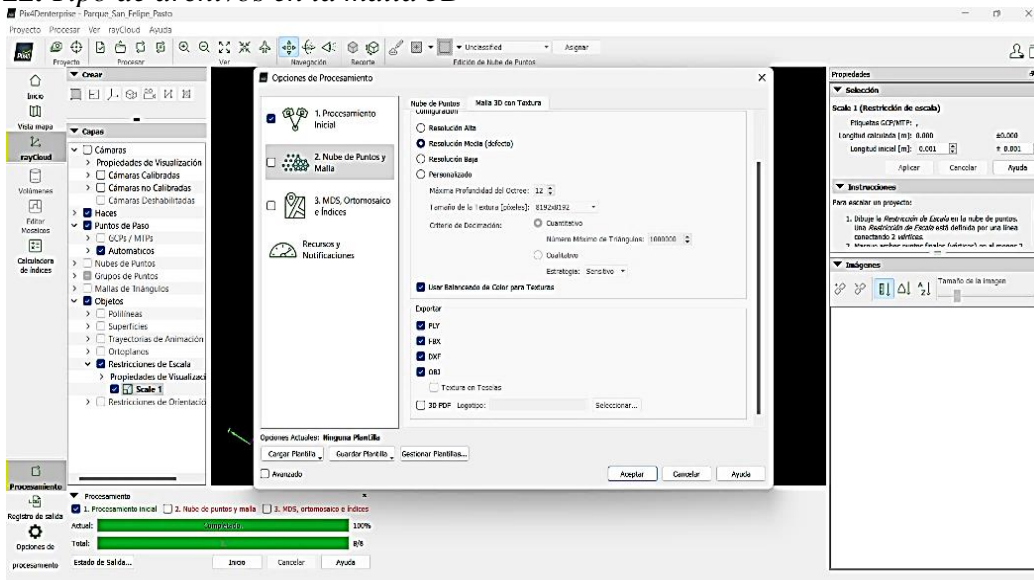
Para el caso de la nube puntos a generar, las opciones de archivos a obtener son las siguientes.

Figura 21. Opciones de archivos a obtener



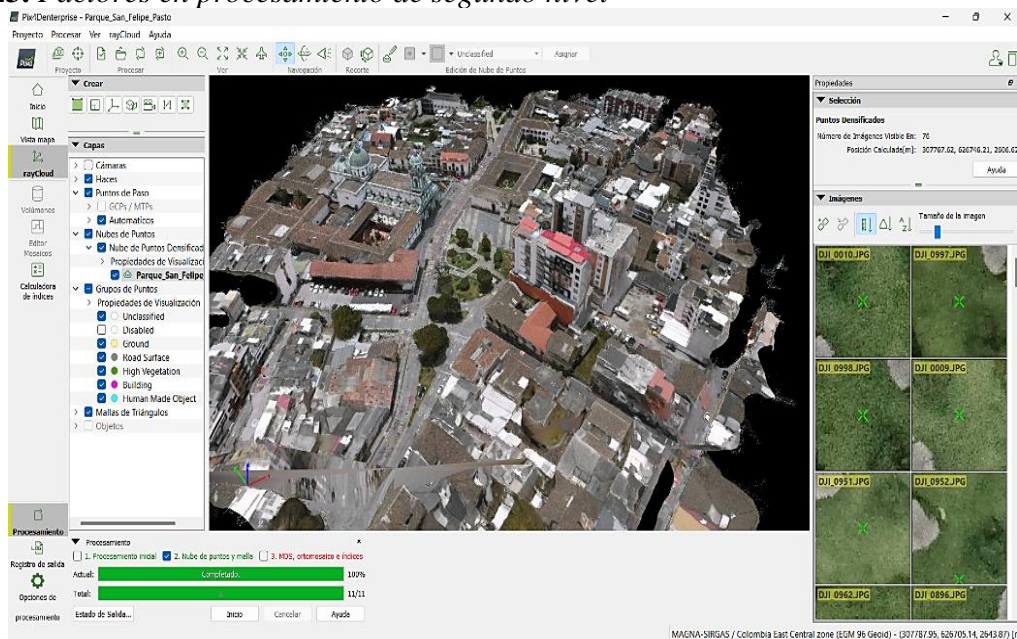
En el caso de la malla 3D por su parte, los tipos de archivos que pueden generarse en el nivel dos del proceso son los siguientes.

Figura 22. Tipo de archivos en la malla 3D



Una vez determinadas las opciones de archivos que se espera generar, el procesamiento en su segundo nivel requiere de un tiempo que depende de factores como: la cantidad de material fotográfico, la calidad de los procesos seleccionadas, las características del equipo de cómputo, etc. Para nuestro caso y después de aproximado de 5 minutos, el resultado obtenido es una imagen digital en 3D del área aerofoto grafiada, tal como se observa en la siguiente imagen.

Figura 23. Factores en procesamiento de segundo nivel



4.3.7 Paso 7. Tercer nivel de procesamiento

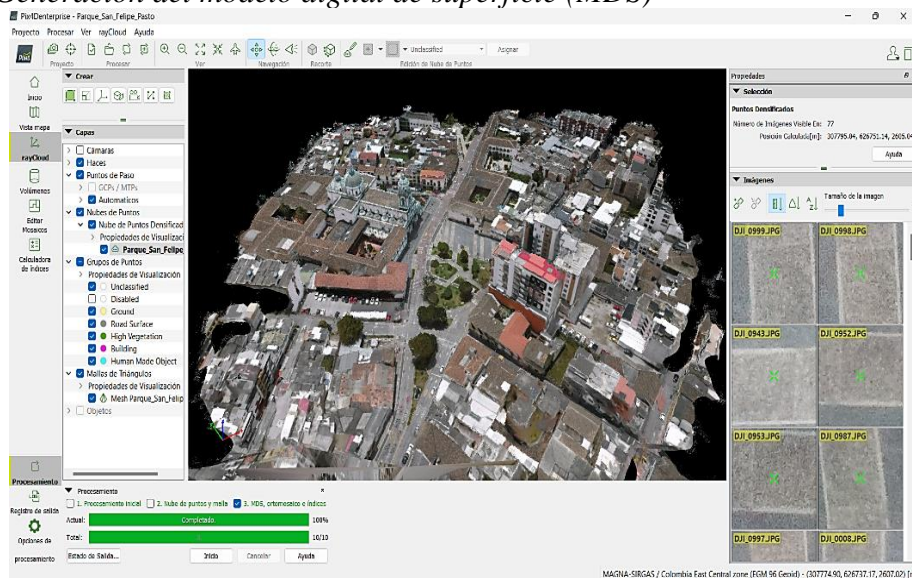
El último nivel del procesamiento en Pix4DMapper, comprende la generación del modelo digital de superficie (MDS), del ortomosaico, de información complementaria e índices varios. Al igual que el caso anterior, para cada uno de los paquetes de información a generar, se presentan varias opciones de las cuales se considera necesario seleccionar principalmente aquellas relacionadas con las siguientes.

Para el MDS y ortomosaico: Activar filtros, activar GeoTIFF y Fusionar Teselas.

Para “Resultados Adicionales”: activar XYZ, LAS y LAZ para Grid MDS; activar GeoTIFF y Fusionar Teselas para el ráster de MDT; activar la generación de archivos tipo SHP, PDF y DXF para curvas de nivel del terreno fotografiado, que pueden generarse a partir del procesamiento.

En las siguientes tres imágenes se observan los dos aspectos antes indicados y finalmente el resultado del proceso.

