

**Análisis comparativo entre el levantamiento topográfico tradicional, y desarrollo con
fotogrametría y tecnologías Dron aplicado a un predio del condominio San Miguel en
Piedecuesta, Santander**

**José Luis Castro Rodríguez, Juan Pablo Gamboa Hurtado, Victor Ferney Zambrano
Núñez**

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

Opción de grado: Diplomado en Piloto De Operaciones Rpas y Fotogrametría

Director

Robert Gutiérrez Ortiz

Magister en Dirección y Gestión de Proyectos

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Especialización en Interventoría y Supervisión en la Construcción

2024

Contenido

Introducción 12

1. Análisis comparativo entre el levantamiento topográfico tradicional, y desarrollo con fotogrametría y tecnologías Dron aplicado a un predio del condominio San Miguel en Piedecuesta, Santander..... 14

1.1 Planteamiento del problema 14

1.2 Justificación..... 14

1.3 Objetivos 15

1.3.1 Objetivo general 15

1.3.2 Objetivos específicos 15

2. Marco referencial..... 16

2.1 Marco teórico 16

2.2 Marco conceptual 17

2.2.1 Levantamiento topográfico..... 17

2.2.2 Altimetría..... 18

2.2.3 Planimetría..... 18

2.2.4 Topografía con drones 18

2.2.5 Autocad..... 19

2.2.6 ArcGIS..... 19

2.2.7 ReCap Pro..... 19

2.2.8 Pix4D mapper 19

2.2.9 Global Mapper 19

2.2.10 Google Earth Pro	20
2.2.11 Concoord	20
2.3 Marco legal.....	20
2.3.1 Normativa general	20
2.3.2 Normativa Drones	21
3. Fase 1. Fase de Planificación y Postproceso.....	23
3.1 Localización de lugar objeto de estudio.....	23
3.2 Muestras fotogramétricas	26
3.3 Sistema de Coordenadas de referencia.....	26
3.4 Parámetros de Software y configuración	26
3.4.1 Selección de imágenes.....	26
3.4.2 Propiedad de imagen	27
3.4.3 Verificación del modelo de cara y bandas.....	28
3.4.4 Selección de sistema de Coordenadas de salida.....	28
3.4.5 Opciones de procesamiento	29
3.5 Configuraciones de software para desarrollo de procesamiento fotogramétrico	30
3.5.1 Configuración primer proceso	30
3.5.2 Configuración segundo proceso	32
3.5.3 Configuración tercer proceso.....	34
3.6 Puntos de control.....	36
3.7 Análisis de datos.....	36
3.7.1 Georeferenciación con Puntos de control.....	36
3.7.2 Procesamiento PIX4D MAPPER	39

COMPARATIVA LEVANTAMIENTO TRADICIONAL Y FOTOGRAMETRIA DRON	4
3.7.3 Reporte de calidad	42
3.7.4 Importación y edición nube de puntos en Recap Pro	43
3.7.5 Importación orto mosaico y nube de puntos a AutoCAD	44
3.7.6 Incorporaciones coordenadas de Puntos de Control a AutoCAD	46
4. Fase 2 Obtención de información topografía convencional y con dron	48
4.1 Topografía convencional.....	48
4.2 Topografía con dron	50
5. Fase 3 Postproceso obtención de curvas de nivel a través de Global Mapper.....	52
6. Fase 4 Proceso de comparación de magnitudes topografía convencional versus, topografía con drones y fotografía.	55
6.1 Comparativa levantamiento convencional y dron.....	55
7. Conclusiones.....	56
Referencias.....	58
Apéndices.....	61

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Coordenadas Puntos de Control tomados en campo</i>	36
Tabla 2. <i>Distancias de cada lindero levantamiento convencional</i>	49
Tabla 3. <i>Resultado área y perímetro levantamiento convencional</i>	50
Tabla 4. <i>Distancias de cada lindero levantamiento con dron</i>	50
Tabla 5. <i>Resultado área y perímetro levantamiento con dron</i>	51
Tabla 6. <i>Comparativo levantamiento convencional y dron respecto a linderos</i>	55
Tabla 7. <i>Comparativo levantamiento convencional y dron respecto a Área y perímetro</i>	56

Lista de figuras

Figura 1. <i>Ubicación de terreno objeto de estudio</i>	23
Figura 2. <i>Selección de ubicación punto de inicio misión</i>	24
Figura 3. <i>Ruta de Polígono</i>	24
Figura 4. <i>Conversión Coordenadas con Software Concoord</i>	25
Figura 5. <i>Ruta estimada</i>	25
Figura 6. <i>Apartado de selección de imágenes</i>	27
Figura 7. <i>Propiedades de imagen</i>	27
Figura 8. <i>Edición de modelo de cámara</i>	28
Figura 9. <i>Sistema de Coordenadas</i>	29
Figura 10. <i>Plantilla de opciones de procesamiento</i>	29
Figura 11. <i>Parámetro general</i>	30
Figura 12. <i>Parámetro de emparejamiento</i>	31
Figura 13. <i>Parámetro de calibración</i>	31
Figura 14. <i>Parámetro de nube de puntos</i>	32
Figura 15. <i>Parámetro de malla 3d con textura</i>	33
Figura 16. <i>Parámetro de avanzado</i>	33
Figura 17. <i>Parámetro de MDS y orto mosaico</i>	34
Figura 18. <i>Parámetro de resultados adicionales</i>	35
Figura 19. <i>Parámetro de calculadora de índices</i>	35
Figura 20. <i>Importación puntos de control</i>	37
Figura 21. <i>Referenciamiento de imagen con punto de control 1</i>	37
Figura 22. <i>Referenciamiento de imagen con punto de control 2</i>	38

Figura 23. *Referenciamiento de imagen con punto de control 3* 38

Figura 24. *Referenciamiento de imagen con punto de control 4* 39

Figura 25. *Ruta rectangular doble grilla junto con ubicación de puntos de control.* 40

Figura 26. *Resultados procesamiento 1.* 40

Figura 27. *Resultados procesamiento 2* 41

Figura 28. *Resultados procesamiento 3* 41

Figura 29. *Reporte de Calidad de resultados del Procesamiento* 42

Figura 30. *Comparativa DSM y Ortomosaico* 42

Figura 31. *Reporte de Overlap* 43

Figura 32. *Importación nube de puntos a Recap pro* 43

Figura 33. *Configuración de iluminación de laterales* 44

Figura 34. *Configuración de tamaño de visualización de puntos.* 44

Figura 35. *Importación nube de puntos a AutoCAD* 45

Figura 36. *Importación orto mosaica a AutoCAD* 45

Figura 37. *Escala de orto mosaico en AutoCAD* 46

Figura 38. *Coordenadas Punto de Control 1 ACAD* 46

Figura 39. *Coordenadas Punto de Control 2 ACAD* 47

Figura 40. *Coordenadas Punto de Control 3 ACAD* 47

Figura 41. *Coordenadas Punto de Control 4 ACAD* 47

Figura 42. *Orto mosaico escalado y referenciado con puntos de control.* 48

Figura 43. *Plano de levantamiento del terreno con topografía convencional.* 49

Figura 44. *Estimación de área y perímetro levantamiento convencional* 49

Figura 45. *Plano de levantamiento del terreno con dron.* 50

Figura 46. *Estimación área y perímetro levantamiento con dron.* 51

Figura 47. *Importación de nube de puntos a Global Mapper* 52

Figura 48. *importación de orto mosaico a Global Mapper*..... 52

Figura 49. *Creación modelo DSM para curvas de nivel* 53

Figura 50. *Configuración de intervalos curvas de nivel*..... 54

Figura 51. *Orto mosaico con curvas de nivel* 54

Figura 52. *Ortomosaico y curvas de nivel en AutoCAD*..... 55

Lista de apéndices

Apéndice A. *Cartera de Campo*..... 61

Apéndice B. *Plano topográfico Condominio San Miguel Piedecuesta* 64

Apéndice C. *Nube de Puntos y Orto mosaico*..... 64

Apéndice D. *Reporte de Calidad* 65

Apéndice E. *Flight LogBook*..... 72

Resumen

Para nosotros como profesionales los adelantos tecnológicos y las herramientas tecnológicas nos acompañan hoy en casi todas las actividades diarias, la topografía no es la excepción, desde las mediciones con cinta, pasando por teodolito, el nivel de precisión ha evolucionado hasta llegar a la medición con estación total como elemento fundamental del levantamiento topográfico, hoy herramientas más sofisticadas como los Drones, y la edición digital hacen que la topografía se vuelva más eficiente y eficaz en todos los sentidos.

Este trabajo, realizo un comparativo entre una topografía realizada con estación total, y una realizada con Dron, frente a la información cartografía oficial de un predio del condominio San Miguel en Piedecuesta, Santander, determinando así la confiabilidad de ambos métodos topográficos. Dentro de los resultados se destaca que, aunque los métodos analizados presentan una eficacia en cuanto a los resultados obtenidos, el método con Dron entrega adicional una eficiencia que permite el ahorro del tiempo, recursos, mejora la precisión de los datos obtenidos y suministra mayor cantidad de detalles.

Palabras clave: levantamiento topográfico, Dron, precisión, métodos

Abstract

For us as professionals, technological advances and technological tools accompany us today in almost all daily activities, topography is no exception, from measurements with tape, through theodolite, the level of precision has evolved until reaching measurement with total station as a fundamental element of topographic survey, today more sophisticated tools such as Drones, and digital editing make topography become more efficient and effective in every way.

In this work, I made a comparison between a topography carried out with a total station, and one carried out with a drone, against the official mapping information of a property of the San Miguel condominium in Piedecuesta, Santander, thus determining the reliability of both topographic methods. Among the results, it is highlighted that, although the analyzed methods are effective in terms of the results obtained, the Drone method provides additional efficiency that allows saving time and resources, improves the precision of the data obtained and provides a greater quantity. of details.

Keywords: topographic survey, Drone, precision, methods

Introducción

Actualmente en la ingeniería y arquitectura no ha sido aceptado al 100% el levantamiento topográfico con dron, lo que provoca pérdida de oportunidades para los profesionales, en la toma de datos, procesamiento y entrega de los resultados. Una de las causas que no ha permitido beneficiar a los profesionales es el hecho de no poder resolver las dudas con respecto a la precisión del levantamiento topográfico con dron.

Como consecuencia de las dudas los profesionales en las diferentes ramas de arquitectura e ingeniería no toman como primera opción en sus trabajos el utilizar un dron para el desarrollo de sus actividades; en caso de mantenerse esta situación se pronostica que los profesionales tomarán más tiempo en la transición de tecnología y se seguirá perdiendo la oportunidad de realizar en menos tiempo trabajos más completos y precisos.

El presente trabajo busca reducir el mal pronóstico visualizado, demostrando mediante un ejemplo real con una comparación entre dos métodos topográficos, uno convencional con estación total y el otro mediante dron utilizando procesos de fotogrametría con Pix4d Mapper, ArcGIS y Global Mapper.

Anteriormente las herramientas básicas utilizadas en topografía plana eran una cinta métrica para determinar las distancias más cortas, un nivel para determinar las diferencias de altura o elevación, y un teodolito, en un trípode, para medir ángulos, en combinación con el proceso de triangulación. A partir de una posición con ubicación conocida y elevación, se miden la distancia y ángulos para el punto desconocido. Luego entró en auge la Estación Total, la cual puede medir ángulos y distancias de forma electrónica y procesar trigonómicamente los datos para proporcionarnos unas coordenadas de posición en el espacio, como mínimo. Desde su

introducción, estaciones totales han hecho el cambio tecnológico de ser dispositivos óptico-mecánicos para ser totalmente electrónico.

La tecnología GPS ha tenido un gran auge en los últimos años, ya que ésta presenta en todos sus campos de aplicación resultados rápidos y eficaces. Estos campos de aplicación son fundamentales para el desarrollo humano y van desde la navegación aérea y marítima, monitoreo de actividades sísmicas, hasta las obras más vanguardistas de ingeniería.

En respuesta a lo anterior, se ha implementado la creación de nuevas herramientas técnicas para optimizar levantamientos topográficos. Los drones son un vehículo aéreo no tripulado, es decir, una máquina que vuela sin necesidad de que alguien la conduzca, ha demostrado simplificar diversas actividades en la ejecución de proyectos con el fin de generar múltiples beneficios en la obra.

Nuestra herramienta principal será el uso de un dron DJI inspire2 cámara sensimuse x4s, con el que realizaremos un sobrevuelo que nos genere imágenes, las mismas serán procesadas en el software Pix4D mapper, de la que obtendremos entre otros datos una ortofoto, la cual será foto interpretada en ArcGIS 10.8 y Global Mappers. Los datos geométricos de la fotointerpretación permitirán conocer el estudio técnico y descriptivo de un lote de terreno en el condominio San Miguel en Piedecuesta, Santander, examinando la superficie cuidadosamente y considerando las características físicas, geográficas y geológicas del terreno.

1. Análisis comparativo entre el levantamiento topográfico tradicional, y desarrollo con fotogrametría y tecnologías Dron aplicado a un predio del condominio San

Miguel en Piedecuesta, Santander

1.1 Planteamiento del problema

Existe aún muchas dudas de los profesionales en las diferentes ramas de arquitectura e ingeniería frente a la precisión en sus trabajos al utilizar un dron para sus actividades; en la ingeniería y arquitectura no ha sido aceptado al 100% el levantamiento topográfico con dron, lo que provoca pérdida de oportunidades para los profesionales, en la toma de datos, procesamiento de los mismo y más demora en la entrega de resultados.

En caso de mantenerse esta situación se pronostica que los profesionales tomarán más tiempo en la transición de tecnología y se seguirá perdiendo la oportunidad de realizar en menos tiempo trabajos más completos y precisos.

Es necesario poder resolver las dudas, con respecto a la precisión del levantamiento topográfico con dron, por este motivo, el presente trabajo busca reducir el mal pronóstico visualizado, demostrando mediante nuevos procedimientos, con un ejemplo real, con una comparación entre dos métodos topográficos, uno convencional con estación total y el otro mediante dron utilizando procesos de fotogrametría con Pix4d Mapper, ArcGIS y Global Mapper.

1.2 Justificación

En supervisión e interventoría de obras se está observando el aumento del uso de drones, las diferentes innovaciones tecnológicas que se han hecho frente a la tecnología de control, diseño y comunicaciones han permitido obtener datos con una resolución temporal más reducida y con

una alta resolución espacial, tanto de fotografías como de puntos y datos con imágenes planas 2D a imágenes en 3D.

Los drones son capaces de reducir los costos, los tiempos de ejecución y de obtener información más precisa, además da mayor seguridad en las obras y permite analizar información durante el proceso de proyectos.

Gracias a las tomas aéreas, los drones pueden aportar datos muy precisos en trazado de carreteras, infraestructura, catastral, puentes y en cualquier tipo de actividad que se pretenda desarrolla.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar un Análisis comparativo entre el levantamiento topográfico tradicional, y desarrollo con fotogrametría y tecnologías Dron aplicado a un predio del condominio San Miguel en Piedecuesta, Santander.

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar un levantamiento topográfico con tecnología Dron, que permita realizar un comparativo con un levantamiento tradicional realizado con antelación al predio objeto de estudio.

Analizar la precisión de los levantamientos tradicionales y la realizada con tecnología Dron, teniendo como referencia la ubicación del predio.

Comparar las metodologías aplicadas para determinar cuál alternativa o metodología de trabajo es más eficiente al hacer un levantamiento topográfico.

2. Marco referencial

2.1 Marco teórico

Para la elaboración de este texto fue tomado como marco de referencia las siguientes monografías: -1. el “Estudio comparativo entre la topografía clásica con estación total y la fotogrametría digital mediante vehículos aéreos no tripulados (vant) en minería a cielo abierto” realizado por (Ojeda, 2023) y además del “levantamiento topográfico y planimétrico con dron de la granja agroecológica CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS-UNIMINUTO” (Gámez, 2022); donde, estos análisis los dos métodos de medición topográfico y donde se observa que se han llevado con total precisión ambos métodos recalcando las ventajas y desventajas entre ellos como lo son su rendimiento, eficacias, valor económico de inversión y de tiempo para lograr los resultados; además de la facilidad de hacer trabajos posteriores con base a lo ya realizado.

Durante muchos años se han venido implementado herramientas tecnológicas para lograr resultados más precisos y deficientes en el momento de llevar a cabo labores en terrenos como mediciones, delimitaciones y otros que sin ayuda de estas tecnologías serian tareas tediosas y que demandarían mucho tiempo. Los drones son una herramienta que con el tiempo se ha venido incorporando en trabajos de ingeniería y arquitectura, así como en otras industrias.

Finalmente, los dos estudios realizados en años diferentes muestran la eficiencia del uso de drones en realizar las mediciones y realizar trabajos posteriores; además, dicha herramienta no supera los costos de inversión de un sistema de topografía convencional de medición (estación total) y su precisión de las dos opciones es confiable; adicionalmente, otra ventaja del uso de la tecnología de drones es que para su operación necesita a una persona.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico es un estudio técnico y descriptivo de un terreno, examinando la superficie terrestre en la cual se tienen en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, pero también sus variaciones y alteraciones, se denomina a este acopio de datos o plano que refleja al detalle y sirve como instrumento de planificación para edificaciones y construcciones, (IGAC, 2022), existen diferentes tipos de levantamiento en un terreno:

- Levantamientos topográficos urbanos.
- Levantamientos topográficos catastrales.
- Levantamientos topográficos de construcción.
- Levantamientos topográficos hidrográficos.
- Levantamientos topográficos forestales.

El levantamiento topográfico es un conjunto de operaciones ejecutadas sobre un terreno con los instrumentos adecuados para poder confeccionar una correcta representación gráfica plano. Este plano resulta esencial para situar correctamente cualquier obra que se desee llevar a cabo, así como para elaborar cualquier proyecto técnico. Si se desea conocer la posición de puntos en el área de interés, es necesario determinar su ubicación mediante tres coordenadas que son latitud, longitud y elevación o cota. Para realizar levantamientos topográficos se necesitan varios instrumentos, como el nivel y la estación total (Franquet y Querol, 2010).

2.2.2 Altimetría

La altimetría se dedica a medir las alturas y estudiar los métodos y técnicas para representar el relieve de un terreno. También para determinar y representar la altura o cota, de cada uno de los puntos con respecto al plano de referencia. En definitiva, la altimetría se utiliza para representar la verdadera forma del terreno, tanto su extensión y límites, como la forma de su relieve, haciendo para ello una serie de cálculos y operaciones, dicho por la empresa de topografía (Ofiteat, 2017).

2.2.3 Planimetría

La Planimetría es según la Real academia española (RAE, 2023) es una herramienta focalizada en la medición y representación de una parte de la superficie de la Tierra sobre un plano.

La Planimetría se dedica al estudio de los métodos utilizados para lograr representar una escala y detalles de un terreno sobre una superficie plana, haciendo que la planimetría prescinda del relieve y la altitud para lograr una representación en dirección horizontal, expreso (ARCUX, 2024).

2.2.4 Topografía con drones

La topografía con dron se define como la compilación de técnicas que permiten representar la superficie o el relieve de un terreno, a través de la obtención de datos por medio del uso de drones; utilizando drones especializados que permiten obtener el plano del estudio topográfico, el cual puede ser representado de diversas formas: - 3D, ortofoto, entre otros (Umiles, 2022).

2.2.5 Autocad

AutoCAD es el programa por defecto que muchos arquitectos e ingenieros usan para diseñar bocetos, dibujos, planos, estructuras y piezas que deben cumplir con ciertos parámetros solicitados por los clientes (Arcux, s.f.).

2.2.6 ArcGIS

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica (ArcGIS, s.f.).

2.2.7 ReCap Pro

Autodesk ReCap Pro permite crear modelos 3D para proyectos de construcción e infraestructuras reales (Autodesk, s.f.).

2.2.8 Pix4D mapper

Es un software de fotogrametría de última generación, está diseñado para trabajar con la última generación de drones y transformar su gran número de imágenes en nubes de puntos, MDS y orto mosaicos precisos más de un 40% más rápido que nunca (Pix4d, s.f.).

2.2.9 Global Mapper

Global Mapper es una aplicación de sistema de información geográfica (SIG) potente y asequible que combina una gama completa de soluciones de software para el procesamiento de datos espaciales y proporciona acceso a una serie de formatos utilizados en el mundo del CAD, SIG y la ingeniería (Geoilenergy, s.f.).

2.2.10 Google Earth Pro

Google Earth es una plataforma de geomática basada en la nube que permite a los usuarios visualizar y analizar imágenes de satélite de nuestro planeta (Google Earth, s.f.).

2.2.11 Concoord

CONCOORD es un programa de conversión y transformación de coordenadas, que ayuda a las personas que requieran realizar todo tipo de conversión y transformación de coordenadas del antiguo sistema de referencia "Internacional Bogotá" al nuevo sistema de referencia "Magna-Sirgas" establecido por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (ArcGis, 2016).

2.3 Marco legal

2.3.1 Normativa general

2.3.1.1 Ley 1341 de 2009. Sociedad de la información y la disposición de las TIC (tecnologías de la información y las comunicaciones), se precisan conceptos y principios, se establece la Agencia Nacional de Espectro y se anuncian otras normativas (Congreso de Colombia, 2019).

2.3.1.2 Ley 1476 de 2011. Normativa por la cual se establecen responsabilidades administrativas por daño o pérdida de patrimonio o bienes concernientes al Ministerio de Defensa Nacional, organismos vinculados o la Fuerza Pública; en busca de reglamentar las

medidas indispensables para garantizar la seguridad y adecuado uso de los recursos y activos de dichas organizaciones (Congreso de Colombia, 2011).

2.3.1.3 Resolución 643 de mayo del 2018. Determina los requerimientos técnicos para la construcción de un elemento planimétrico o topográfico de cualquier bien inmueble que se desee describir. Ese constructo incluye la descripción física de los linderos y el área precisa. Tales requerimientos son establecidos por el IGAC, como máxima autoridad catastral (Codazzi, 2018).

2.3.1.4 Ley 1978 de 2019. Mediante la cual se renueva el ámbito de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) además de fijar obligaciones, implantar un organismo regulador único y la ordenanza de otras medidas (Congreso de Colombia, 2019).

2.3.1.5 Decreto 1064 de 2020. Respecto al cambio de la estructura del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) se pone en circulación el Decreto 1064 de 2020 por la Republica de Colombia, evidenciándose en la página. Así como la visibilidad del Decreto 1065 de 2020, teniendo como finalidad cambiar la planta de personal que hace parte del Ministerio de las TIC (El presidente de la República de Colombia, 2020)

2.3.2 Normativa Drones

Con respecto al uso de los drones, la normatividad es establecida en el marco internacional, por agente que regulan el espacio aéreo, los acuerdos internacionales o los gobiernos locales. Actualmente, ya 60 países han normalizado el uso y tráfico de vehículos aéreos no tripulados (VANT), estando Colombia entre los ocho países de Latinoamérica que allí se encuentran.

2.3.2.1 Resolución 04201 de 2018. Sobre la adición de la ordenanza en la norma RAC 91 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia referidas con la operación de sistemas aeronavales no tripuladas UAS, y se nombra apéndice 13 así como el acogimiento de otras disposiciones (MTOPI, 2018).

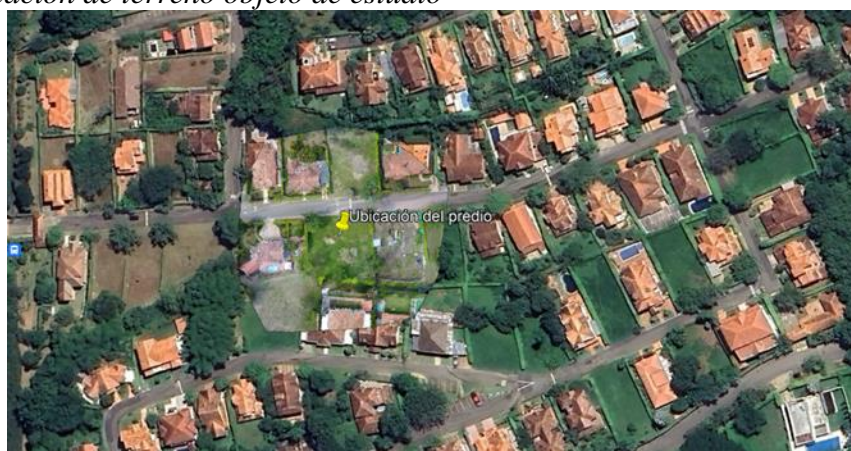
2.3.2.2 Resolución 1983 de 2023. Por medio de la cual se incorpora la norma ‘RAC 100 – Operación de sistemas de aeronaves no tripuladas UAS’ a los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, se modifica una sección y se deroga el Apéndice 13 de la norma RAC 91 de dichos reglamentos (AeroCivil, 2023).

3. Fase 1. Fase de Planificación y Postproceso.

3.1 Localización de lugar objeto de estudio

Para desarrollar de manera eficiente la comparativa entre la topografía convencional y la de dron, se identificó como zona de estudio, un terreno ubicado en el condominio san Miguel del municipio de Piedecuesta-Santander.

Figura 1. *Ubicación de terreno objeto de estudio*



3.1.1 Planificación del vuelo-formato flight logbook

El formato flight logbook es un documento en el cual podemos encontrar información esencial y detallada sobre un vuelo, como la ruta, los tiempos estimados, la información de la aeronave y las condiciones climáticas o meteorológicas.

Este formato nos permitió proporcionar un registro completo y preciso del vuelo realizado con el dron, incluyendo información clave sobre el vuelo realizado, los detalles de la aeronave, la ruta, las condiciones de vuelo y el tiempo de operación para llevar a cabo la misión. Es una herramienta indispensable para el monitoreo y la evaluación del progreso del piloto, así como para la gestión de la seguridad en las operaciones aéreas. Los registros deben ser precisos y actualizados regularmente para cumplir con los requisitos regulatorios y operativos.

Figura 2. Selección de ubicación punto de inicio misión

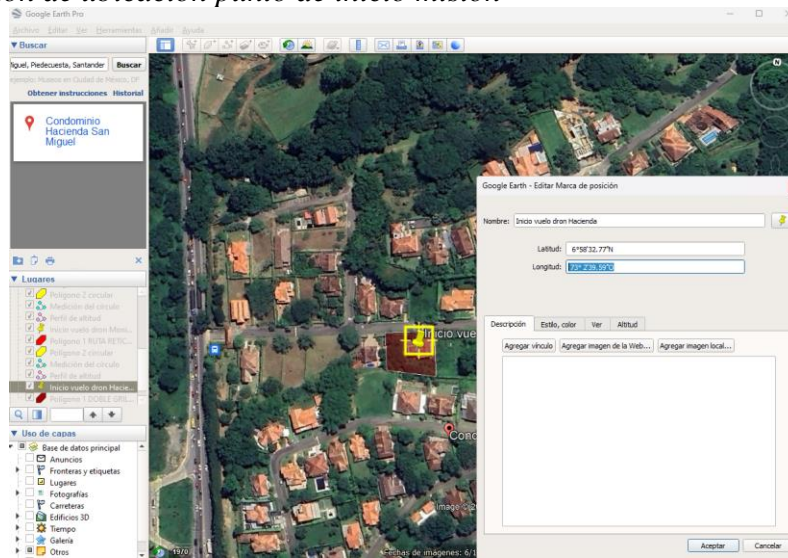


Figura 3. Ruta de Polígono

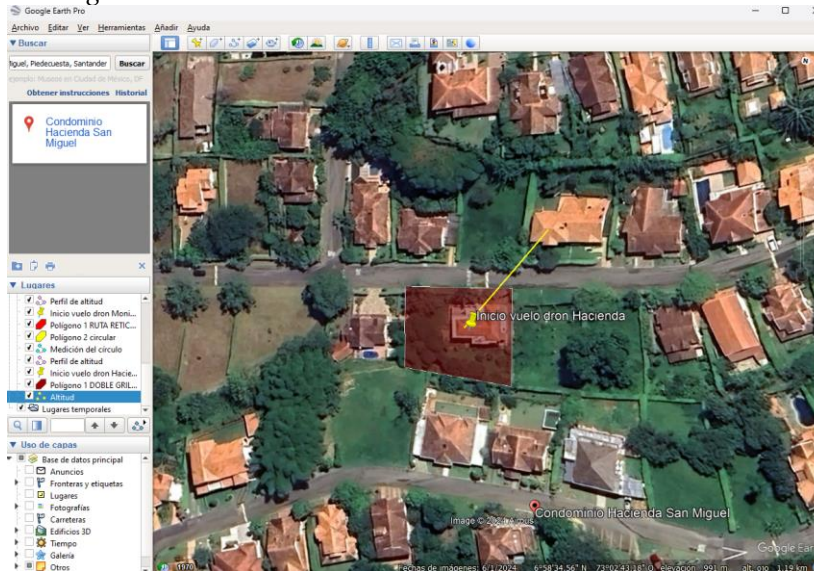


Figura 4. *Conversión Coordenadas con Software Concoord*

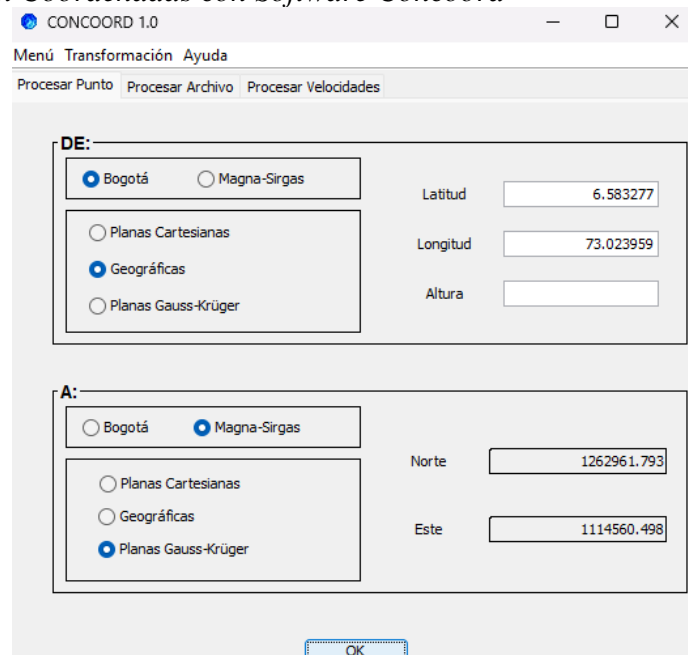
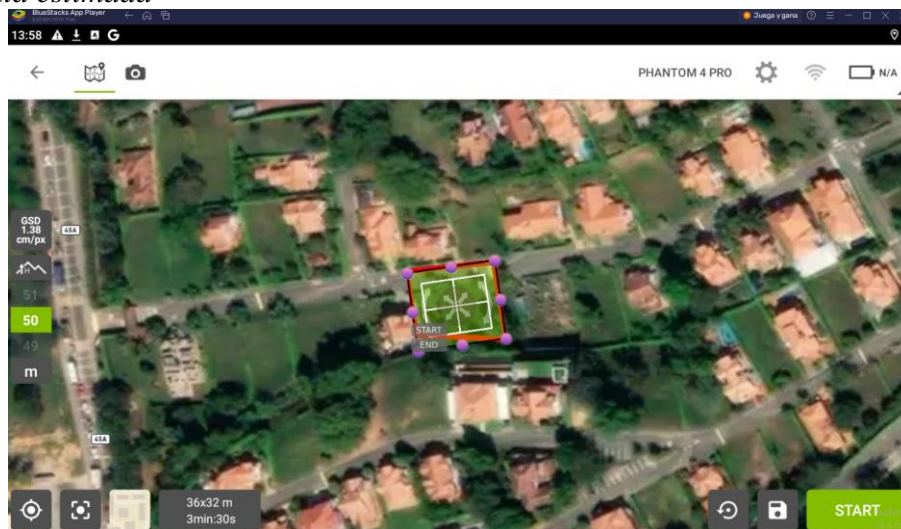


Figura 5. *Ruta estimada*



3.1.2 Método de Postproceso de fotogrametría para aplicar

En el presente informe técnico se llevará a cabo la aplicación del método de Fotointerpretación en AutoCAD con escalamiento de ortomosaico y nube de puntos aprendido en el Diplomado de piloto de operaciones RPAS y fotogrametría cuyo diseñador y desarrollador el

Arq. Robert Gutierrez Ortiz, puso a disposición del espacio académico a fin de adquirir el conocimiento con un nuevo método de precisión que puede ser utilizado en la cartografía, topografía y especialmente en los informes de interventoría en lo que respecta a la verificación de magnitudes y perímetros de lotes o terrenos.

3.2 Muestras fotogramétricas

Se realizó la toma de 38 imágenes fotogramétricas a partir de una ruta rectangular doble grilla sobre la zona de estudio previamente establecida.

3.3 Sistema de Coordenadas de referencia

La selección del sistema de coordenadas se determinó a partir de la información suministrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, dicho sistema se denomina MAGNA SIRGAS y para el caso de la ubicación que corresponde al Municipio de Piedecuesta se establecieron como: MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá zona.

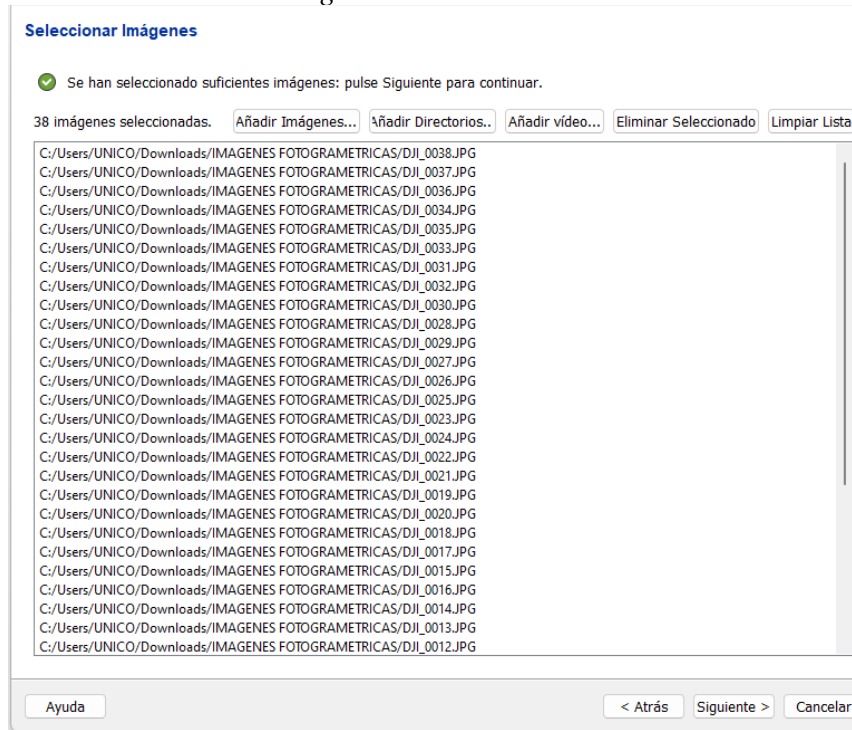
3.4 Parámetros de Software y configuración

El software principal para la realización del procesamiento de las muestras fotogramétricas es PIX4D Mapper, en dicho software es necesario establecer una serie de configuraciones para lograr de manera adecuada dicho proceso.