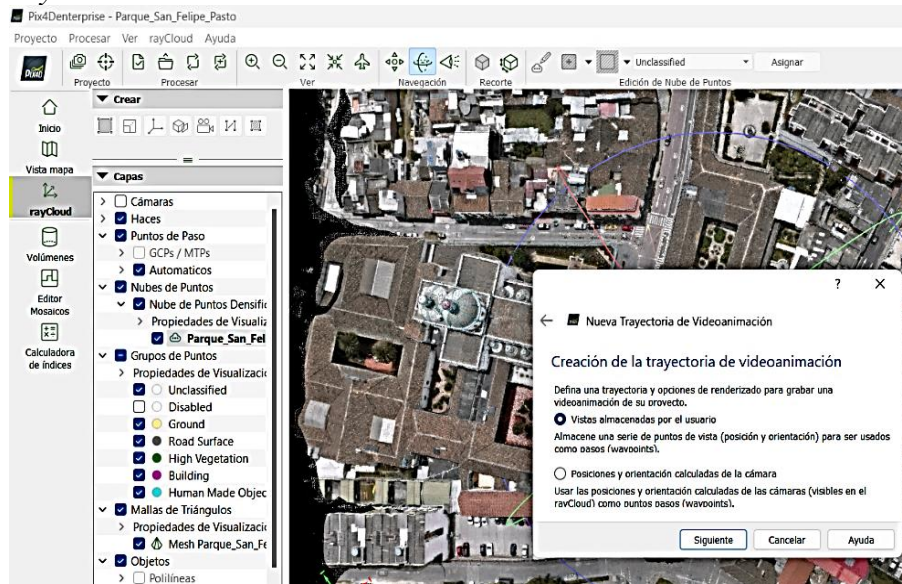
Figura 24. *Generación del modelo digital de superficie (MDS)*



Una vez finalizado el proceso, es posible complementar la ejecución de herramientas dentro del programa, como lo es la creación de animaciones en tres dimensiones de la maqueta digital generada a partir de las fotografías, para lo cual existe la posibilidad de controlar la localización del punto de vista de la animación, la velocidad y duración de estas, así como la generación del recorrido visual que se busque generar con la animación.

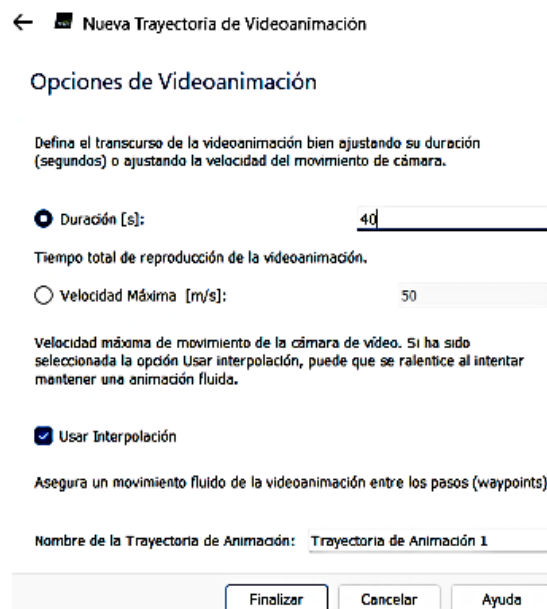
En las siguientes imágenes se muestra parte de las ventanas de diálogo que se despliegan durante el proceso de creación de una trayectoria de animación.

Figura 25 . Trayectoria de la animación



Es importante clarificar que la última herramienta descrita a continuación, no hace parte de los productos digitales esperados para generar topografía a partir de orto mosaicos obtenidos con RPAS, sin embargo, los videos obtenidos permiten la visualización digital de las áreas estudiadas, guardando una trayectoria con fines de exposición, publicidad, etc.

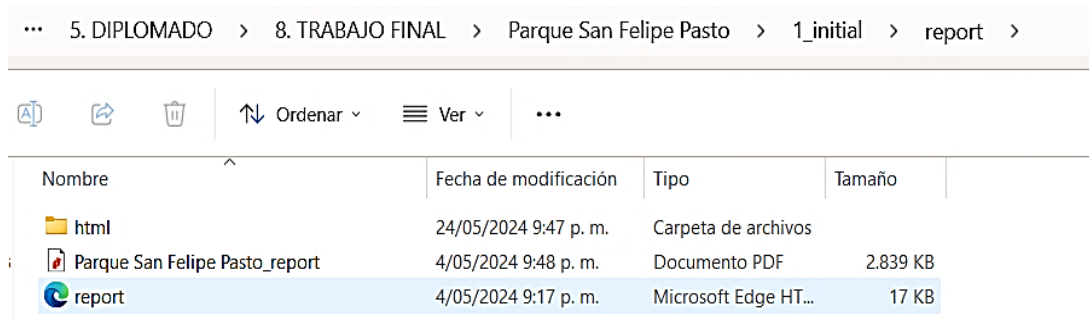
Figura 26. Opciones de video animación



4.3.8 Paso 8. *Obtención de productos digitales del procesamiento*

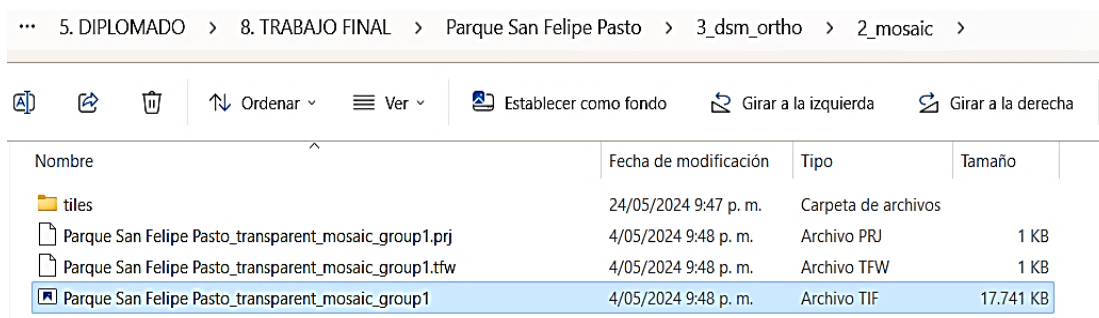
En la carpeta donde inicialmente se creó el proyecto, se generaron tres carpetas que contienen los productos generados en cada uno de los niveles de procesamiento, desde los informes de procesamiento del primer nivel, hasta los archivos relacionados con el ortomosaico generados en el tercer nivel. Como ejemplo, se indica en las siguientes imágenes la ruta de los principales archivos generados para el primer y tercer nivel de procesamiento.

Figura 27. *Carpeta 1_initial: Report*



Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
html	24/05/2024 9:47 p. m.	Carpeta de archivos	
Parque San Felipe Pasto_report	4/05/2024 9:48 p. m.	Documento PDF	2.839 KB
report	4/05/2024 9:17 p. m.	Microsoft Edge HT...	17 KB

Figura 28. *Carpeta 3_dsm_ortho: Archivo con extensión*



Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
tiles	24/05/2024 9:47 p. m.	Carpeta de archivos	
Parque San Felipe Pasto_transparent_mosaic_group1.prj	4/05/2024 9:48 p. m.	Archivo PRJ	1 KB
Parque San Felipe Pasto_transparent_mosaic_group1.tfw	4/05/2024 9:48 p. m.	Archivo TFW	1 KB
Parque San Felipe Pasto_transparent_mosaic_group1.tif	4/05/2024 9:48 p. m.	Archivo TIF	17.741 KB

Los productos del procesamiento que guardan en las tres carpetas generadas y que, para efectos del presente trabajo se consideran que deben tenerse en cuenta para los siguientes procesos, son los siguientes:

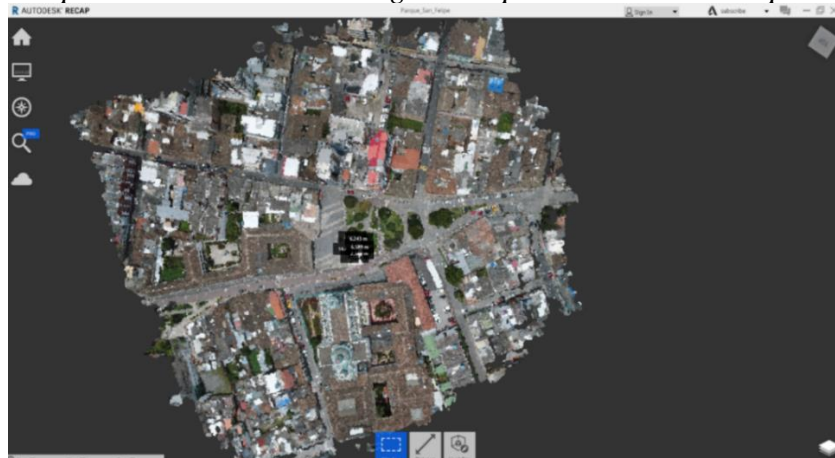
1. Carpeta 1_initial: reporte del procesamiento, que corresponde al informe generado por el software con los resultados de todo el proceso.
2. Carpeta 2_densification: archivos con extensión *.laz y *.xys: Corresponden a la nube de puntos generada con las imágenes en 3 dimensiones que pueden exportarse al programa Recap Pro, en el cual podemos realizar mediciones directas sobre los elementos.
3. Carpeta 3_dsm_ortho: archivo con extensión *.tif: Corresponde a la imagen del ortomosaico generado, el cual puede ser importado desde AutoCAD y desde ArcGIS.