3.4.1 Selección de imágenes

En este apartado se realizan la selección de la totalidad de las muestras

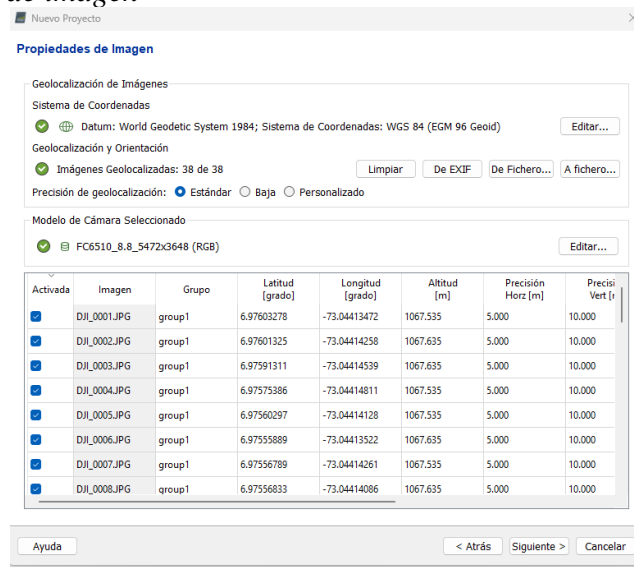
Figura 6. Apartado de selección de imágenes



3.4.2 Propiedad de imagen

Identificación de las propiedades de las imágenes tomadas por el dron, donde se evidencian atributos como lo son: latitud, longitud altitud entre otros.

Figura 7. Propiedades de imagen



3.4.3 Verificación del modelo de cara y bandas

Chequeo del modelo de la cámara con el cual se desarrolló la operación, junto con su banda.

Figura 8. Edición de modelo de cámara

Editar Modelo de Cámara

Modelo de Cámara

Identificación EXIF: FC6510_8.8_5472x3648 (bf68824741b53601731016c3af1c1a65)

Nombre del Modelo de Cámara: FC6510_8.8_5472x3648

Bandas del Modelo de Cámara

Bandas: RGB

Parámetros del Modelo de Cámara

Limpia Estimar a partir de EXIF Cargar Parámetros Optimizados

Advertencia: Parámetros erróneos pueden provocar un fallo en la reconstrucción. Lea la ayuda para más información.

Lentes de Perspectiva Lentes fisheye Modelo Shutter: Shutter Global o Lectura Rápida

<input type="radio"/> Anchura de la Imagen [píxel]:	5472	<input type="radio"/> Anchura del Sensor [mm]:	12.8333
Altura de la Imagen [píxel]:	3648	Altura del Sensor [mm]:	8.55554
Longitud Focal [píxel]:	3689.45	Tamaño del Píxel [µm]:	2.34527
Punto Principal x [píxel]:	2730.91	Longitud Focal [mm]:	8.65275
Punto Principal y [píxel]:	1829.69	Punto Principal x [mm]:	6.40471
		Punto Principal y [mm]:	4.29111

Modelo de Cámara con Distorsiones: S

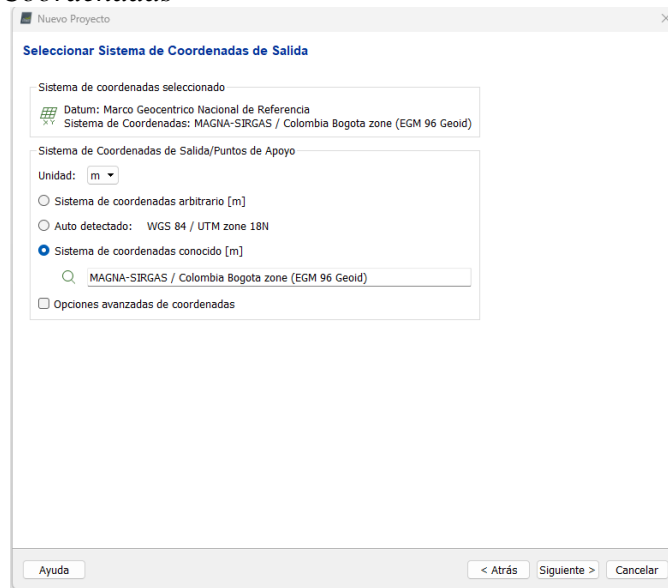
Distorsión Radial R1:	0.00337736	Distorsión Tangencial T1:	0.000668314
Distorsión Radial R2:	-0.0107165	Distorsión Tangencial T2:	0.000920046
Distorsión Radial R3:	0.0106237		

Aceptar Cancelar Ayuda

3.4.4 Selección de sistema de Coordenadas de salida

Se realiza la selección del sistema de coordenadas con base a la información del IGAC como sistema de referencia oficial del país.

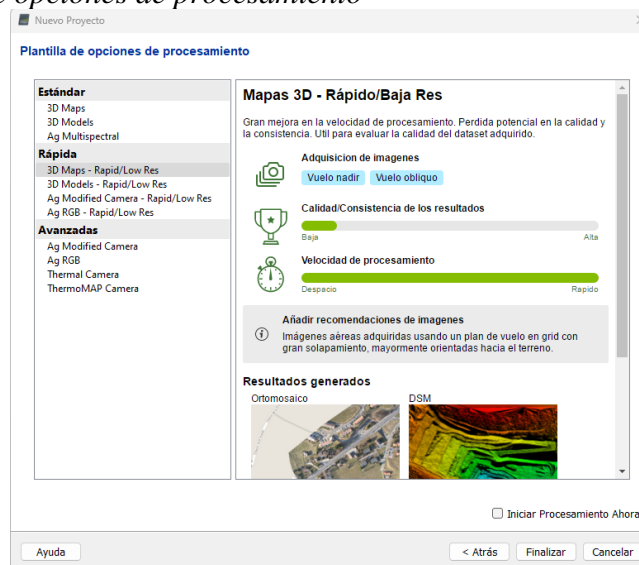
Figura 9. Sistema de Coordenadas



3.4.5 Opciones de procesamiento

En el marco del desarrollo del procesamiento de las muestras fotogramétricas, es esencial contar con la opción de procesamiento 3d maps-rapid/low Res para lograr una eficiencia en cuanto a la rapidez de obtención de resultados.

Figura 10. Plantilla de opciones de procesamiento



3.5 Configuraciones de software para desarrollo de procesamiento fotogramétrico

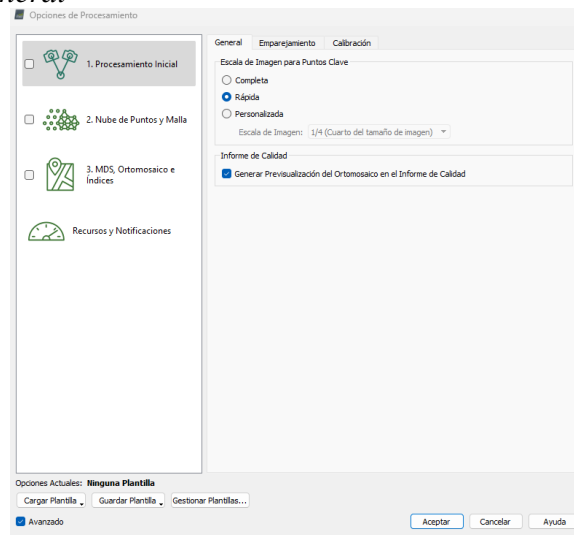
A partir de la carga de las imágenes fotogramétricas y la selección del tipo de procesamiento, se llevan a cabo las configuraciones de cada proceso.

3.5.1 Configuración primer proceso

El primer proceso, el cual se denomina procesamiento inicial, considera los parámetros: general, emparejamiento y calibración.

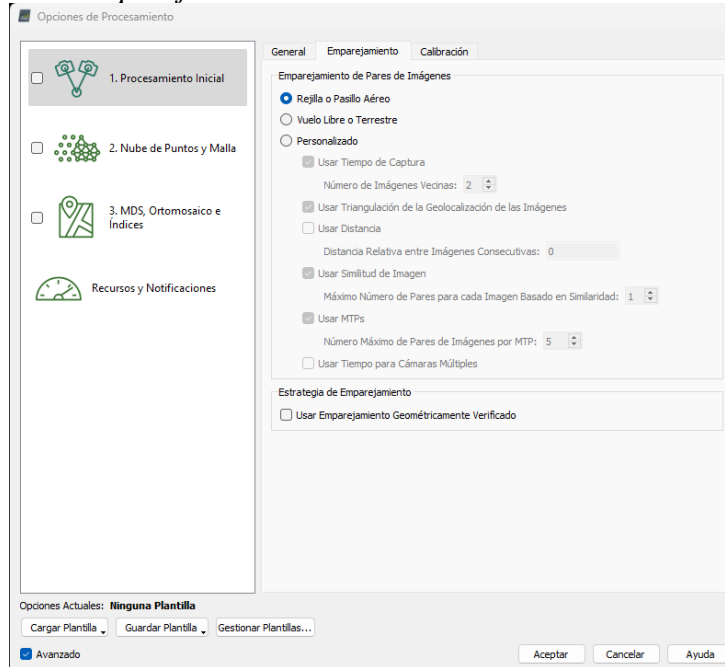
3.5.1.1 Parámetro general. Establece la configuración de la escala de imagen de puntos clave y la generación de informe de calidad.

Figura 11. *Parámetro general*



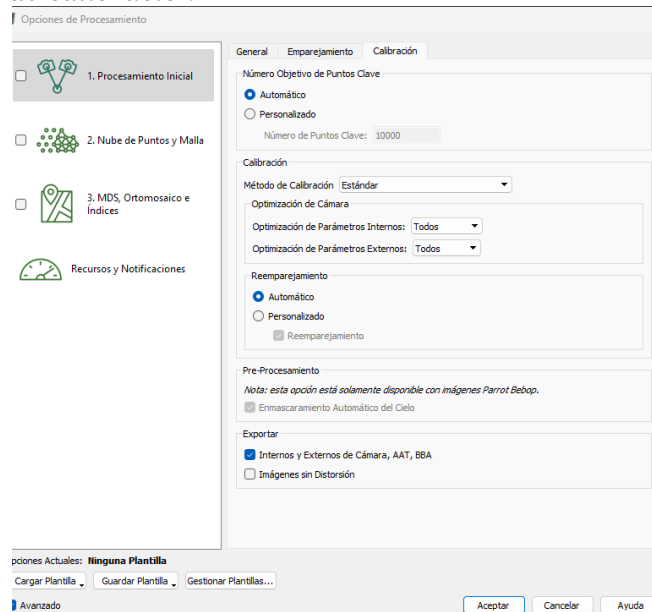
3.5.1.2 Parámetro de emparejamiento. Selección del tipo de emparejamiento de pares de imágenes como rejilla o pasillo aéreo

Figura 12. Parámetro de emparejamiento



3.5.1.3 Parámetro de calibración. Se selecciona el número de objetivo de puntos clave en automático, el método de calibración estándar, el Re-emparejamiento en automático y la exportación de internos y externos de cámara.

Figura 13. Parámetro de calibración

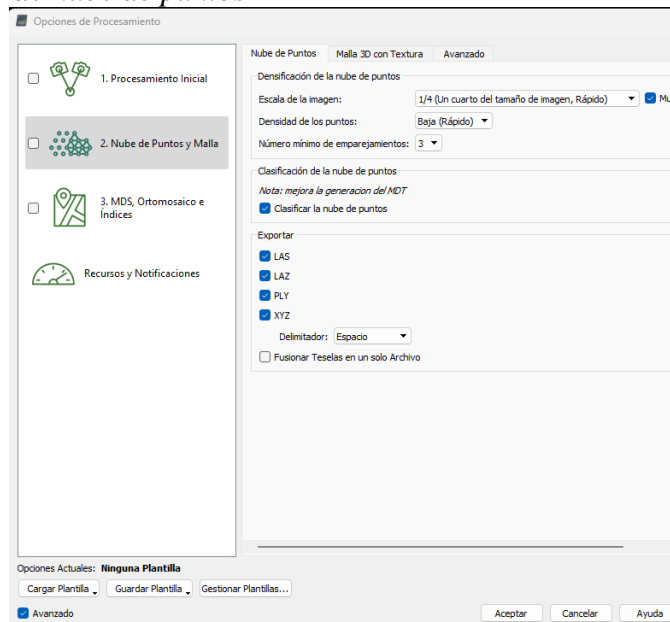


3.5.2 Configuración segundo proceso

El segundo proceso, denominado nube de puntos y mallas, contiene los parámetros: nube de puntos, malla 3d con textura y avanzado.

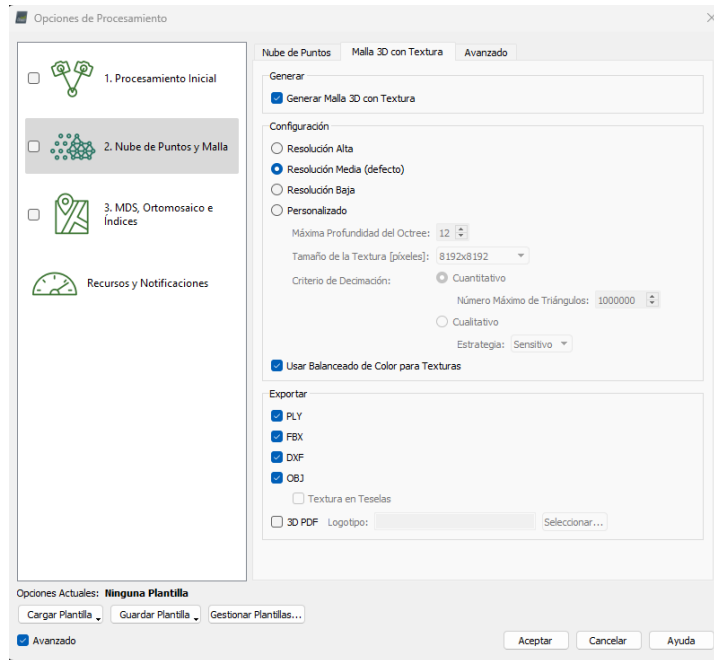
3.5.2.1 Parámetro nube de puntos. Se establece la densificación de la nube de puntos a partir de la escala de imagen que corresponde a un cuarto del tamaño de la imagen, la densidad de puntos, la cual es baja, el número mínimo de emparejamientos que son 3. Finalmente, se selecciona tanto la clasificación de la nube de puntos como la exportación en los formatos LAS, LAZ, PLY y XYZ, con el delimitador de espacio.

Figura 14. Parámetro de nube de puntos



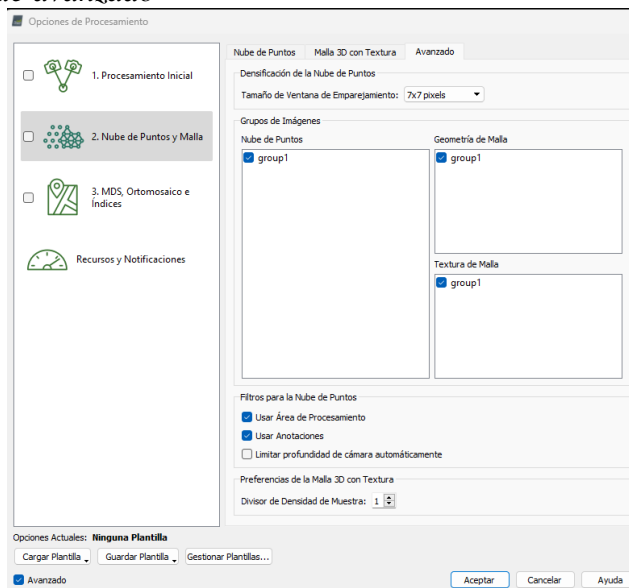
3.5.2.2 Parámetro malla 3d con textura. Se maneja la generación de la malla 3d con textura, configuración en resolución media, balanceo de color para texturas y exportación en formatos PLY, FBX, DXF y OBJ.

Figura 15. Parámetro de malla 3d con textura



3.5.2.3 Parámetro de avanzado. Establecimiento de tamaño de ventana de emparejamiento de 7 x 7 píxeles junto con la agrupación de imágenes denominada group 1, y la activación de filtros para nube de puntos correspondientes al uso de área de procesamiento y uso de anotaciones para finalmente definir el divisor de densidad de muestra como 1.

Figura 16. Parámetro de avanzado

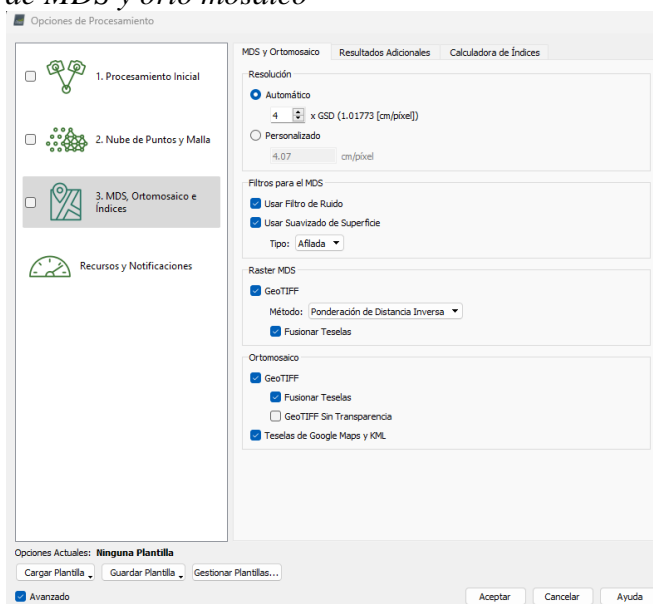


3.5.3 Configuración tercer proceso

El tercer proceso se llama MDS, Ortomosaico e índices y cuenta con los parámetros de Mds y Ortomosaico, recursos adicionales y calculadora de índices.