4.4 Edición de ortofoto en Recap Pro

El software Recap pro, permite la visualización georreferenciada y en tres dimensiones, de las imágenes obtenidas con el postproceso de Pix4D Mapper, para ello es necesario importar los archivos nube de puntos los cuales corresponden a los de formato *.laz, que se obtienen en el segundo nivel de procesamiento tal como se indicó en apartes anteriores de este documento.

En la siguiente imagen se observa la vista en planta de las imágenes georreferenciadas obtenidas al importar los archivos *.laz en Recap Pro.

Figura 29. Vista en planta del archivo de imágenes importadas desde Recap Pro



Considerando que, el archivo importado hace parte de una nube de puntos de los cuales cada uno contiene una imagen que conforma una representación tridimensional del área en estudio, la resolución de la imagen general es limitada a medida que se acerca a la misma (zoom in). Por la misma razón, las mediciones sobre elementos relativamente pequeños, no registra una adecuada precisión para los efectos del presente trabajo por lo cual se considera el software en este caso, una herramienta para validar la georreferenciación de las imágenes.

Figura 30. *Vistas desde varios ángulos del área de estudio #1*

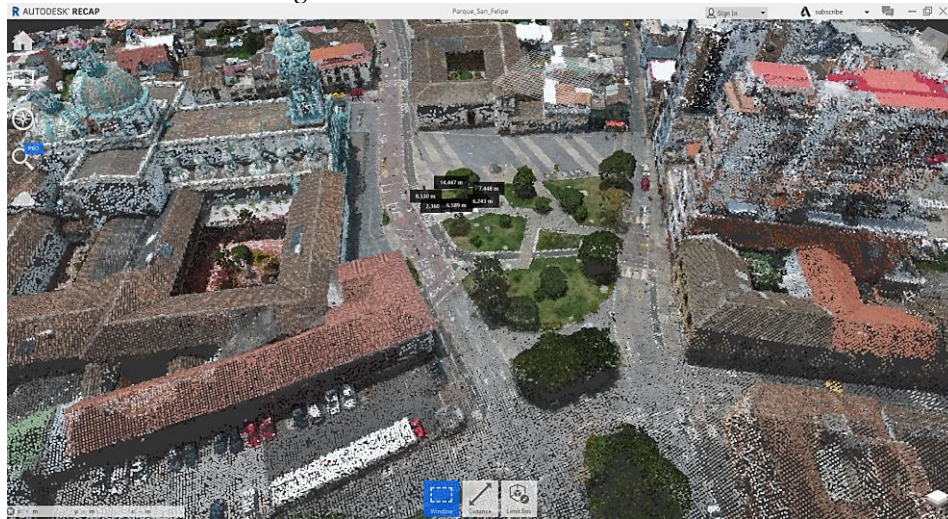
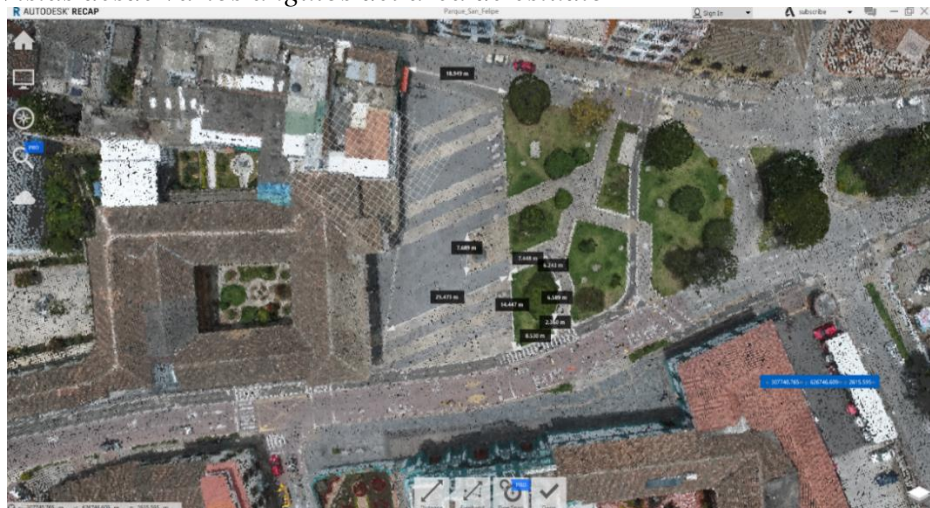


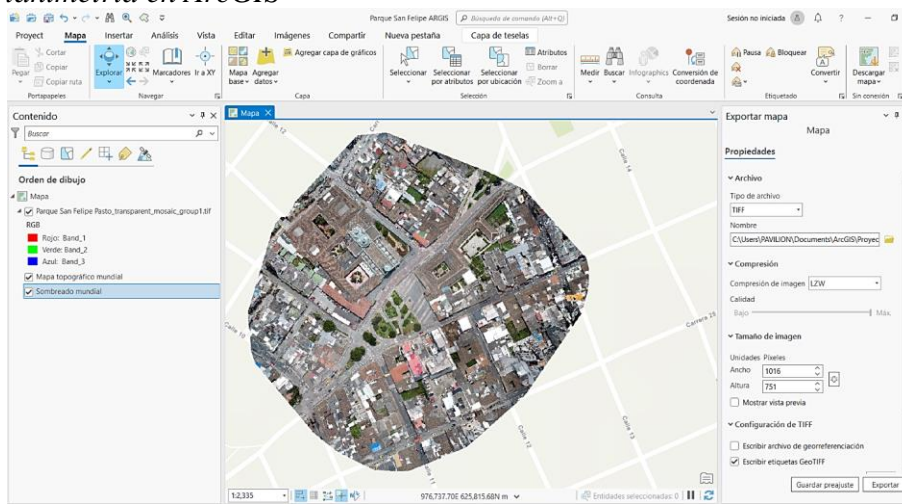
Figura 31. *Vistas desde varios ángulos del área de estudio #2*



4.5 Planimetría en ArcGIS

Para continuar con el proceso de fotointerpretación del ortomosaico generado, se procedió a la utilización del software ArcGIS Map, en el cual se cargaron dos capas: i) archivo en extensión *.tif que corresponde al ortomosaico, y ii) mapa base de la zona que corresponde al proyecto en estudio, tal como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 32. *Planimetría en ArcGIS*



En el proceso de fotointerpretación y acorde a los objetivos de este proyecto, se identificó nuevamente el polígono y elementos que se verificarán de magnitudes, utilizando las herramientas con las que el software cuenta, para ello. Lo anteriormente expuesto, se puede observar en las imágenes.