3.5.3.1 Parámetro MDS y orto mosaico. Selección de resolución en automático, con 4 x GSD, respecto a los filtros para el MDS, se utilizan tanto el uso del filtro de ruido como el de suavizado de superficie, el tipo con el que se asocian estos dos, es afilado. Respecto al ráster MDS, se hace selección del GeoTIFF con el método de ponderación de distancia inversa junto con la fusión de teselas. Finalmente, para el caso del ortomosaico se eligen nuevamente GeoTIFF y el fusionar teselas adicionando las teselas de Google Maps y KML, esto último para lograr la exportación hacia el software Google Earth.

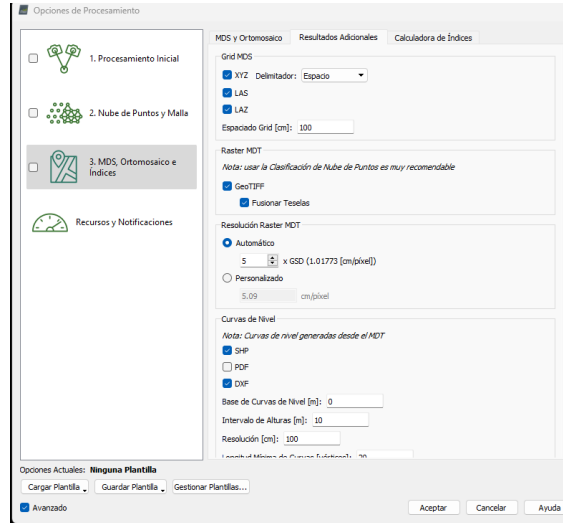
Figura 17. Parámetro de MDS y orto mosaico



3.5.3.2 Parámetro Resultados adicionales. En el apartado de grid MDS, se eligen XYZ, LAS, LAZ, con espaciado de 100 cm, respecto al ráster MDT, se seleccionan el GeoTIFF y

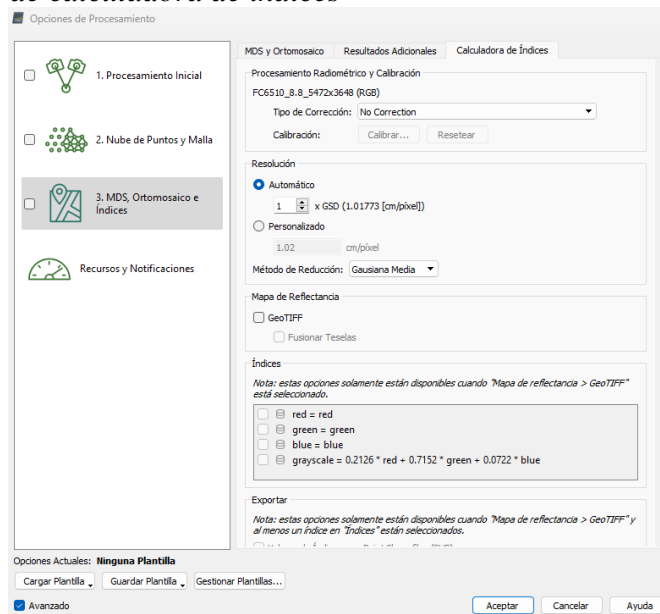
fisionar teselas, para la resolución del raster se maneja un automático y 5 x gsd, para finalizar el apartado de curvas de nivel se incorporan los formatos SHP Y DXF.

Figura 18. Parámetro de resultados adicionales



3.5.3.3 Parámetro de calculadora de índices. Se valida la información correspondiente a la cámara, con la cual se desarrollaron las muestras junto con el establecimiento de la resolución en automático y confirmación de manejo de índices RGB.

Figura 19. Parámetro de calculadora de índices



3.6 Puntos de control

Para contar con una mayor precisión sobre el orto mosaico, fue necesario realizar la toma de puntos de control con GPS de alta precisión para lograr de manera eficiente la georreferenciación de las imágenes en el software, dichas coordenadas están ubicadas en formato Magna Sirgas Bogotá Zona.

Tabla 1. *Coordenadas Puntos de Control tomados en campo*

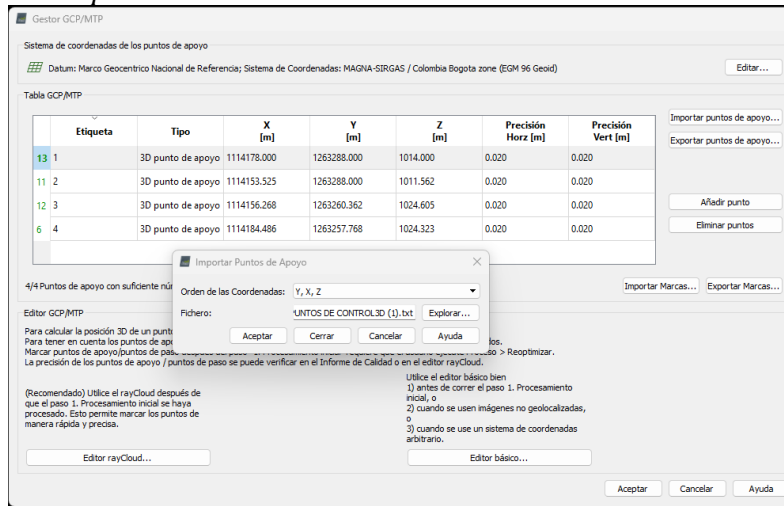
Punto de Control	Coordenada x	Coordenada y	Coordenada z
D1	1114178.000	1263288.000	1014.000
D2	1114153.525	1263288.000	1011.562
CPC1	1114156.268	1263260.362	1024.605
CPC2	1114184.486	1263257.768	1024.323

3.7 Análisis de datos

3.7.1 Georeferenciación con Puntos de control

Debido a que los puntos de control que se tomaron en campo son de tipo 3D, fue necesario desarrollar en primer lugar su georeferenciamiento en el software.

Inicialmente se realizó la importación de estos puntos, con la herramienta gestor de GCP/MTP, allí se cambiaron el orden de las coordenadas puesto que, en el archivo base están determinadas como y,x,z.

Figura 20. *Importación puntos de control*

Posteriormente, se realiza la referenciación de los puntos de control con las fotografías utilizando la herramienta de editor básico.

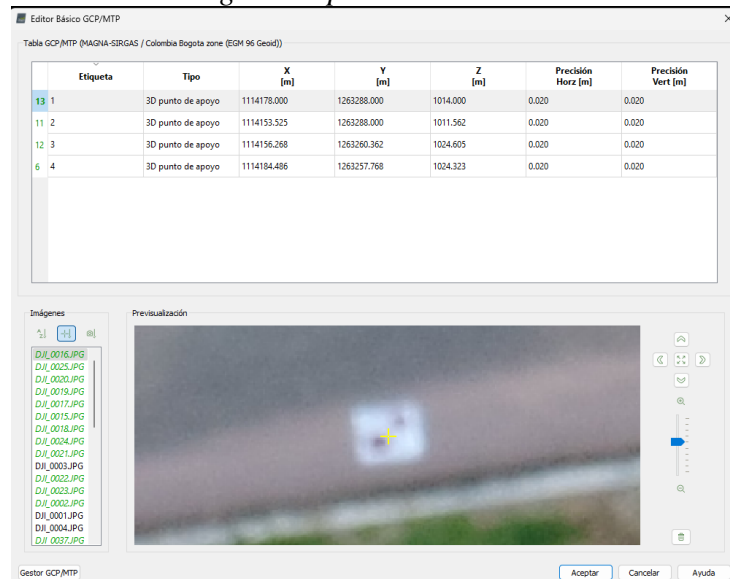
Figura 21. *Referenciamiento de imagen con punto de control 1*

Figura 22. Referenciamiento de imagen con punto de control 2

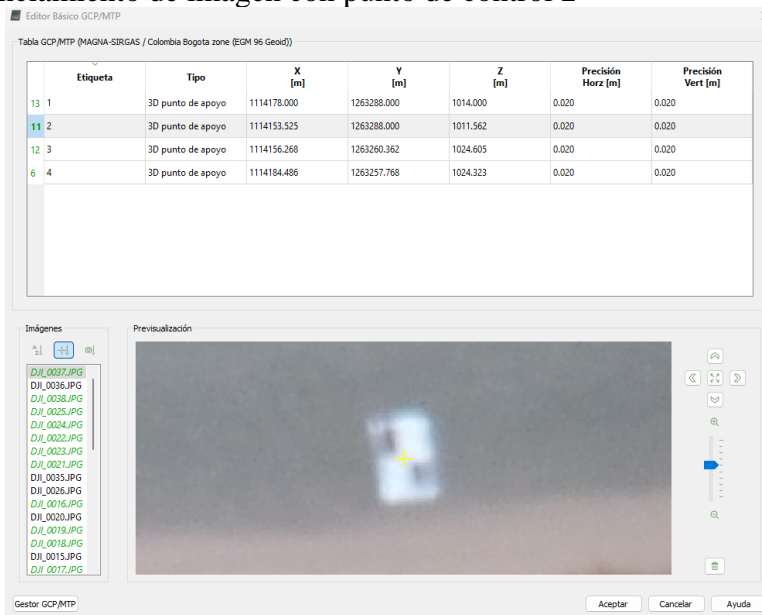


Figura 23. Referenciamiento de imagen con punto de control 3

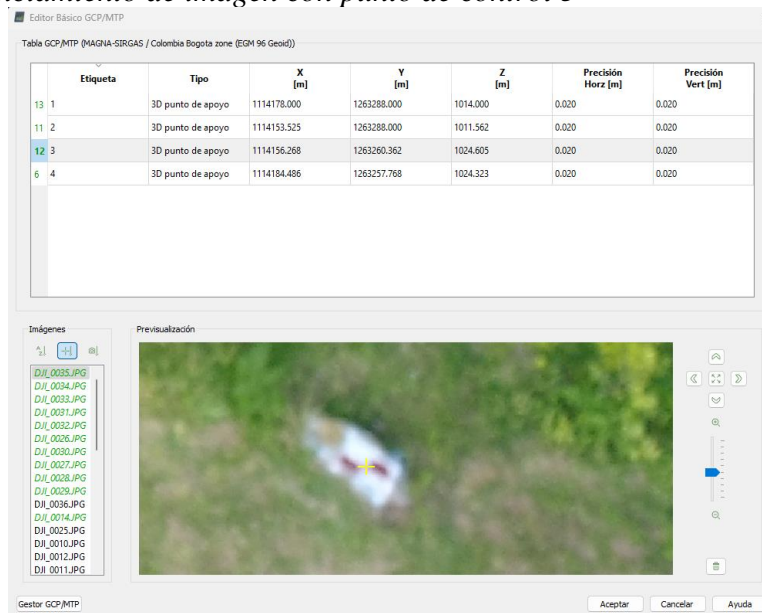
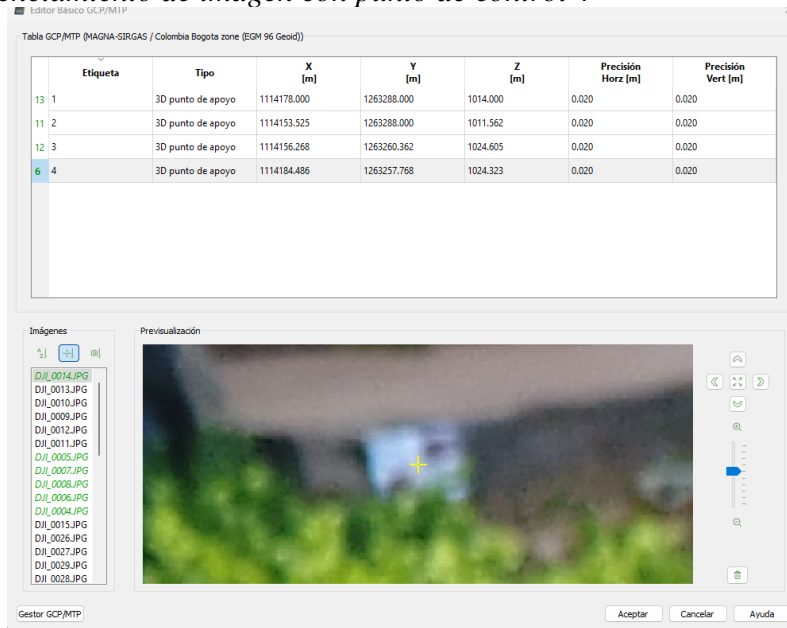


Figura 24. Referenciamiento de imagen con punto de control 4

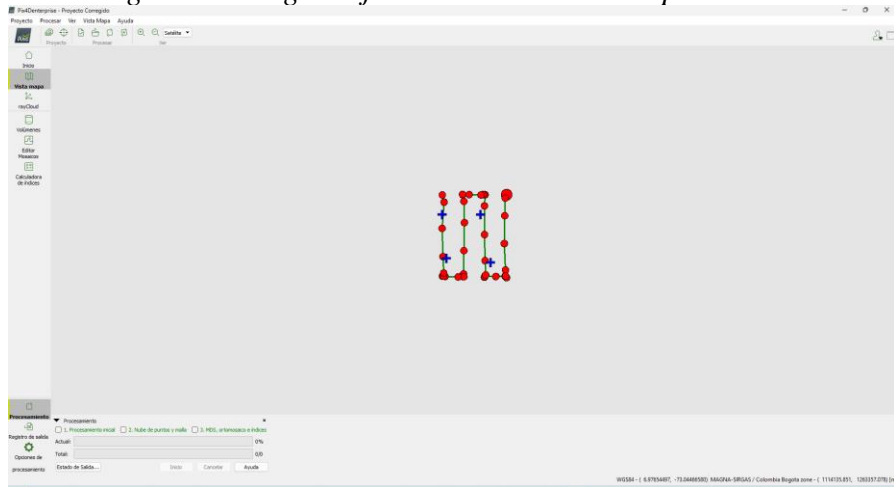


3.7.2 Procesamiento PIX4D MAPPER

Con base a las configuraciones de software realizadas previamente, se lleva a cabo el procesamiento, pasando por los tres procesamientos que brinda el software PIX4D, los cuales son: procesamiento inicial, nube de puntos y malla y por último MDS, orto mosaico e índices.

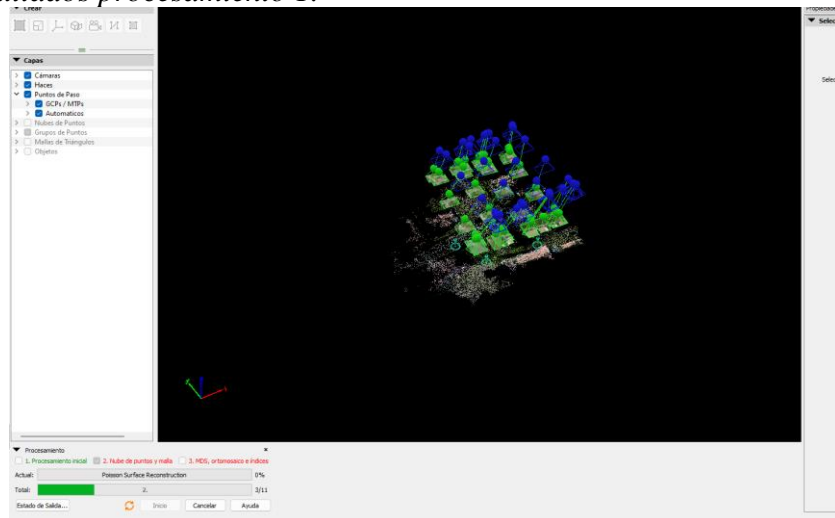
3.7.2.1 Procesamiento Inicial. El primer proceso que se lleva a cabo corresponde a la inicial y allí se obtienen los siguientes resultados:

Figura 25. Ruta rectangular doble grilla junto con ubicación de puntos de control.



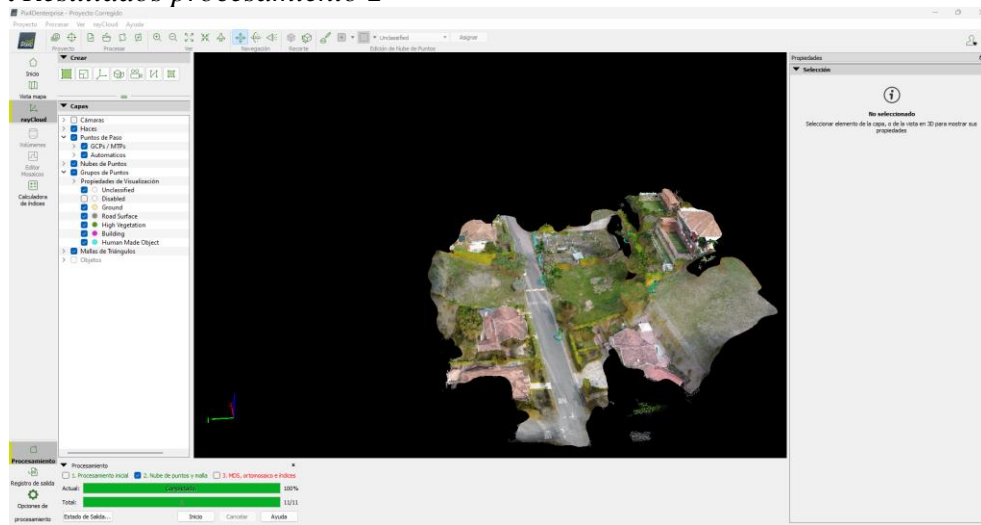
Se muestra el modelo en 3d, donde se aprecian los puntos donde fueron tomadas las imágenes, los puntos de paso, demarcados con pines color azul claro que corresponden a los puntos de control y los pixeles iniciales generados por dicho proceso.