Figura 33. Imágenes de la limitación y verificación de magnitudes #1

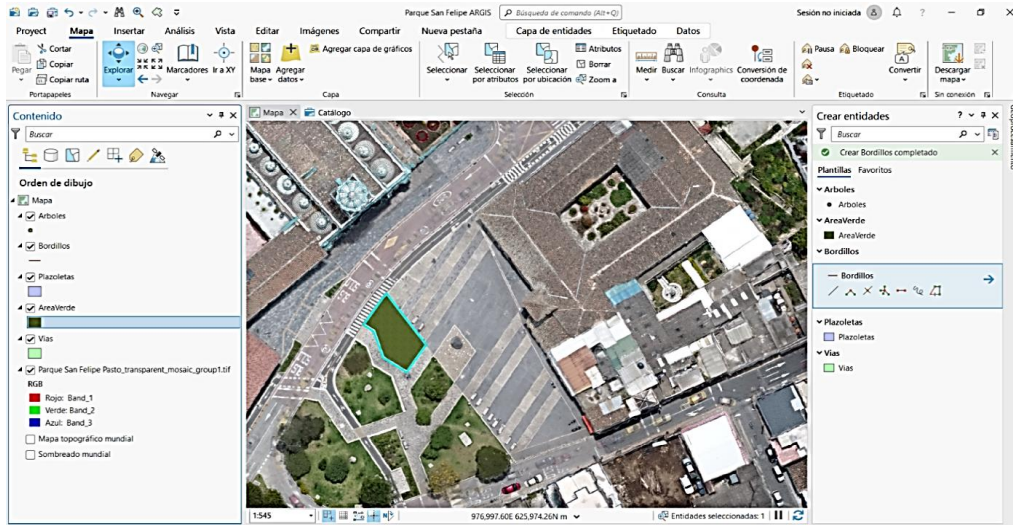
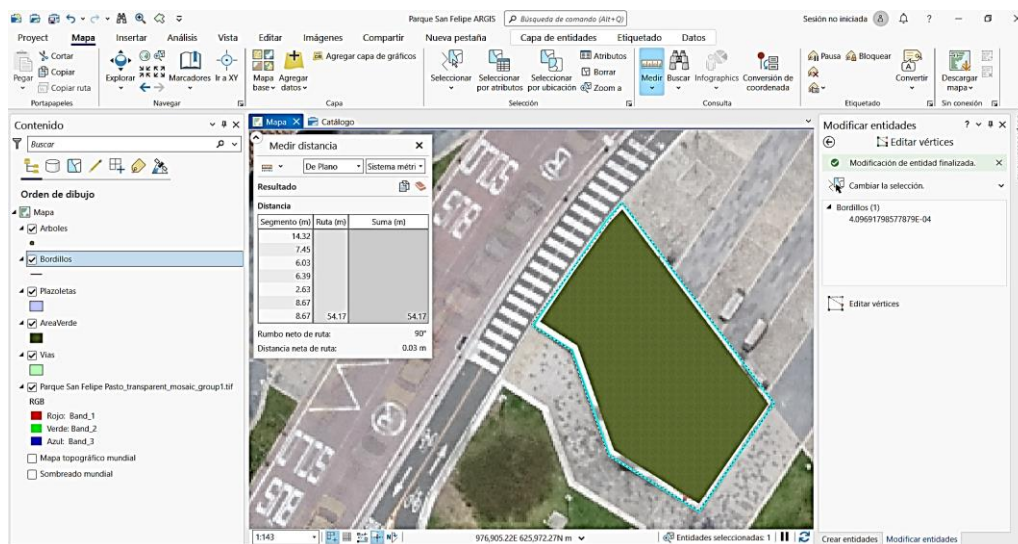


Figura 34. Imágenes de la limitación y verificación de magnitudes #2



4.6 Planimetría en AutoCAD

Para describir el proceso de verificación de la localización y mediciones topográficas en el entorno AutoCAD de la información obtenida mediante las fotografías aéreas y el post procesamiento de las mismas realizado con Pix4DMapper, se considera importante inicialmente clarificar los siguientes aspectos con base en los cuales se realizó dicho proceso

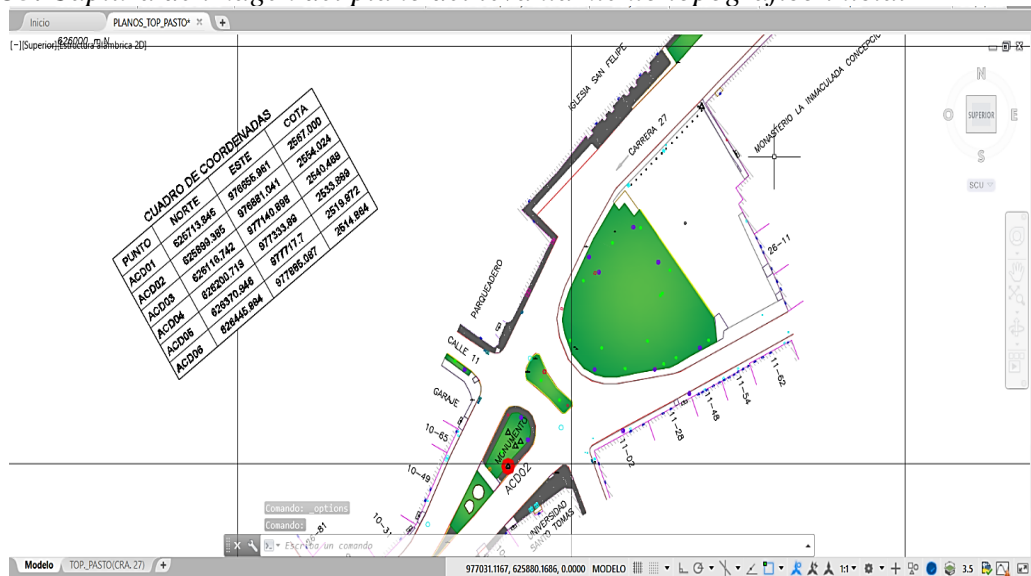
El presente proyecto registra tres productos digitales en AutoCAD, dos de ellos como insumos para las verificaciones a realizar y un tercero correspondiente al generado dentro del proceso de validación de las mediciones, tal como se describe a continuación:

- a) Archivos digitales del levantamiento topográfico de la zona en estudio, según lo indicado en el numeral 3.2 del presente documento.

Estos archivos corresponden a la información con base en la cual se realizó la validación del sistema de referencia de la planimetría a utilizar, la cual permitió de igual manera referenciar el ortomosaico generado utilizando las opciones que para tales efectos cuenta el software Pix4DMapper.

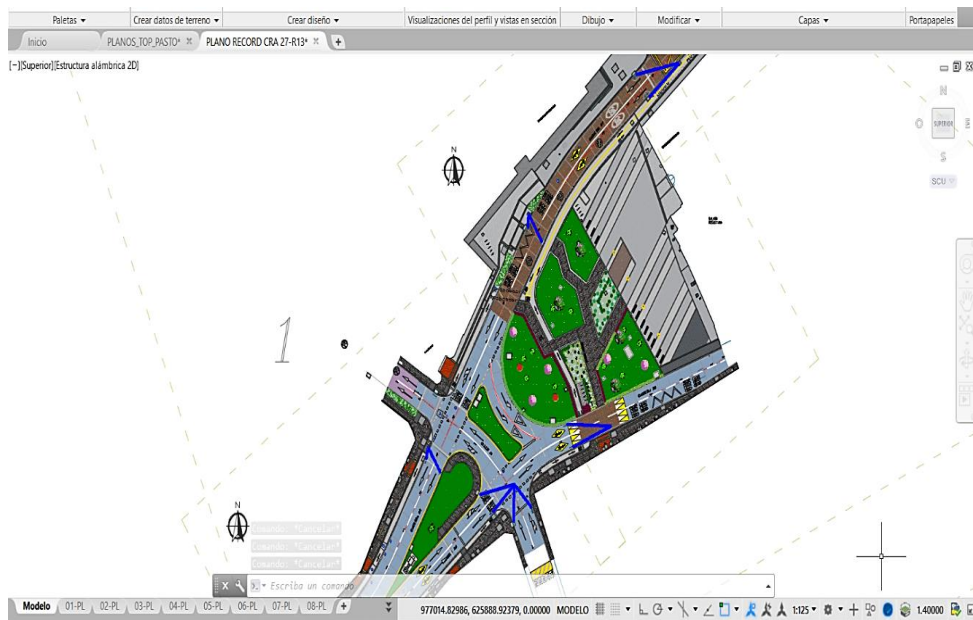
Se recuerda que, para el presente caso el sistema de coordenadas utilizado es “MAGNA – SIRGAS/ Colombia West zone”. En la siguiente captura de imagen se indica parte del plano topográfico inicial focalizando la zona de intereses del proyecto.

Figura 35. Captura de imagen del plano del levantamiento topográfico inicial



- b) Archivos digitales de plano récord de obras de espacio público construido en la zona en estudio, comprende la información topográfica planimétrica de obras de espacio público construidas sobre la misma área objeto del proyecto. En la siguiente captura de imagen se indica igualmente una sección del citado plano:

Figura 36. *Captura de imagen del plano récord de las obras de espacio público en entorno Pix4DMapper*



- c) Archivo generado en el desarrollo del presente proyecto para realizar la comparación de las mediciones en ciertas zonas del Parque San Felipe de la ciudad de Pasto, una vez realizadas las validaciones en el entorno de Recap Pro y en el mismo software AutoCAD, cuyo sistema de fotointerpretación a través del posproceso de Recap Pro y luego su inserción en AutoCAD, forma parte del método de precisión desarrollado por el Arq. Robert Gutierrez Ortiz, y aprendido en el Diplomado.

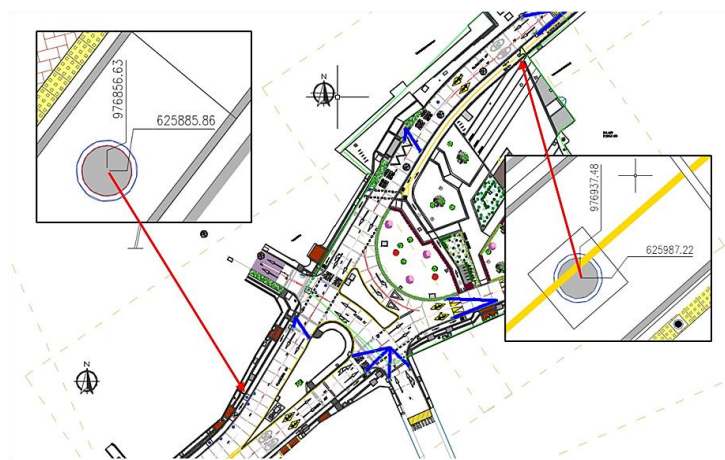
Para este caso, en estos apartes se describe el proceso que el grupo de trabajo realizó para comparar las magnitudes elegidas para el proceso. El archivo generado corresponde a la

elaboración del polígono que conforma los elementos seleccionados para realizar la comparación de las dimensiones según el presente trabajo.

4.6.1 Paso 1. Localizar las coordenadas de los puntos de control en el nuevo archivo

para que el presente proceso el grupo de trabajo consideró tomar dos cámaras del sistema de alcantarillado existente en el sector, las cuales se encuentran debidamente localizadas en el plano récord de las obras de espacio público y que están también claramente identificadas en el ortomosaico generado. En las siguiente siguientes imágenes se indica dichos puntos.

Figura 37. Identificación con coordenadas de puntos de control



4.6.2 Paso 2. Importar desde el entorno autocad, el ortomosaico del postproceso de Pix4D mapper

El proceso se hizo mediante la herramienta “enlazar” de AutoCAD, seleccionado el archivo del postproceso en formato *.tiff, para la cual se toman como referencia las imágenes identificadas de los puntos de control seleccionados.

4.6.3 Paso 3. Chequear la escala y orientación del ortomosaico en Autocad

Una vez enlazado el archivo, se utilizan las herramientas de dibujo del programa para ajustar tanto la escala como la orientación del plano, llevando a las coordenadas identificadas, los puntos de control identificados en la imagen del ortomosaico. En la siguiente imagen se muestra el resultado del proceso.

Figura 38. *Ortomosaico llevado a escala y coordenadas según los puntos de control*

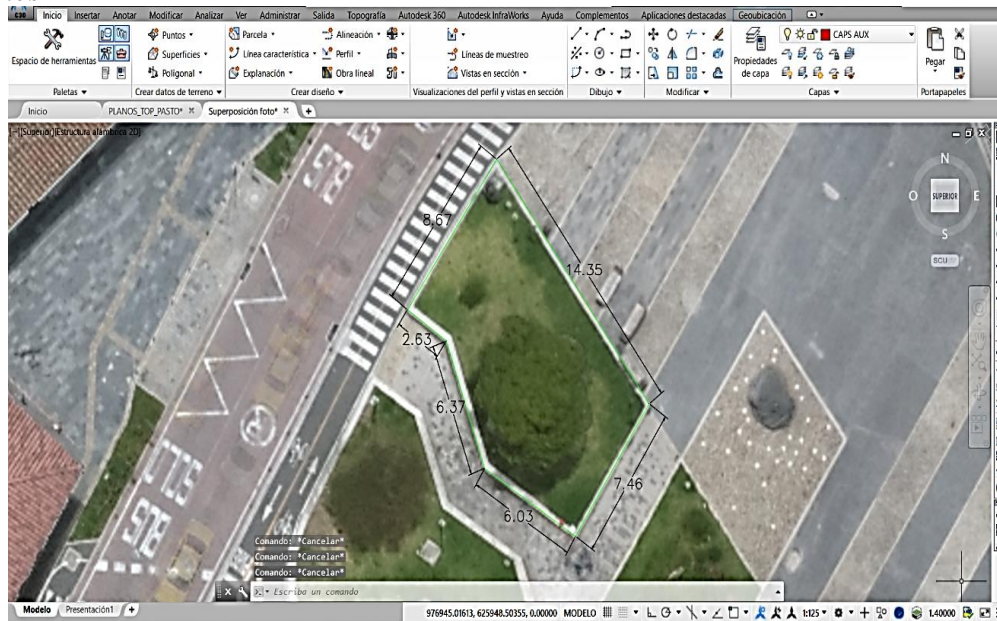


4.6.4 Paso 4. Verificación de dimensiones en los elementos seleccionados

Utilizando el método de precisión topográfica y cartográfica desarrollado por el Arq. Robert Gutierrez Ortiz, y aprendido en el diplomado, la fotointerpretación en la plataforma AutoCAD y el escalamiento del ortomosaico por puntos de control focalizados en la plataforma cartesiana digital es la parte final del proceso para realizar la verificación de dimensiones en los elementos identificados por el grupo para el presente proyecto, se realiza el dibujo digital del

polígono respectivo y se llevan a cabo las mediciones con la herramienta que para los efectos cuenta el programa AutoCAD, tal como se indica en la siguiente imagen.

Figura 39. Polígono que conforma los elementos seleccionados para verificación de dimensiones



Los resultados de las mediciones realizadas en el polígono elaborado en el entorno AutoCAD sobre la imagen del ortomosaico son los siguientes.

Tabla 2. Resultados de las mediciones realizadas en el polígono

LADO	LONG (M)
A	14,35
B	7,46
C	6,03
D	6,37
E	2,63
F	8,67

4.7 Fotointerpretación en Global Mapper

El uso de software de fotogrametría y fotointerpretación aprendido en el Diplomado como otra herramienta para obtener información de magnitudes obtenidas a través del uso de aeronaves no tripuladas, tomamos el programa Global Mapper, donde a partir del ortomosaico podemos realizar mediciones que nos permiten hacer la comparación con la topografía obtenida con levantamiento de equipos como estación total, como es el caso de nuestro proyecto.