Figura 26. Resultados procesamiento 1.



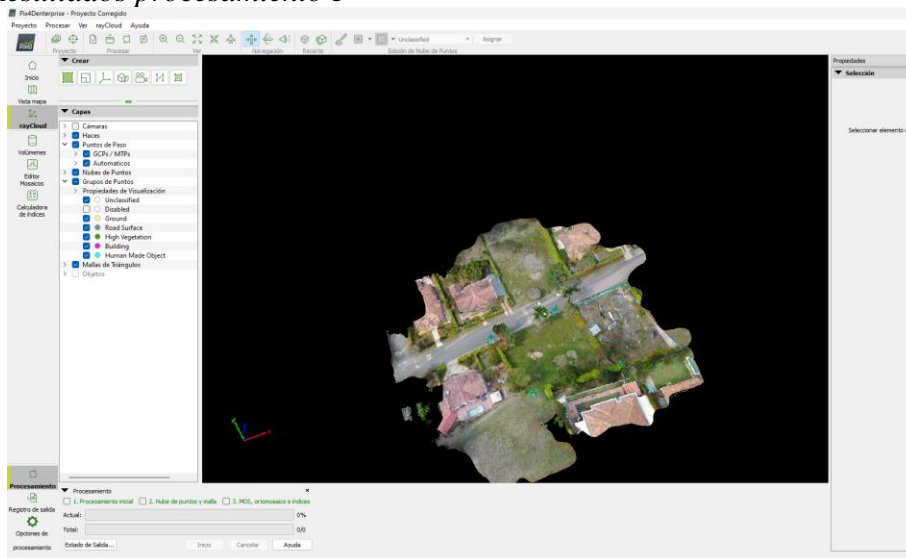
3.7.2.2 Nube de puntos y malla. Se evidencia el procesamiento completo de la nube de puntos, junto con sus propiedades de visualización, juntamente con la malla de triángulos que permite apreciar de una manera más adecuada el ortomosaico en 3d.

Figura 27. Resultados procesamiento 2



3.7.2.3 MDS, orto mosaico e índices. Comprobación visual final de todos los resultados de procedimientos anteriores: puntos de paso, nube de puntos, grupo de puntos, propiedades de visualización y malla de triángulos. Adicionalmente este proceso genera un ortomosaico de alta resolución a partir de estos procesos anteriormente mencionados.

Figura 28. Resultados procesamiento 3



3.7.3 Reporte de calidad

Una vez finalizado los tres procesamientos del software PIX4D, se presenta el reporte de calidad, donde se aprecia el chequeo de imágenes, dataset, camera optimization, matching y georeferencing, del cual se puede inferir que los procesos fueron realizados de manera correcta y adecuada según la tipología del proyecto.

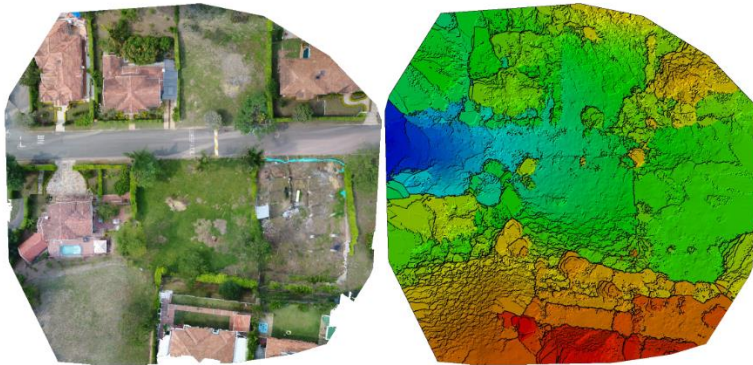
Figura 29. Reporte de Calidad de resultados del Procesamiento

Quality Check i

Images	median of 7100 keypoints per image	✓
Dataset	38 out of 38 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	0.88% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 3899.64 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 4 GCPs (4 3D), mean RMS error = 0.003 m	✓

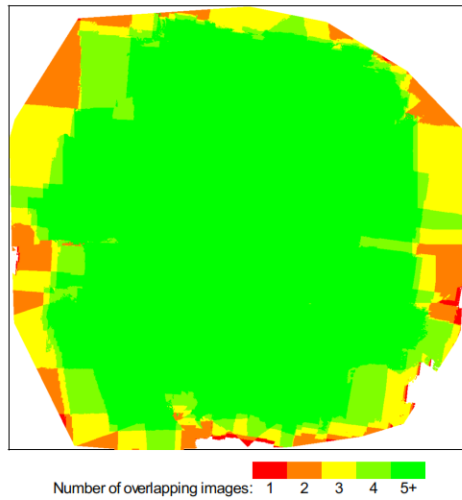
En dicho reporte también se puede evidenciar la comparativa entre el ortomosaico y el modelo digital del terreno.

Figura 30. Comparativa DSM y Ortomosaico



Finalmente, se verifica el overlap, que consiste en la superposición de las fotografías, que para este caso es adecuado, pues la delimitación demarcada con verde hace parte del terreno de estudio.

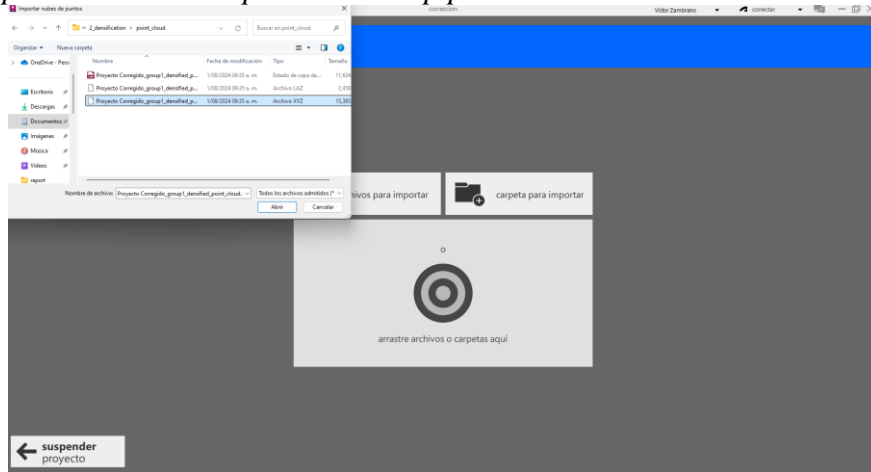
Figura 31. *Reporte de Overlap*



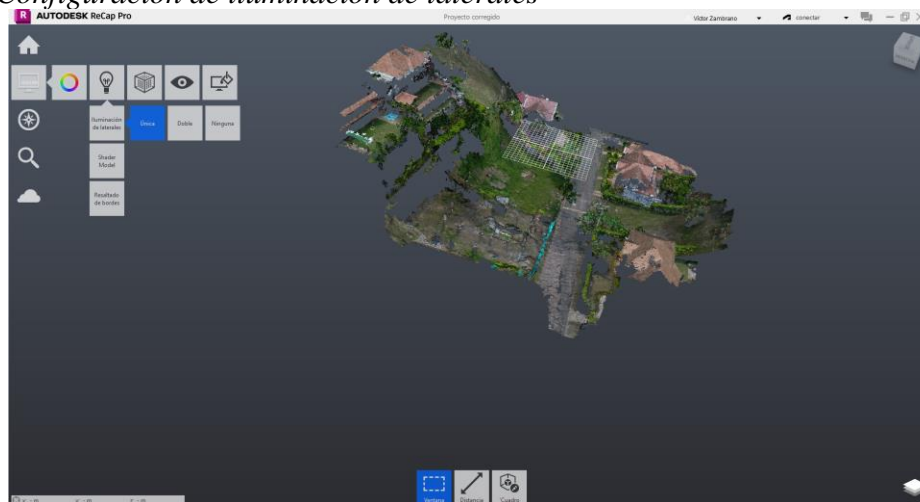
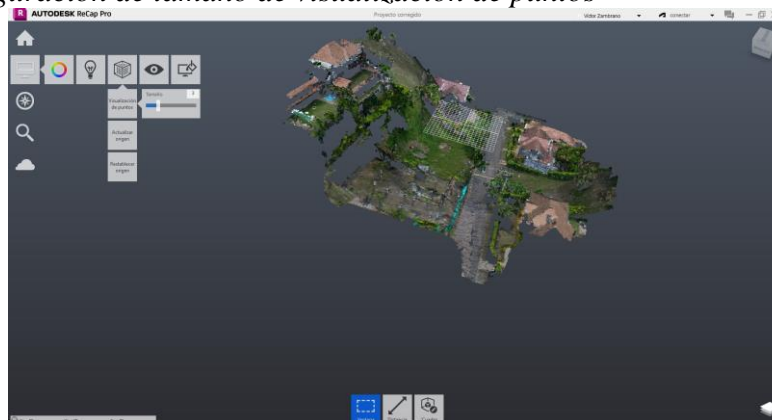
3.7.4 Importación y edición nube de puntos en Recap Pro

En el software de Recap Pro, se realiza inicialmente la importación de la nube de puntos de PIX4D.

Figura 32. *Importación nube de puntos a Recap pro*



Una vez desarrollada la importación, se edita la nube de puntos con las herramientas que incorpora el software Recap, en este caso se utilizan: iluminación de laterales como única y visualización de puntos con tamaño 3.

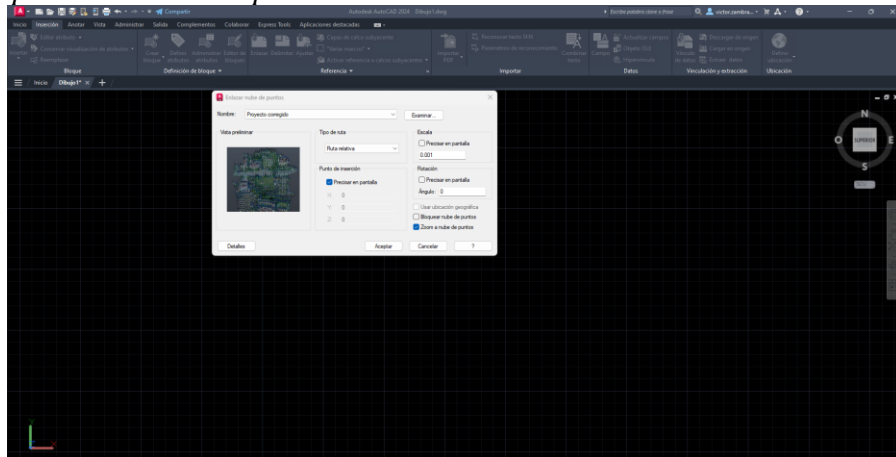
Figura 33. *Configuración de iluminación de laterales***Figura 34.** *Configuración de tamaño de visualización de puntos*

3.7.5 Importación orto mosaico y nube de puntos a AutoCAD

Desarrollo de importación del archivo generado por Recap Pro, que corresponde a la nube de puntos y el orto mosaico, el cual se generó en PIX4D.

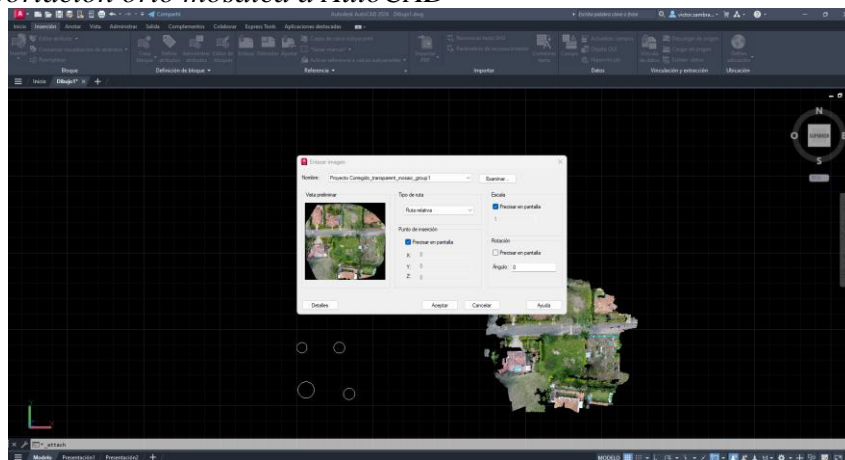
En el caso de la nube de puntos se realizó la modificación de la escala en 0.001 para que las medidas de esta coincidieran con las reales tomadas en campo.

Figura 35. *Importación nube de puntos a AutoCAD*



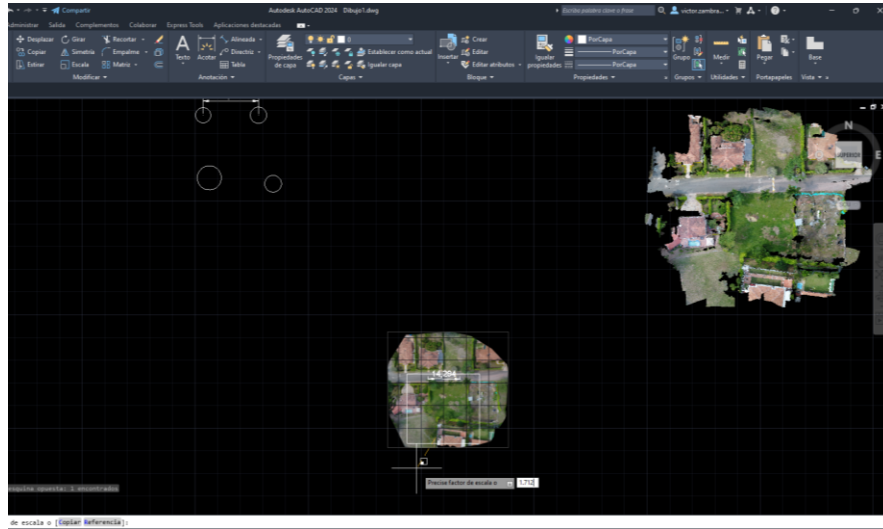
En el caso del orto mosaico se importó inicialmente con un tamaño de escala aleatorio.

Figura 36. *Importación orto mosaica a AutoCAD*



Se realiza la escala del orto mosaico a partir de la división entre una medida tomada por la nube de puntos ya escalada y una tomada por el mismo, dando un valor de factor de 1.712

Figura 37. Escala de orto mosaico en AutoCAD



3.7.6 Incorporaciones coordenadas de Puntos de Control a AutoCAD

La incorporación de coordenadas se desarrolla con circunferencias, en las que cuyo centro tanto x como y, viene dado por los puntos de control tomados en campo.

Figura 38. Coordenadas Punto de Control 1 ACAD

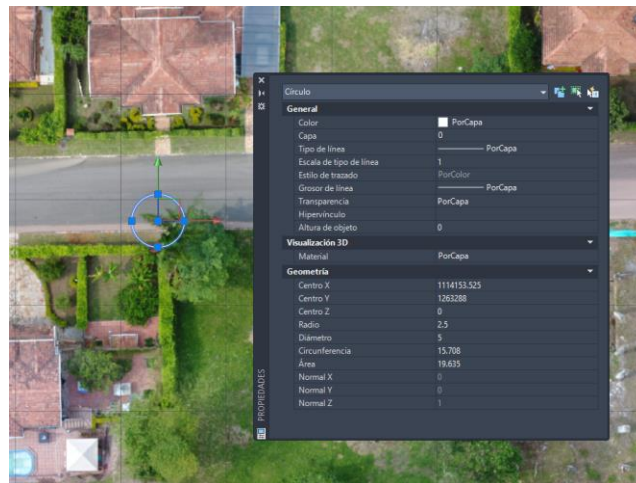
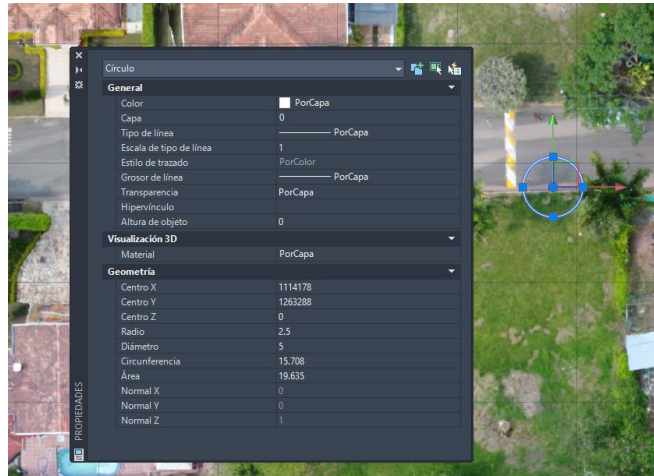
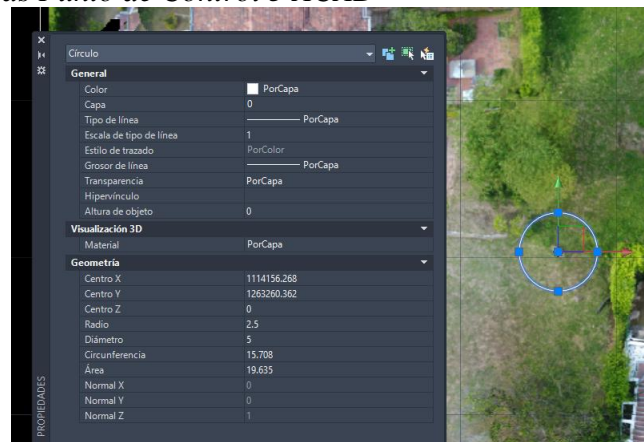
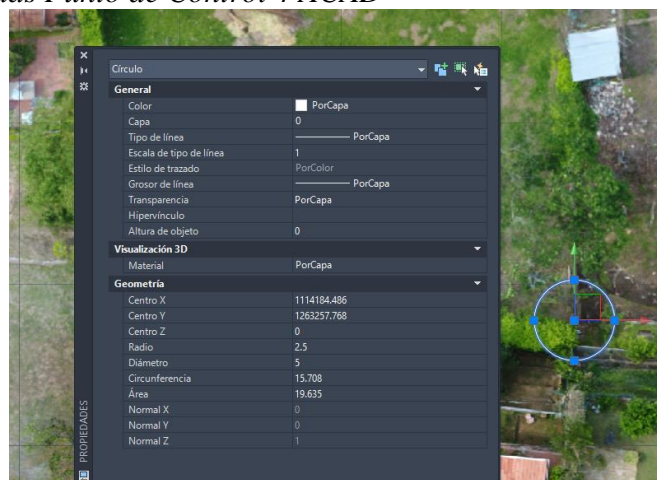
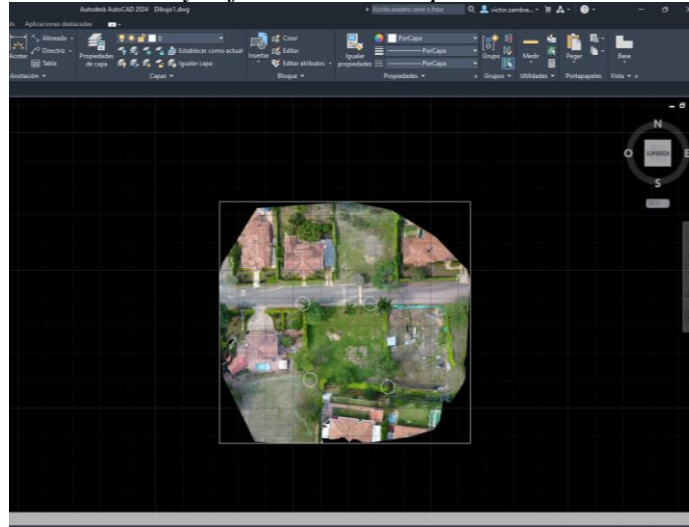


Figura 39. *Coordenadas Punto de Control 2 ACAD***Figura 40.** *Coordenadas Punto de Control 3 ACAD***Figura 41.** *Coordenadas Punto de Control 4 ACAD*

Respecto a la ubicación de los puntos de control, se verifica el posicionamiento adecuado del ortomosaico.

Figura 42. *Orto mosaico escalado y referenciado con puntos de control.*



Toda la posproducción aquí desarrollada hasta obtener el ortomosaico es la aplicación de un nuevo método de precisión creado por el Arq. Robert Gutiérrez Ortiz, y puesto a disposición del Diplomado que cursamos y que nos aportó un nuevo conocimiento para aplicarlo en la cartografía, topografía y los posibles informes de Supervisión e Interventoría.

4. Fase 2 Obtención de información topografía convencional y con dron

4.1 Topografía convencional

En el caso del levantamiento convencional, este fue desarrollado por una estación total Nikon Nivo 3C, en el terreno ubicado en el condominio San Miguel de Piedecuesta, obteniendo la siguiente información:

Plano del levantamiento del terreno, en el cual se observan los linderos, su nomenclatura y medida.

Figura 43. Plano de levantamiento del terreno con topografía convencional.

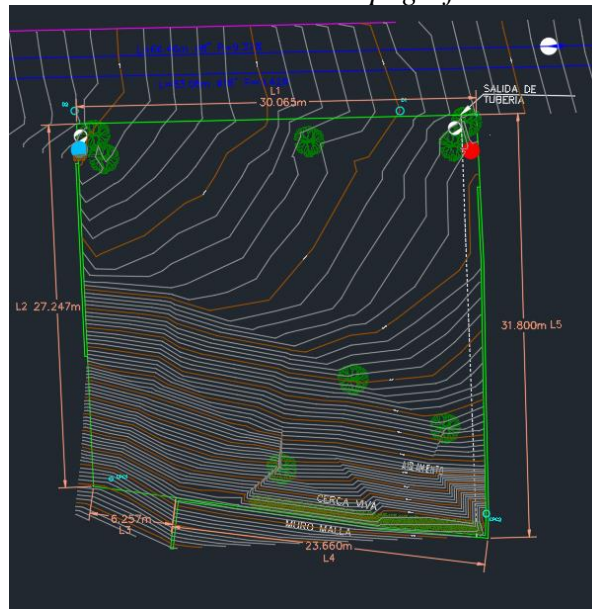


Tabla 2. Distancias de cada lindero levantamiento convencional

Lindero	Distancia (m)
L1	30.065
L2	27.247
L3	6.257
L4	23.660
L5	31.800

Figura 44. Estimación de área y perímetro levantamiento convencional

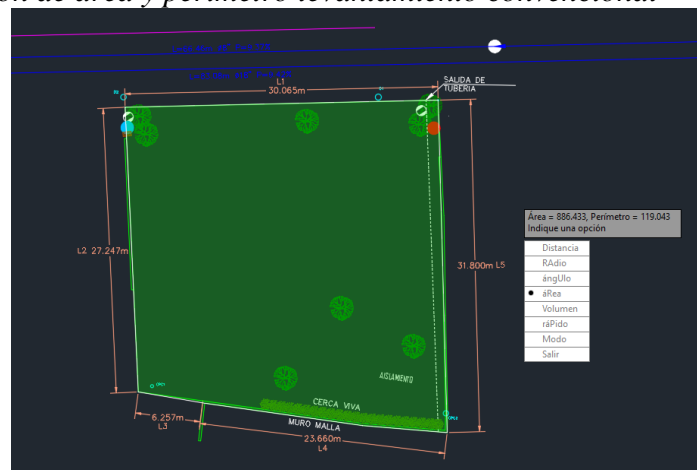


Tabla 3. Resultado área y perímetro levantamiento convencional

Área (m ²)	Perímetro (m)
886.433	119.043

4.2 Topografía con dron

Para el levantamiento con dron, se utilizó el DJI Inspire 2 y una cámara senzimuse x4s, donde a partir del procesamiento en PIX4D, se logró la obtención de un orto mosaico escalado. Donde se identificaron las medidas de los linderos.

Figura 45. Plano de levantamiento del terreno con dron.



Tabla 4. Distancias de cada lindero levantamiento con dron

Lindero	Distancia (m)
L1	30.066
L2	27.248
L3	6.258
L4	23.660
L5	31.800

Figura 46. Estimación área y perímetro levantamiento con dron.



Tabla 5. Resultado área y perímetro levantamiento con dron

Área (m2)	Perímetro (m)
886.439	119.044

Para el desarrollo de las curvas de nivel fue necesario la importación del ortomosaico y la nube de puntos al programa global mapper, generando los siguientes resultados

5. Fase 3 Postproceso obtención de curvas de nivel a través de Global Mapper

Figura 47. *Importación de nube de puntos a Global Mapper*

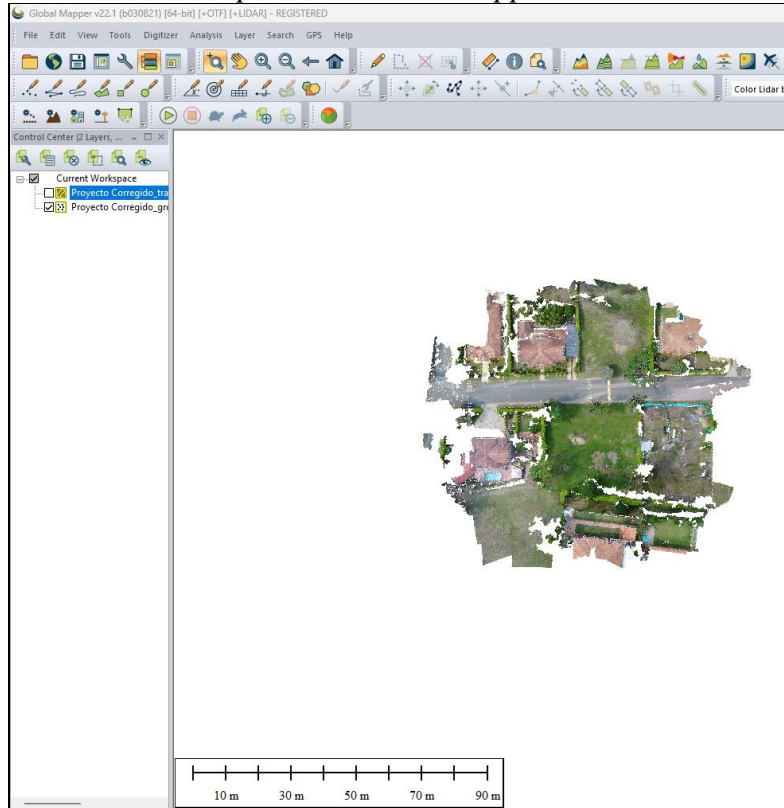
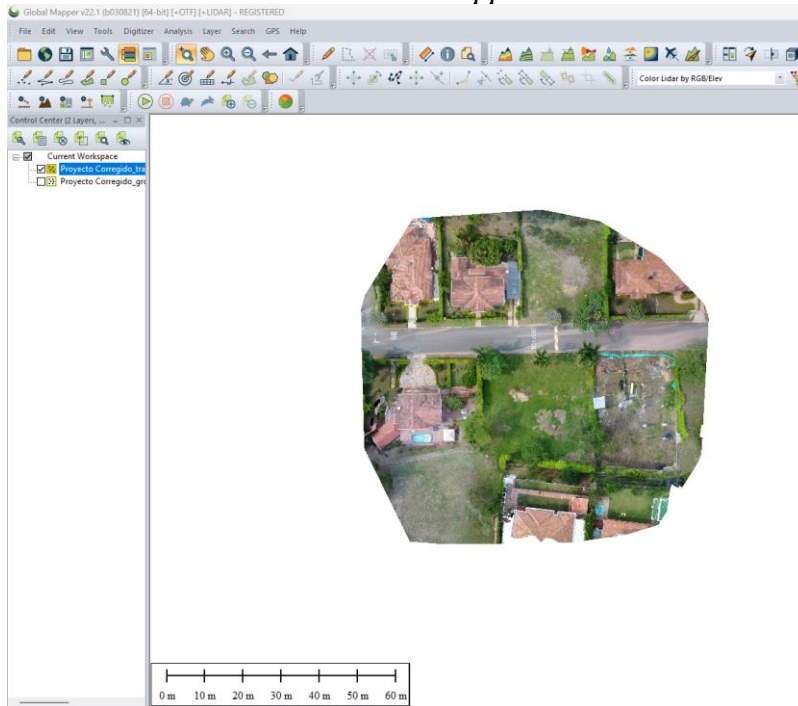
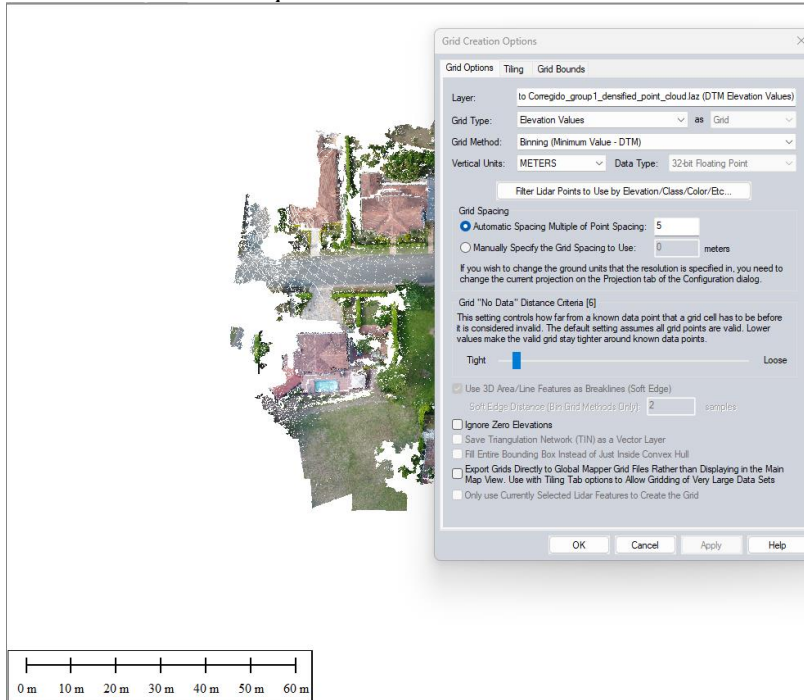


Figura 48. *importación de orto mosaico a Global Mapper*



Posterior al desarrollo de las importaciones, se crea modelo de elevación, el cual permite generar las curvas de nivel.

Figura 49. Creación modelo DSM para curvas de nivel



Respecto a la generación de las curvas, se configuran con intervalos de 1 metro, y contornos que van desde 0 a 1040.6, según lo establecido por el modelo DMS.

Figura 50. Configuración de intervalos curvas de nivel

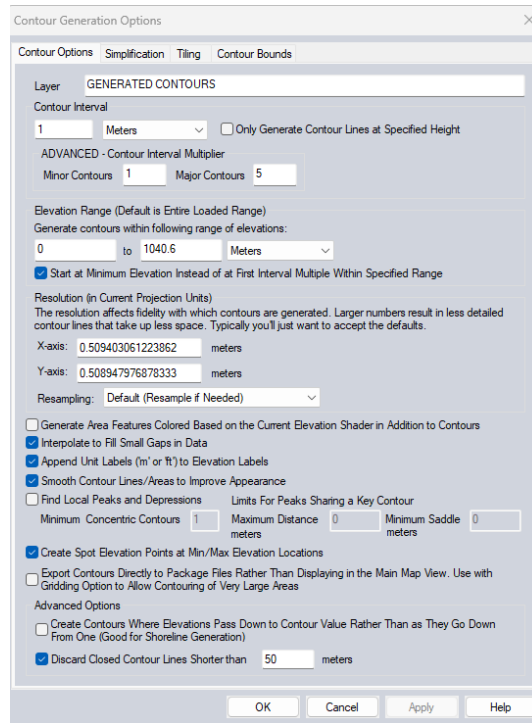


Figura 51. Orto mosaico con curvas de nivel

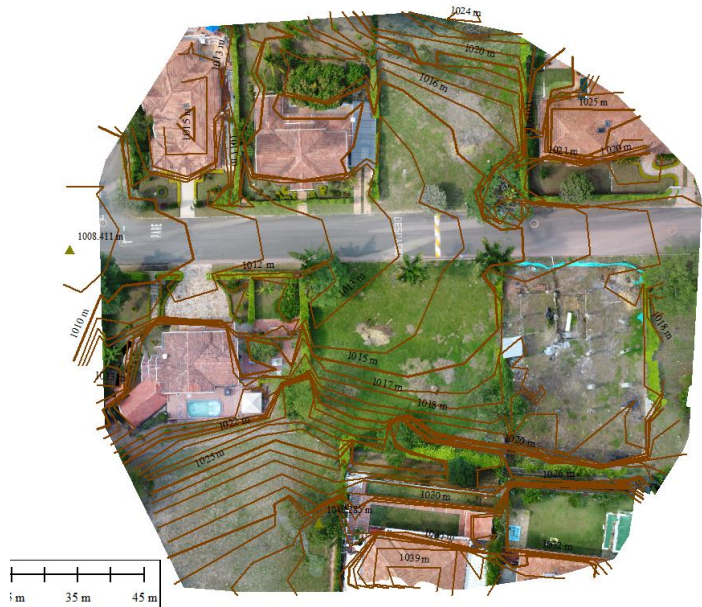


Figura 52. *Ortomosaico y curvas de nivel en AutoCAD*



6. Fase 4 Proceso de comparación de magnitudes topografía convencional versus, topografía con drones y fotogrametría.

6.1 Comparativa levantamiento convencional y dron

Para el desarrollo de la comparativa de los dos métodos, se consideran los valores correspondientes a las distancias de los linderos, áreas y perímetros propios del desarrollo de los levantamientos.

Tabla 6. *Comparativo levantamiento convencional y dron respecto a linderos*

Lindero	Distancia convencional (m)	Distancia dron (m)	Variación
L1	30.065	30.066	0.001
L2	27.247	27.248	0.001
L3	6.257	6.258	0.001
L4	23.660	23.660	0
L5	31.800	31.800	0

Tabla 7. *Comparativo levantamiento convencional y dron respecto a Área y perímetro*

Medida	Convencional	dron	Variación
Área	886.433	886.439	0.006
Perímetro	119.043	119.044	0.001

7. Conclusiones

En el presente trabajo fue muy acertado realizar una comparación del uso de dron con respecto al de la estación total en el levantamiento topográfico; se pudo observar en el ejercicio que la toma de datos con tecnología de control, diseño y comunicaciones del dron nos entregó alta resolución espacial del predio, fotografías, puntos de control, imágenes planas 2D, que con un rápido proceso digital se convirtió en una imagen 3D, a pesar que ambos métodos sirven, la estación total se queda corta en suministrar datos para trabajos en arquitectura e ingeniería.

Una vez realizado ambos trabajos topográficos en el predio se obtuvieron los cuatro linderos del lote observando que la diferencia máxima de medida es de 0.001 metros (1 milímetro), por otro lado, el área obtenida con topografía convencional fue de 886.443 m² y el área obtenida con dron fue de 886.439 m², marcando una diferencia de 0.004 m²; con los datos anteriores es seguro afirmar que un levantamiento topográfico realizado con dron es igual de preciso al realizado con estación total, lo cual sirvió para romper el paradigma de la precisión del trabajo realizado con dron.