Figura 40. Apertura de archivo ortomosaico de PIX4D

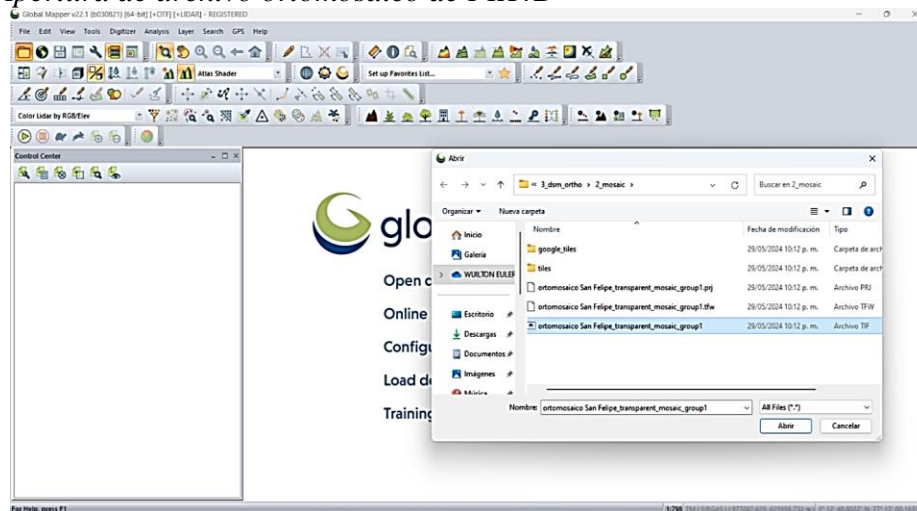
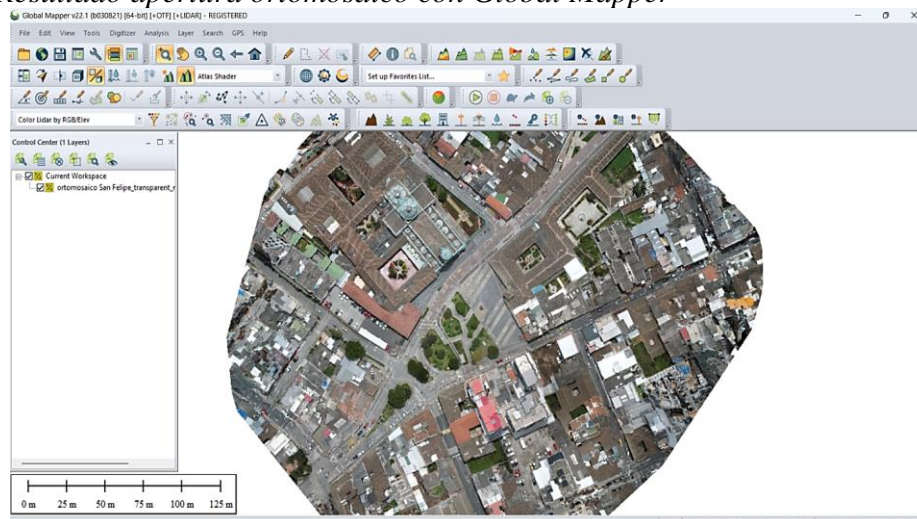
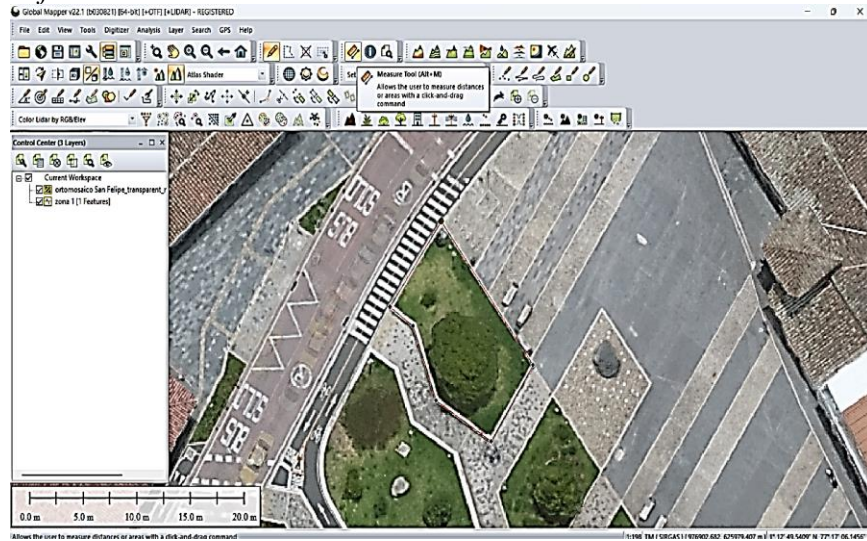


Figura 41. Resultado apertura ortomosaico con Global Mapper



Después de abrir el ortomosaico en el programa Global Mapper procedemos a usar la herramienta de medición del área definida para nuestro trabajo.

Figura 42. *Identificación área a delimitar*



Con el uso de la herramienta de medición, se tomaron las medidas de cada lado del área de evaluación donde se obtienen los resultados, cuyo proceso puede observarse en la siguiente secuencia de imágenes.