Como resultado del ejercicio topográfico se pudo concluir que el levantamiento con dron es más eficiente, ya que los tiempos de toma de datos en el vuelo fue de 15 minutos y el procesamiento de los datos tomó alrededor de 1 hora, mientras que, con la estación total, la toma de datos tomo 2 horas y el procesamiento de los mismo demoró 2 días.

Al comparar los costos de topografía convencional y topografía con drones para un área de aproximadamente 890 m², se observa una diferencia significativa en los valores estimados. La topografía convencional presenta un rango de costos de COP \$1,780,000 a \$4,450,000, mientras que la topografía con drones ofrece un rango más económico de COP \$890,000 a \$2,670,000.

La topografía con drones no solo resulta ser más económica, sino que también puede proporcionar beneficios adicionales como una mayor rapidez en la captura de datos y una precisión mejorada. Estos factores pueden traducirse en una optimización del tiempo y los recursos utilizados en el proyecto, lo que es especialmente valioso en áreas de menor tamaño. Optar por la topografía con drones puede ser una opción más rentable y eficiente para proyectos de este tamaño, ofreciendo una solución moderna y precisa que se ajusta a las necesidades actuales del mercado.

Referencias

- AeroCivil. (07 de junio de 2018). Reglas generales de vuelo y de operación. obtenido de <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/resoluciones%20ta%202018/forms/allitems.aspx>
- AeroCivil. (27 de septiembre de 2023). Resolución 1983 de 2023 “RAC 100” Obtenido de <https://www.suinjuriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30050174>
- ArcGis. (2016). ArcGis. Definición software Concoord Obtenido de <https://eabsigue.maps.arcgis.com/home/item.html?id=3d6e409767874e14b1155407b49d6a92>
- ArcGIS. (s.f.). ArcGIS. Definicion de software ArcGIS Obtenido de <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Arcux. (2024). ARCUX. Definición planimetría Obtenido de <https://arcux.net/blog/que-es-planimetria/>
- Arcux. (s.f.). Arcux. ¿ Que es AutoCAD?. Obtenido de <https://arcux.net/blog/que-es-autocad-y-para-que-sirve/>
- Autodesk. (s.f.). Autodesk. Software Recap Pro. Obtenido de <https://www.autodesk.com/latam/products/recap/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Codazzi, I. G. (30 de mayo de 2018). IGAC. Resolución 643 del 2018.Obtenido de <https://antiguo.igac.gov.co/es/contenido/resolucion-643-de-2018>
- Congreso de Colombia. (19 de julio de 2011). Ley 1476 de 2011. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=43388>

Congreso de Colombia. (30 de julio de 2019). Ley 1341 de 2019. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36913>

Congreso de Colombia. (25 de julio de 2019). Ley 1978 de 2019. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=98210>

Earth, G. (s.f.). Google Earth Pro. Software Google Earth Pro. Obtenido de https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/es//intl/es_ar/enterprise/earthmaps/pdf/earth_pro_ds.pdf

El presidente de la República de Colombia. (23 de julio de 2020). Decreto 1064 2020. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=136670>

Franquet, J. y. (2010). Nivelación de terrenos por regresión tridimensional . Torotosa: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Gómez, D. (2022). “levantamiento topográfico y planimétrico con dron de la granja agroecológica. Bogotá: Corporación Universitaria Minuto de Dios.

Geoilenergy. (s.f.). Geoilenergy. Definición de Global Mapper Obtenido de <https://www.geoilenergy.com/es/software/geosoluciones/global-mapper>

IGAC. (2022). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Definición levantamiento topográfico Obtenido de <https://antiguo.igac.gov.co/es/contenido/en-que-consiste-un-levantamiento-topografico#:~:text=El%20levantamiento%20topogr%C3%A1fico%20es%20un,o%20plano%20que%20refleja%20al>

MTOP. (2018). Ministerio de Transporte. Resolución 04201 de 2018. Obtenido de <https://mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=16447>

Ofiteat. (2017). Ofiteat. Definición altimetría y para qué sirve. Obtenido de <https://ofiteat.com/empresa-de-topografia-que-es-la-altimetria-y-para-que-sirve/>

Ojeda, F. (2023). "Estudio Comparativo entre la topografía clásica con estación total y fotogrametría digital mediante vehículos aéreos no tripulados (vants) en minería a cielo abierto". Chile: Universidad de Concepción.

Pix4d. (s.f.). Pix4d. Definición de software fotogramétrico Pix4d Mapper. Obtenido de <https://www.pix4d.com/es/producto/pix4dmapper-fotogrametria-software/>

RAE. (2023). Real Academia Española. Definición planimetría Obtenido de <https://dle.rae.es/planimetr%C3%ADa>

Umiles. (2022). Umilesgroup. Topografía con drones. Obtenido de <https://umilesgroup.com/topografia-con-drones/>

Apéndices

Apéndice A. Cartera de Campo

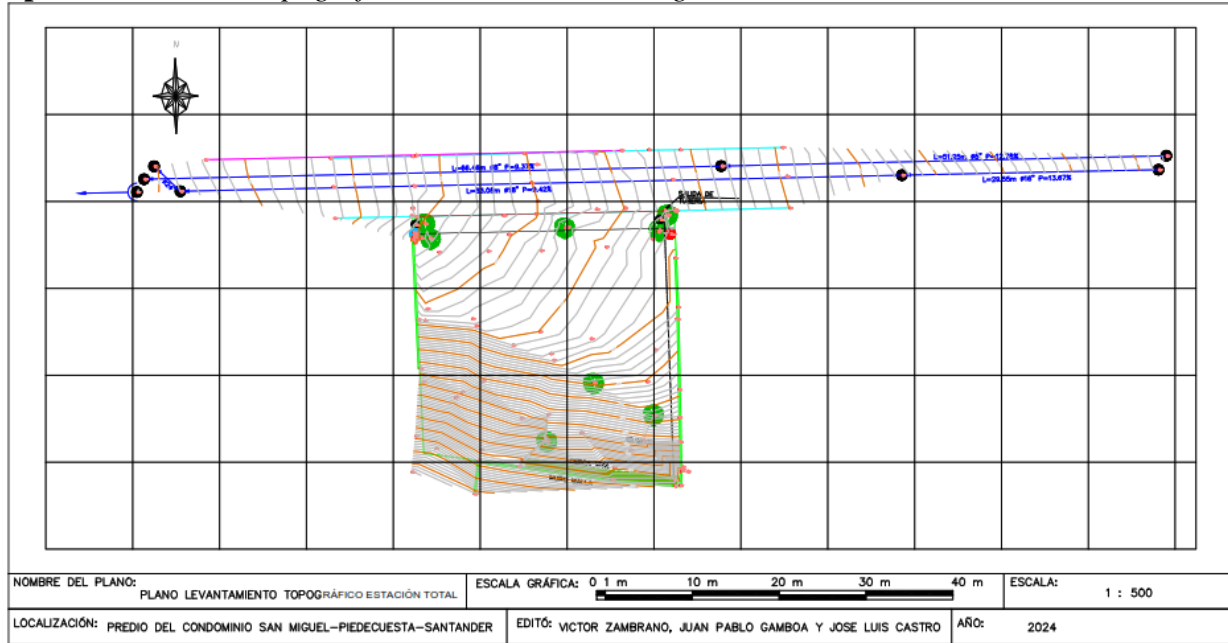
#	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Nomenclatura
1	1114123.9	1263292.82	1008.96	POZO
2	1114122.75	1263291.33	1008.852	POZO
3	1114121.92	1263289.85	1008.787	POZO
4	1114126.93	1263289.94	1009.209	POZO
5	1114144.14	1263293.75	1010.769	BV
6	1114144.46	1263290.46	1010.754	EJEVIA
7	1114144.64	1263286.84	1010.702	BV
8	1114154	1263287.04	1011.609	BV
9	1114153.73	1263290.59	1011.643	EJEVIA
10	1114153.6	1263293.95	1011.682	BV
11	1114166.42	1263294.29	1012.968	BV
12	1114167.25	1263290.93	1012.99	EJEVIA
13	1114167.8	1263287.34	1012.944	BV
14	1114183.96	1263287.71	1014.638	BV
15	1114183.5	1263291.29	1014.68	EJEVIA
16	1114184.4	1263294.73	1014.87	BV
17	1114196.19	1263294.98	1016.086	BV
18	1114196.66	1263291.68	1016.076	EJEVIA
19	1114197.01	1263288.01	1016.003	BV
20	1114189.19	1263292.85	1015.328	POZO
21	1114209.99	1263291.79	1017.495	POZO
22	1114239.53	1263292.42	1021.28	POZO
23	1114240.42	1263294.02	1021.463	POZO
24	1114182.98	1263287.23	1014.734	ARBOL
25	1114182.01	1263285.44	1014.671	ARBOL
26	1114182.13	1263286.7	1014.64	LUMINARIA
27	1114171.13	1263285.76	1013.749	ARBOL
28	1114155.03	1263286.22	1012.035	ARBOL
29	1114155.69	1263284.5	1012.159	ARBOL
30	1114174.77	1263287.88	1013.655	PL
31	1114153.99	1263286.09	1011.842	LUMINARIA
32	1114153.82	1263284.06	1011.971	MALLA
33	1114153.64	1263284.45	1011.946	CAJAEL
34	1114154.1	1263284.51	1011.955	CAJAEL
35	1114153.9	1263285.08	1011.89	POZOTEL
36	1114154.5	1263269.58	1017.5	MALLA

#	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Nomenclatura
37	1114153.99	1263261.76	1023.804	PN
38	1114161.15	1263258.96	1023.612	MALLA
39	1114160.74	1263255.15	1026.254	MALLA
40	1114169.07	1263261.19	1020.351	ARBOL
41	1114165.79	1263258.32	1023.447	MALLA
42	1114166.12	1263259.01	1023.179	CAB
43	1114161.44	1263260.2	1022.749	CAB
44	1114176.81	1263258.2	1022.914	CAB
45	1114176.52	1263256.79	1023.46	MALLA
46	1114184.42	1263256.14	1023.896	MALLA
47	1114183.76	1263256.04	1023.753	TUBO
48	1114183.73	1263256.71	1023.493	CAB
49	1114184.46	1263257.62	1021.563	MALLA
50	1114178.68	1263260.15	1020.574	PN
51	1114172.99	1263262.16	1019.604	PN
52	1114166.1	1263263.78	1019.391	PN
53	1114158.57	1263266.2	1019.443	PN
54	1114154.83	1263268.04	1018.768	PN
55	1114155.01	1263275.1	1013.615	PN
56	1114160.93	1263274.46	1013.643	PN
57	1114169.52	1263271.26	1014.612	PN
58	1114174.46	1263267.88	1015.883	ARBOL
59	1114181.37	1263264.25	1017.337	ARBOL
60	1114180.6	1263268.01	1016.036	PN
61	1114184.26	1263267.14	1016.712	MALLA
62	1114184.1	1263276.63	1015.098	MALLA
63	1114183.82	1263282.28	1015.079	MALLA
64	1114183.33	1263285.03	1014.84	POZOELEC
65	1114174.58	1263294.29	1013.806	PL
66	1114182.59	1263287.73	1014.489	TUBO
67	1114181.18	1263284.45	1014.643	PN
68	1114175.89	1263283.53	1014.105	PN
69	1114168.39	1263283.12	1013.422	PN
70	1114162.29	1263283.05	1012.825	PN
71	1114156.61	1263282.93	1012.354	PN
72	1114167.89	1263293.03	1013.088	E
73	1114167.98	1263288.82	1012.992	I
74	1114156.27	1263260.36	1024.605	CPC1
75	1114184.49	1263257.77	1024.323	CPC2
76	1114184.39	1263257.89	1024.302	MU
77	1114181.43	1263264.12	1017.608	ARB

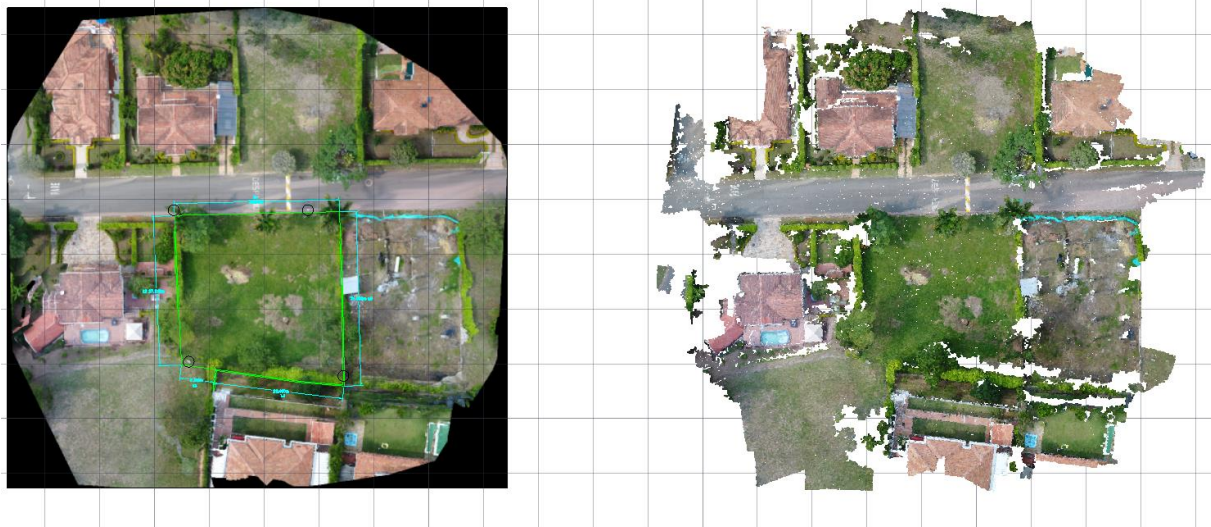
#	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Nomenclatura
78	1114171.46	1263285.81	1013.757	ARB
79	1114181.84	1263285.31	1014.763	ARB
80	1114129.74	1263293.56	1009.638	DELO
81	1114177.64	1263294.64	1014.305	DEL1
82	1114154.96	1263286.24	1012.12	ARB
83	1114155.56	1263284.52	1012.362	ARB
84	1114168.8	1263261.34	1021.16	ARB
85	1114182.73	1263287.16	1014.837	ARB
86	1114183.81	1263287.81	1014.617	BV
87	1114180.77	1263294.72	1014.474	BV
88	1114154	1263294.06	1011.73	BV
89	1114153.47	1263287.13	1011.566	BV
90	1114154.59	1263284.55	1012.028	CAJA
91	1114153.74	1263285.19	1011.88	CAJA
92	1114153.7	1263284.71	1011.869	LINDERO
93	1114155.28	1263276.4	1013.095	PN
94	1114160.5	1263275.27	1013.508	PN
95	1114165.16	1263272.23	1014.192	PN
96	1114169.84	1263270.48	1014.742	PN
97	1114174.16	1263272.98	1014.505	PN
98	1114181.48	1263271.7	1015.526	PN
99	1114184	1263275.25	1015.386	LINDERO
100	1114184.24	1263263.95	1017.856	LINDERO
101	1114184.34	1263261.13	1019.322	LINDERO
102	1114180.17	1263261.26	1019.375	PN
103	1114169.17	1263264.23	1018.421	PN
104	1114159.27	1263266.81	1018.852	PN
105	1114161.66	1263268.12	1017.197	PN
106	1114168.23	1263273.77	1014.007	PN
107	1114164.64		1012.957	PN
108	1114164.1	1263284.97	1012.696	PN
109	1114183.74	1263287.12	1014.705	LINDERO
110	1114154.23	1263287.7	1013.611	MALLA
111				
1001	1114153.55	1263275.18	1026.66	PN
1002	1114178	1263257.64	1014	DELTA 1
	1114153.53	1263288	1011.562	DELTA 2

#	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Nomenclatura
---	--------------	--------------	--------------	--------------

Apéndice B. Plano topográfico Condominio San Miguel Piedecuesta



Apéndice C. Nube de Puntos y Orto mosaico





Apendice D. Reporte de Calidad

Quality Report

Generated with Pix4Dentriprise version 4.5.6

Important: Click on the different icons for:






-  Help to analyze the results in the Quality Report
-  Additional information about the sections

 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	Proyecto Corregido
Processed	2024-08-01 10:12:40
Camera Model Name(s)	FC6510_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.02 cm / 0.40 in
Area Covered	0.007 km ² / 0.6820 ha / 0.00 sq. mi. / 1.6862 acres

Quality Check

 Images	median of 7100 keypoints per image	
 Dataset	38 out of 38 images calibrated (100%), all images enabled	
 Camera Optimization	0.68% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
 Matching	median of 3699.64 matches per calibrated image	
 Georeferencing	yes, 4 GCPs (4 3D), mean RMS error = 0.003 m	

Preview

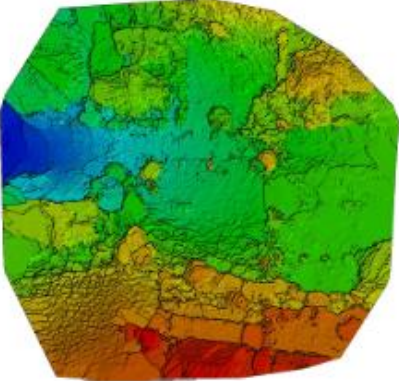



Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	38 out of 38
-----------------------------	--------------