Figura 43. *Secuencia del proceso de mediciones #1*

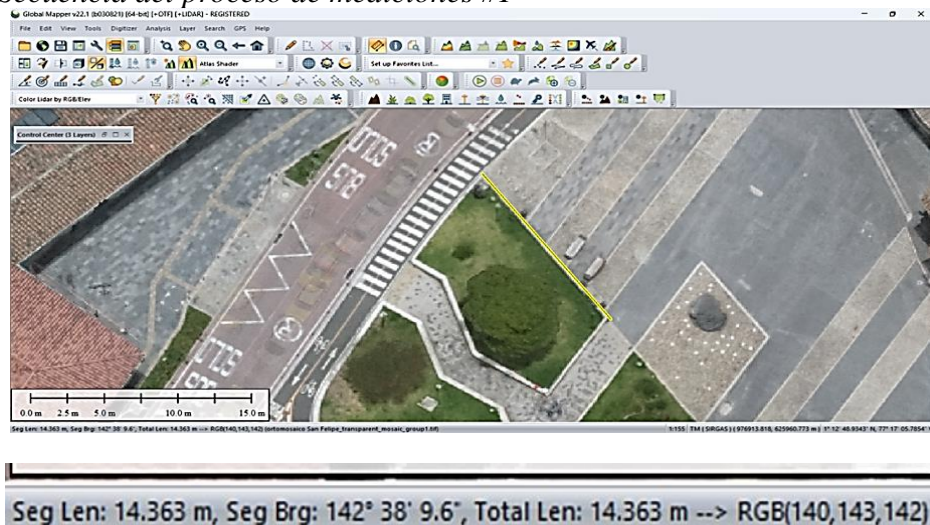


Figura 44. *Secuencia del proceso de mediciones #2*

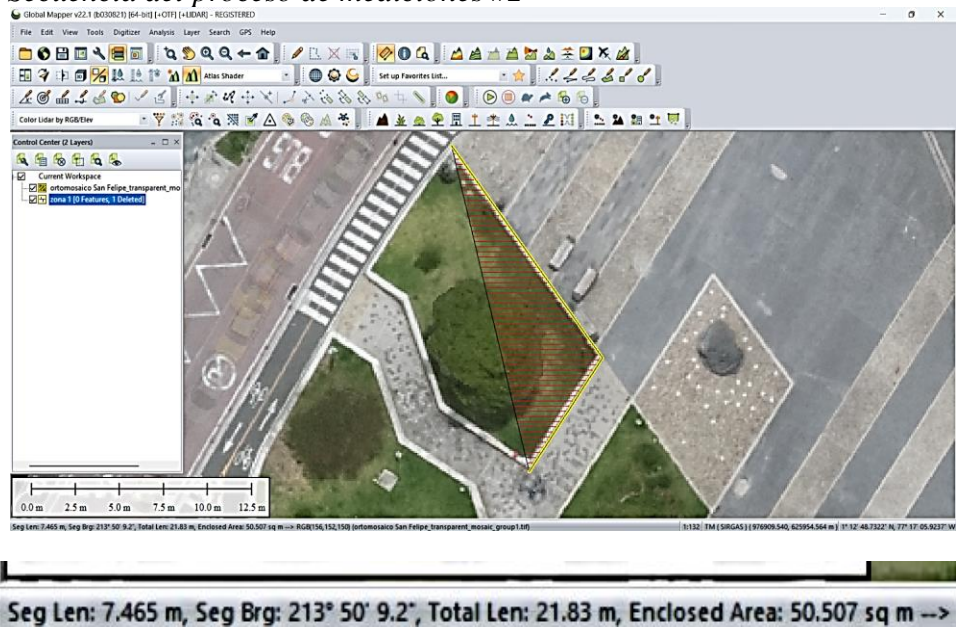


Figura 45. *Secuencia del proceso de mediciones #3*

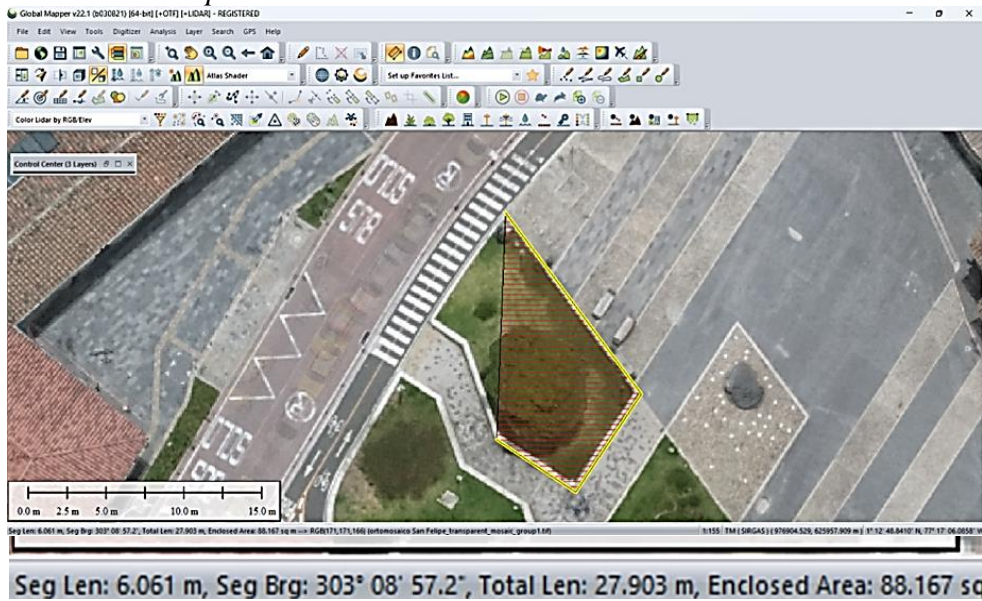


Figura 46. Secuencia del proceso de mediciones #4

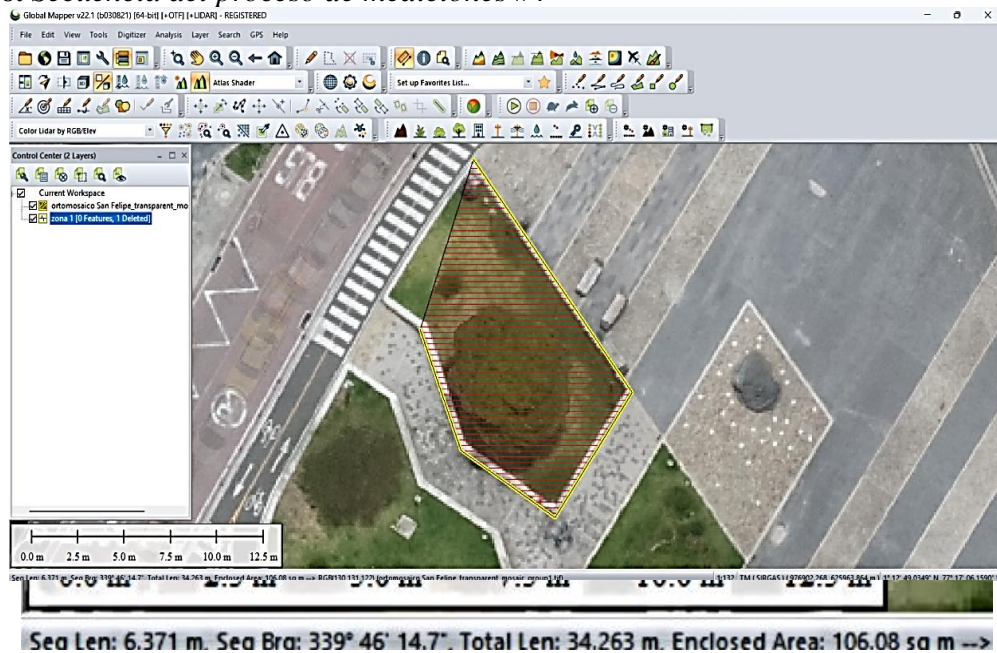


Figura 47. Secuencia del proceso de mediciones #5

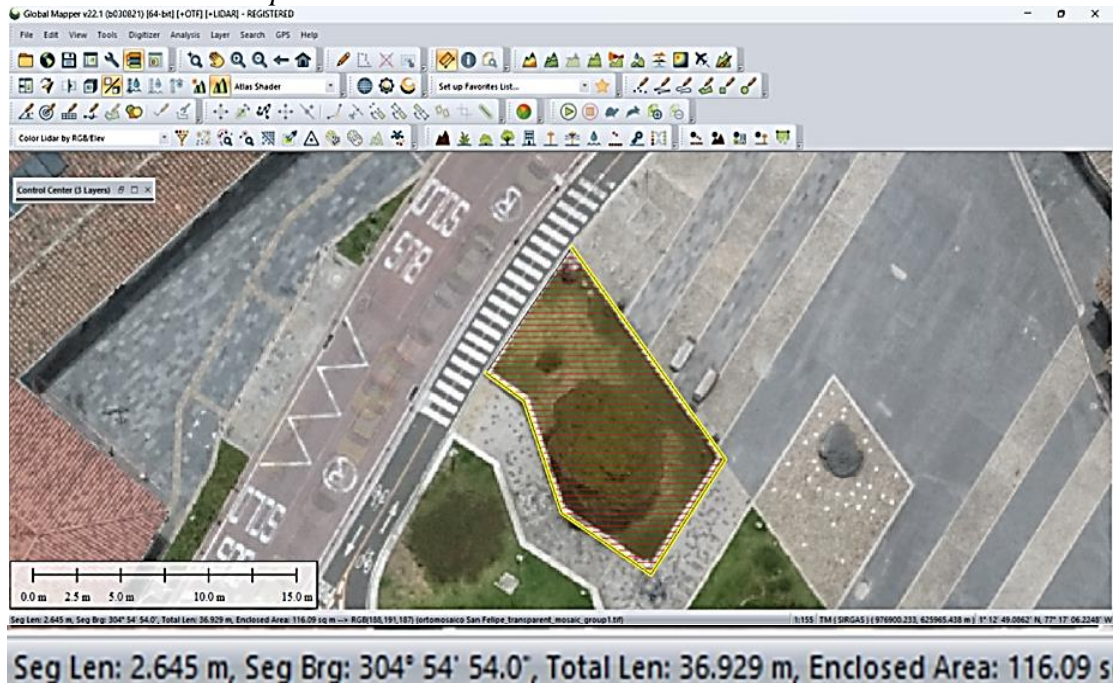
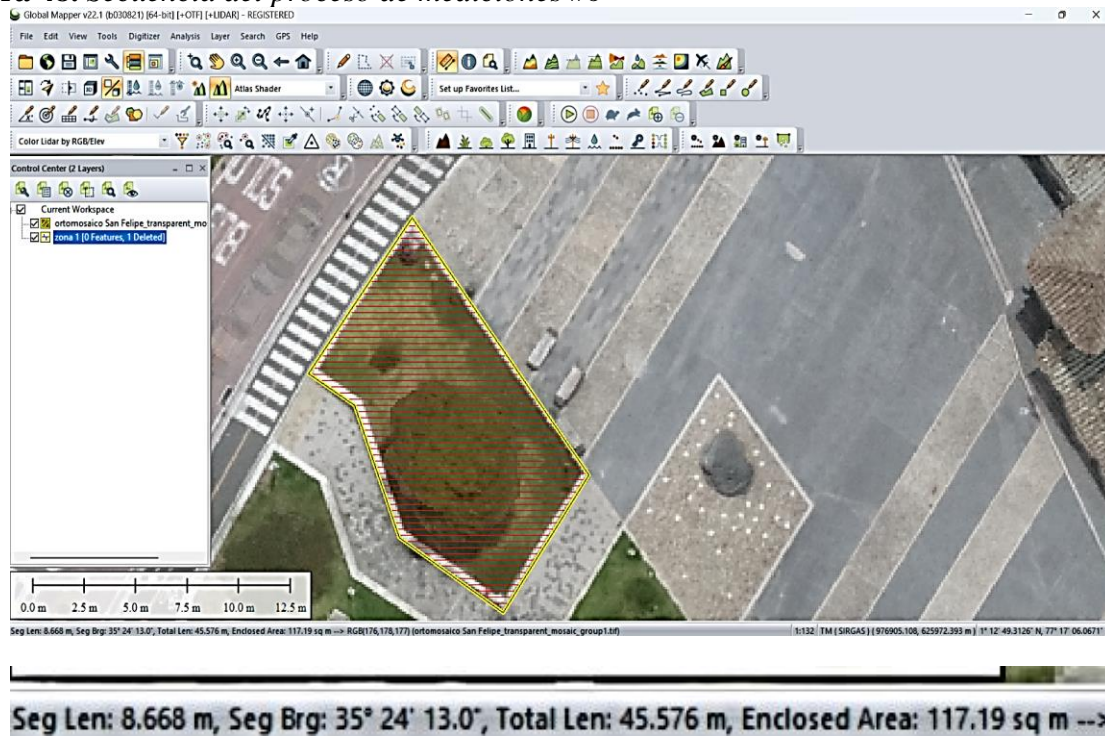