Number of Geolocated Images 38 out of 38

Initial Image Positions

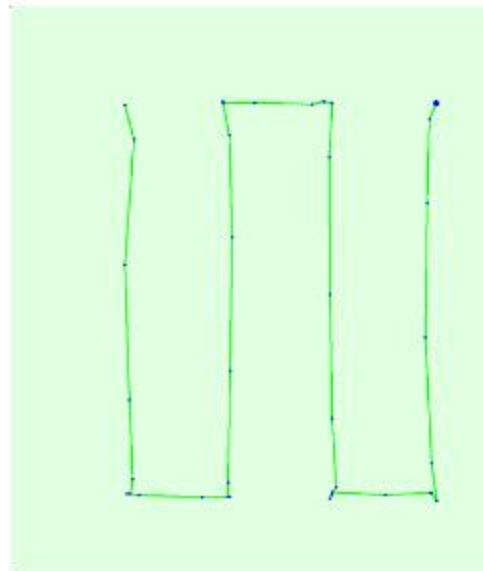
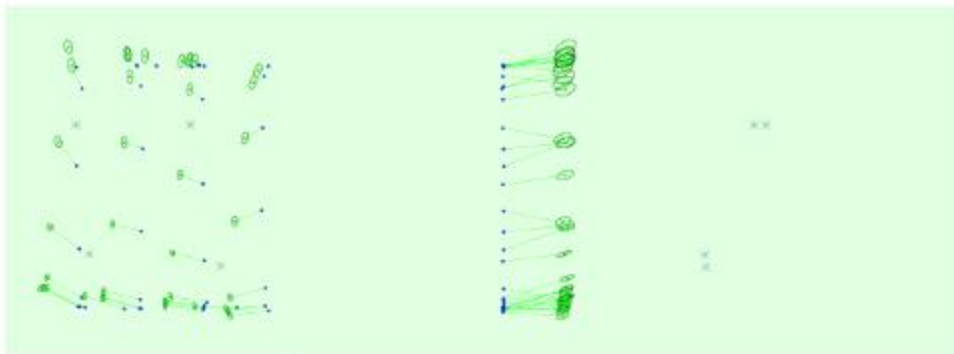


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



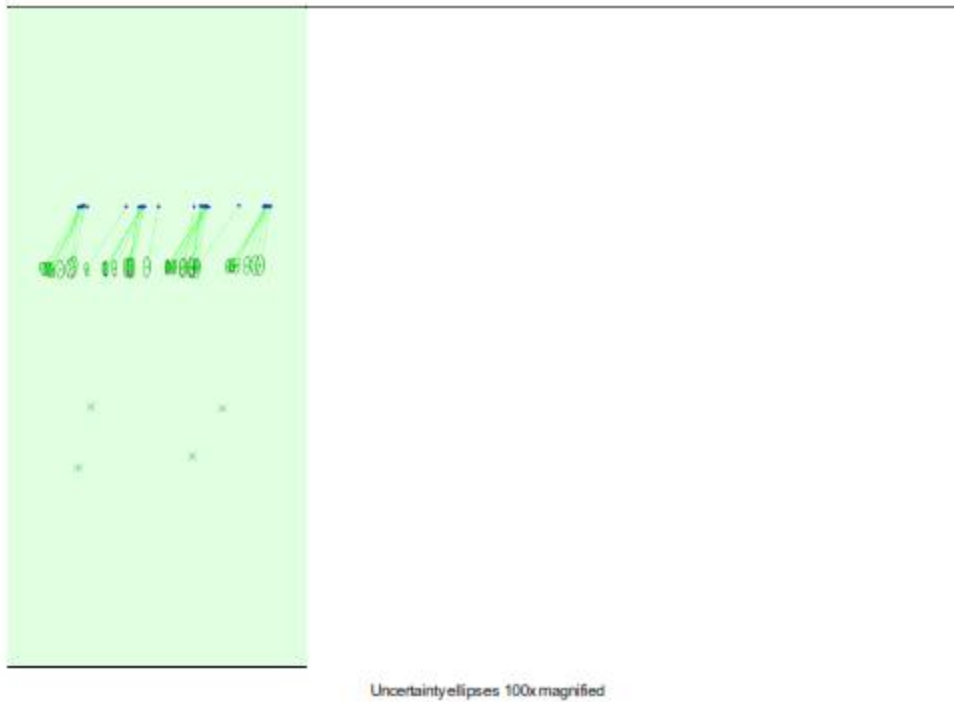


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.006	0.010	0.017	0.015	0.011	0.004
Sigma	0.001	0.003	0.003	0.004	0.003	0.000

Overlap

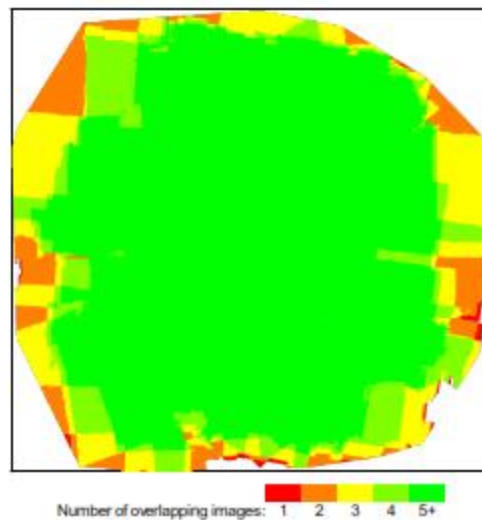


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

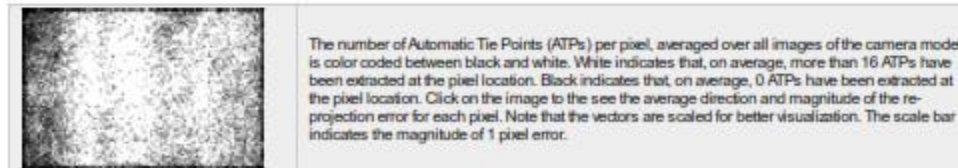
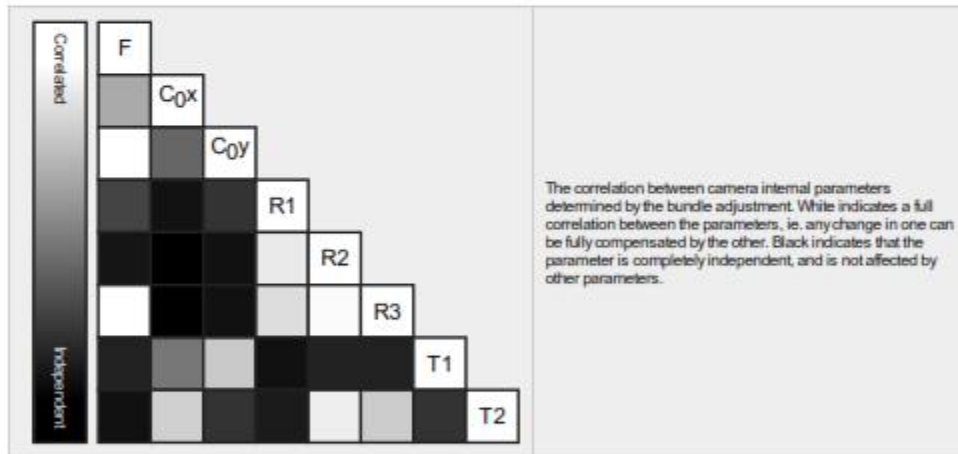
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	140009
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	45588
Mean Reprojection Error [pixels]	0.087

Internal Camera Parameters

FC6510_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6510_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3689.450 [pixel] 8.653 [mm]	2730.910 [pixel] 6.405 [mm]	1829.690 [pixel] 4.291 [mm]	0.003	-0.011	0.011	0.001	0.001
Optimized Values	3722.182 [pixel] 8.730 [mm]	2739.199 [pixel] 6.424 [mm]	1813.743 [pixel] 4.254 [mm]	0.003	-0.008	0.009	-0.001	0.001
Uncertainties (Sigma)	1.894 [pixel] 0.004 [mm]	0.269 [pixel] 0.001 [mm]	0.222 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	7100	3900
Mn	6504	1689
Max	8436	5192
Mean	7111	3684

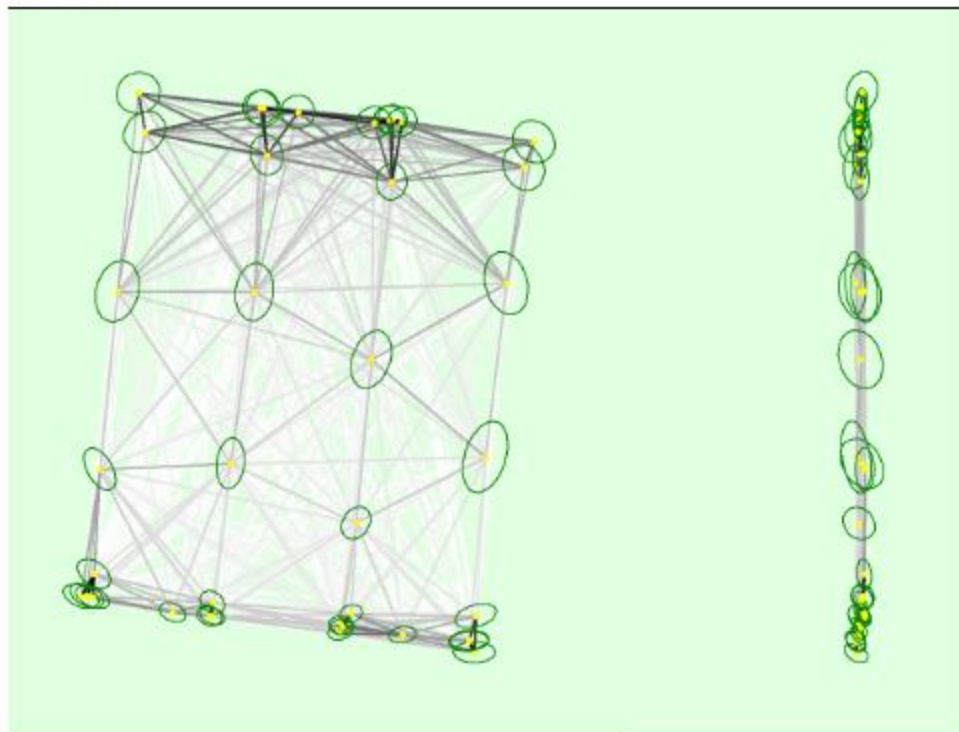
3D Points from 2D Keypoint Matches

1

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	26109
In 3 Images	9033
In 4 Images	4693
In 5 Images	1917
In 6 Images	1121
In 7 Images	720
In 8 Images	568
In 9 Images	356
In 10 Images	296
In 11 Images	214
In 12 Images	163
In 13 Images	128
In 14 Images	89
In 15 Images	51
In 16 Images	53
In 17 Images	27
In 18 Images	15
In 19 Images	8
In 20 Images	2
In 21 Images	3
In 22 Images	2

2D Keypoint Matches

1



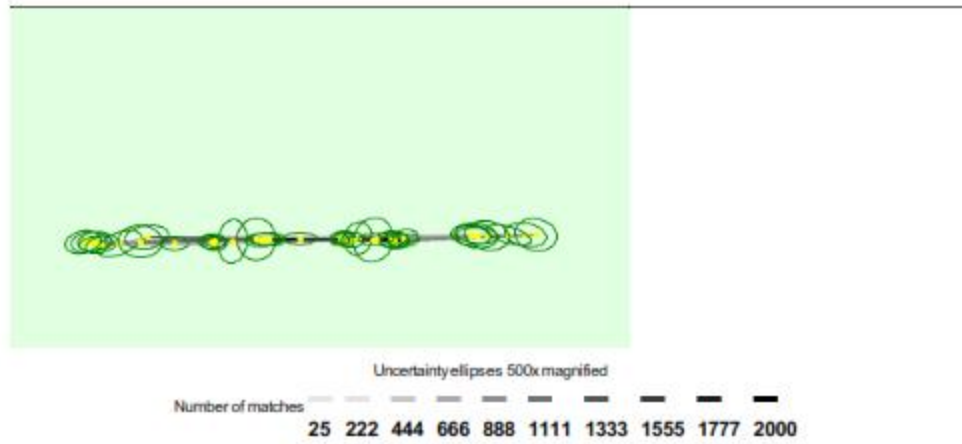


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

2 Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.004	0.003	0.002	0.017	0.013	0.004
Sigma	0.001	0.002	0.001	0.005	0.005	0.000

Geolocation Details

3 Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	0.010	-0.000	1.245	13 / 13
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	-0.008	0.004	1.615	11 / 11
3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	0.002	0.001	1.925	12 / 12
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	-0.005	0.002	1.534	6 / 6
Mean [m]		0.000113	-0.000426	0.001522		
Sigma [m]		0.002910	0.006689	0.001556		
RMS Error [m]		0.002912	0.006702	0.002177		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

3 Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	31.58	7.89	0.00
-3.00	0.00	13.16	42.11	47.37

0.00	3.00	50.00	42.11	52.63
3.00	6.00	5.26	7.89	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		5.433585	-1.565206	13.129970
Sigma [m]		2.655995	1.977509	0.262629
RMS Error [m]		6.047988	2.521986	13.132597

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	5.433585	-1.565206	13.129970

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.932
Phi	0.711
Kappa	15.563

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) HD Graphics 530 (Driver: 31.0.101.2112)
Operating System	Windows 10 Home Single Language, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogota zone (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogota zone (EGM96 Geoid)

Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Rapid, Image Scale: 0.25

Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/4 (Quarter image size, Fast)
Point Density	Low (Fast)
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: yes
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes

Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	350343
Average Density (per m ³)	328.53

DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	4 x GSD (1.02 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: yes
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 100
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (1.02 [cm/pixel])
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 10 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 20

Apéndice E. Flight LogBook

FLIGHT LOGBOOK No 1																	
CA O APELLIDO Y NOMBRE DEL ESP			ESPECIFICACIÓN (C.E.S) NÚMERO DE REGISTRO BASE DE DATOS DE LA AERONAVE				ESPECIFICACIÓN DEL PILOTO OPERAR				LOCALIZACIÓN, DIRECCIÓN O LUGAR DE LOS VUELOS						
USO Y NOMBRE DEL OPERADOR O TIPO DE VUELO / ACTIVIDAD			ESPECIFICACIÓN (C.E.S) NÚMERO DE REGISTRO BASE DE DATOS DE LA AERONAVE				ESPECIFICACIÓN DEL PILOTO OPERAR				CONDICIONES AMBIENTALES: PRESIÓN, ALTURA, TEMPERATURA						
MES	NÚMERO DE VUELO	TIPO DE VUELO	ÁREA DE VUELO (PUNTO DE INICIO, PUNTO DE FIN, ALTURA, ANCHURA Y PROFUNDIDAD)	PUNTO DE INICIO (LATITUD, LONGITUD)	PUNTO DE FIN (LATITUD, LONGITUD)	COORDENADAS MAGNÉTICAS (NORTE, ESTE)	EXTENSIÓN DE ÁREA DE MEDICIÓN (PUNTO DE INICIO POR ANCHO Y PUNTO DE FIN POR ALTO Y ANCHO)	ALTIMETRAJE DEL VUELO (MS)	TIEMPO ESTIMADO DE VUELO (MIN)	FINALIDAD DEL VUELO (CÁMERA / MODELO)	MATRÍCULA	PREVENCIÓN Y VELOCIDAD	TIPO DE SUSTENTACIÓN	NOMBRE PILOTO	NOMBRE OPERADOR	NOMBRE DEL SUPLENTE	NOMBRE DEL AVION
JUN	3	RECONOCIMIENTO AERIAL	BOGOTÁ	4°35'17"N	76°24'49"W	4°35'17"N 76°24'49"W	1000x1000	1000	15	FOTOGRAFIA	ASUS	DRON	TRON	JOSEFEL	JOSEFEL	JOSEFEL	JOSEFEL

METEOROLOGÍA DEL AERODROMO OFICIAL									
PRONO OFICIAL	VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S)	VELOCIDAD DEL VIENTO (MPH)	VELOCIDAD DEL VIENTO (KNOTS)	CONDICIÓN DEL CIELO	TEMPERATURA	TEMPERATURA	TEMPERATURA	TEMPERATURA	TEMPERATURA

METEOROLOGÍA PREDICTIVA EN EL ÁREA DE INICIO DEL VUELO (PUNTO DE INICIO)									
VELOCIDAD DEL VIENTO RELATIVA	PUNTO DE INICIO	ALTIMETRAJE Y ALTURA PROMEDIADA DE LA MISION	HUMEDAD RELATIVA	TEMPERATURA					

DATOS DEL VUELO (MISION)									
VELOCIDAD DEL VIENTO RELATIVA	ALTIMETRAJE DEL VUELO (MS)	VELOCIDAD DEL VIENTO RELATIVA	VELOCIDAD DEL VIENTO RELATIVA	VELOCIDAD DEL VIENTO RELATIVA	VELOCIDAD DEL VIENTO RELATIVA	VELOCIDAD DEL VIENTO RELATIVA	VELOCIDAD DEL VIENTO RELATIVA	VELOCIDAD DEL VIENTO RELATIVA	VELOCIDAD DEL VIENTO RELATIVA

DATOS DE LA CÁMERA									
ÁNGULO DE VISIÓN CAMARA Y POSICIÓN DE TRILABO DE MUESTRA FOTOGRAFICA	VELOCIDAD DEL VUELO	VELOCIDAD DEL VUELO	VELOCIDAD DEL VUELO	VELOCIDAD DEL VUELO	VELOCIDAD DEL VUELO	VELOCIDAD DEL VUELO	VELOCIDAD DEL VUELO	VELOCIDAD DEL VUELO	VELOCIDAD DEL VUELO