Figura 48. *Secuencia del proceso de mediciones #6*



Los resultados de las mediciones antes efectuadas son los siguientes.

Tabla 3. *Resultados de las mediciones*

LADO	LONG (M)
A	14,363
B	7,465
C	6,061
D	6,371
E	2,645
F	8,668

4.8 Comparativo mediciones existentes

Una vez efectuadas las mediciones para el mismo polígono y en los diferentes escenarios, los resultados comparativos son los siguientes.

Tabla 4. *Resultados Comparativos*

Lado	Topografía Tradicional 2020 (M)	Levantamiento Con Dron (M)	Variación
A	14,36	14,363	-0,003
B	7,48	7,465	0,015
C	6,05	6,061	-0,011
D	6,37	6,371	-0,001
E	2,64	2,645	-0,005
F	8,67	8,668	0,002
Perímetro	45,57	45,573	-0,003

5. Conclusiones

El proceso de topografía a través de vuelos con sistemas RPAS y procesos de fotointerpretación utilizando softwares especializados, reduce en gran medida los tiempos de ejecución de un levantamiento topográfico, toda vez que al hacer un comparativo general de tiempos entre las dos metodologías evaluadas, se puede considerar que para el presente caso un levantamiento con estación total el trabajo de campo requiere un tiempo aproximado de 4 horas; mientras que con el levantamiento efectuado con dron, el trabajo de campo se llevó a cabo en un máximo de 1 hora, considerando los preparativos, el tiempo de vuelo de 12 minutos de las dos misiones y el tiempo de terminación de las actividades.

Los tiempos de trabajo de oficina necesarios para materializar un plano topográfico en las dos alternativas, pueden considerarse similares, sin embargo, la fotogrametría apoyada en sistemas RPAS y softwares especializados presenta las siguientes ventajas:

- Se permite la utilización de una gran variedad de aplicaciones computarizadas que permiten validar y comparar los datos de mediciones y localización en el mismo número de aplicaciones, garantizando así una mayor confiabilidad de los datos obtenidos.

- Existiendo gran variedad de aplicaciones para el postproceso y fotointerpretación, existe la posibilidad de que cada usuario pueda elegir el software que más se ajuste a las necesidades particulares y/o disponibilidad.
- Los reprocesos que eventualmente sean necesarios en la topografía, tales como la necesidad de verificaciones sobre datos tomados en el área de estudio, requieren menor asignación de tiempos y de recursos, porque pueden hacerse directamente desde oficina mediante el uso del ortomosaico, mientras que en el caso de topografía tradicional deben efectuarse necesariamente en campo.

Las variaciones obtenidas en cuanto a la medición de magnitudes según los diferentes escenarios planteados son del orden de milímetros, entre los procesos apoyados con tecnologías RPAS y softwares especializados, y aquellos realizados con metodologías tradicionales de medición directa a través de estación total.

La topografía apoyada en drones registra una precisión del 98,8%, evidenciando una evidente ventaja en relación con la optimización de tiempos, recursos físicos y con la posibilidad de acceder a múltiples herramientas que brindan la gran variedad de softwares, dispuestos actualmente en el mercado para este tipo de actividades, permite concluir que estas tecnologías están siendo cada vez más aceptadas en el campo de su aplicación, sin desconocer que en casos particulares, hasta el momento, sea más conveniente llevar a cabo las tareas con topografía tradicional, como lo es el caso de zonas localizadas bajo espacio aéreo restringido en el cual no es posible el uso drones.

Referencias

- Almagro Gorbea, A. A. (2019). Medio siglo documentando el patrimonio arquitectónico con fotogrametría. *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, (No 11), 4-30.
<http://polipapers.upv.es/index.php/ege/article/view/12863>
- Arcgis. (s.f.). Arcgis. ESRI. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/overview>
- Aspose. (s.f.). Conversión de archivos GIS. Recuperado de <https://products.aspose.app/gis/conversion>.
- Autocad. (s.f.). Autocad. Autodesk. https://www.autodesk.com/products/autocad/overview*
- Autodesk. (s.f.). Autodesk Recap. https://www.autodesk.com/products/recap/overview*
- Blue Marble Geographics. (2023). Global Mapper.*
<https://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper.php>.
- Equipos Topografía. (2023.). Levantamiento topográfico: Guía completa y técnicas.
<https://www.equipostopografia.com/topografia/levantamiento-topografico/>
- Garcia, F. (1994). *Curso Basico de Topografia*.
https://www.academia.edu/24443122/Curso_Basico_de_Topografia_Fernando_Garcia_Marquez
- Geomatas. (s.f.). *Historia de la Fotogrametría*. Obtenido de de Leonardo da Vinci a la Era Espacial: <https://geomatas.com/historia-de-la-fotogrametria/>
- Google. (s.f.). Google Earth Pro Overview. Recuperado de Google.
<https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro>.
- Granshaw, S. I. (1980). Bundle adjustment methods in engineering photogrammetry. *The Photogrammetric Record*, 10(56), 181-207.

IGAC. (s.f.). *Manual, Aplicacion de las fotografias en Areas en Geografia* . Obtenido de <https://biblioteca.igac.gov.co/janium/documentos/1-00305>

Pix4D. (s.f.). Pix4D Mapper. <https://www.pix4d.com/>

Rincón Villalba, M. A., Vargas Vargas, W. E., Botia Flechas, C. J., & Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. (2011). *Altimetría* Obtenido de <https://editorial.udistrital.edu.co/detalle.php?id=14&f=6>

Ruales Zambrano, G. C. R. (2013). 201620-Topografía.

Santamaria Peña, J., Sanz Mendez , T., & Universidad de la Rioja. (2011). *Fundamentos de Fotogrametría*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=492591>

Torres Nieto, A., Villarete Bonilla, E., & Escuela Colombiana de Ingeniería. (2001). *Topografía*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/407741092/Topografia-Alvaro-Torres-pdf>

Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. (2018). *Reglamentos Aeronáuticos de Colombia RAC 1*. Obtenido de <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad>

Vásquez, J. (2023). Curso Básico de Topografía. Editorial TopoMaps.

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

Wolf, P. R., & Ghilani, C. D. (2006). *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*. John Wiley & Sons.