GENERACIÓN DE PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS BÁSICOS EN FORMATO RÁSTER (VUELO FOTOGRAMÉTRICO, GENERACIÓN DE ORTOFOTOMOSAICO), DTM Y MALLA DE PUNTOS LIDAR PARA BOGOTA Y/O LA REGIÓN

"PRESTACIÓN DE SERVICIOS PARA LA GENERACIÓN DE PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS BÁSICOS EN FORMATO RÁSTER (VUELO FOTOGRAMÉTRICO, GENERACIÓN DE ORTOFOTOMOSAICO), DTM Y MALLA DE PUNTOS LIDAR PARA BOGOTA Y/O LA REGIÓN"

DISTRITO CAPITAL -SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN-
2025

BOGOTÁ | SECRETARÍA DE PLANEACIÓN

SIGLA
Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S

Bogotá D.C., 2025

Señores:
DISTRITO CAPITAL -SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN

Estimados señores:

Reciban un cordial saludo, por medio de la presente se hace entrega el informe mensual No 6 del Contrato 1047/2024 (Obligación #7) para el proyecto "PRESTACIÓN DE SERVICIOS PARA LA GENERACIÓN DE PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS BÁSICOS EN FORMATO RÁSTER (VUELO FOTOGRAMÉTRICO, GENERACIÓN DE ORTOFOTOMOSAICO), DTM Y MALLA DE PUNTOS LIDAR PARA BOGOTA Y/O LA REGIÓN."

Quedamos atentos a sus comentarios.

Reciba un cordial saludo,

Equipo de proyectos SIGLA

SIGLA Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S		**INFORME DE AVANCE MENSUAL 06**
Tipo de documento: **CONTROLADO**		Versión: Primera (01)
Profesional Topografía	Profesional SIG	Director Soluciones de Ingeniería
Jhoan Macias Revisó	Raúl Andrés Valencia Morales Elaboró	JUAN GONZALO Aprobó

OBJETO CONTRATO:

"PRESTACIÓN DE SERVICIOS PARA LA GENERACIÓN DE PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS BÁSICOS EN FORMATO RÁSTER (VUELO FOTOGRAMÉTRICO, GENERACIÓN DE ORTOFOTOMOSAICO), DTM Y MALLA DE PUNTOS LIDAR PARA BOGOTA Y/O LA REGIÓN"

REGISTRO DE CAMBIOS DE LA PRESENTE VERSIÓN

Versión	Página	Naturaleza del cambio	Fecha
1		Creación del Documento	21/05/2025

CONTENIDO

1. ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD 7

2. POLÍTICA DE PROTECCIÓN DE SECRETOS EMPRESARIALES 8

3. INTRODUCCIÓN 9

4. OBJETIVOS 10

4.1. OBJETIVO GENERAL 10

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 10

5. LOCALIZACION GENERAL DEL PROYECTO 11

6. RESUMEN DEL PLAN DE GESTIÓN DEL PROYECTO 13

7. PUNTOS O ELEMENTOS EXISTENTES PARA CONTROLES DE CALIDAD RMSE. 14

8. CAPTURA DE INFORMACIÓN FOTOGRAMÉTRICA Y LiDAR 17

9. PLANIFICACIÓN DE VUELO FOTOGRAMETRICO Y LiDAR. 19

9.1. COMPONENTES DEL SISTEMA 19

9.1.1. Montaje 1: ----- 19

9.1.1. Montaje 2: ----- 20

9.2. PARÁMETROS DE VUELO COMBINADO LIDAR/CÁMARA 21

9.2.1. Montaje 1 - Cerros Orientales: ----- 21

9.2.1. Montaje 1 – Bogotá y Municipios: ----- 22

9.2.1. Montaje 2 – Bogotá y Municipios: ----- 23

9.3. CONTROLES DE CALIDAD - PLANIFICACIÓN DE VUELO FOTOGRAMÉTRICO Y LIDAR. .. 25

9.4. MONTAJE Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO Y LIDAR 27

9.5. TRABAJOS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA INERCIAL – CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR 27

9.5.1. CÁLCULO DE CORRECCIÓN ROLL, PITCH Y HEADING ----- 29

10. EJECUCIÓN DEL VUELO 32

10.1. RECEPCIÓN DE PLANIFICACIÓN DEPARTAMENTO DE VUELO 32

10.2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA 32

10.3. COMPROBACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y SISTEMAS 32

10.4. REALIZACIÓN DEL VUELO 33

10.5. VOLCADO DE LA INFORMACIÓN 34

10.6. ENVÍO DE INFORMACIÓN A OFICINA 34

10.7. CONTROL DE CALIDAD DE CADA MISIÓN DE VUELO EJECUTADO 34

11. POST-PROCESO PRODUCTO FINAL DE DATOS GPS/IMU Y OBTENCIÓN DE TRAYECTORIAS 36

11.1. OBTENCIÓN DIRECTA DE LOS PARÁMETROS DE ORIENTACIÓN EXTERNA 36

12. AVANCE DEL PROYECTO 39

12.1. AVANCE DE LOS VUELOS 39

12.2. AVANCE TOPOGRAFIA 44

12.3. AVANCE PROCESADO DATOS 46

13. AVANCE PROCESADO DATOS FOTOGRAMÉTRICOS 52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización general del proyecto 12
Figura 2. Plan de gestión del proyecto 13
Figura 3. Prediseño puntos Chequeo y control 15
Figura 4. Ejemplo ficha de descripción y localización de Punto de Chequeo 16
Figura 5. Flujograma captura de datos Fotogramétricos + LiDAR 18
Figura 6. Sistema Combinado de Captura LiDAR (VQ580i) – Cámara Alta resolución(PhaseOne iXM-RS) 19
Figura 7. Aeronave Cessna 402B 19
Figura 8. Sistema Combinado de Captura LiDAR (VQ480i) – Cámara Alta resolución (IXA-R) 20
Figura 9. Helicóptero Hughes 20
Figura 10. Plan de vuelo Montaje 1 - Cerros Orientales (1:5000) 22
Figura 11. Plan de vuelo Montaje 1 - Bogotá y Municipios (1:1000) 23
Figura 12. Plan de vuelo Montaje 2 - Bogotá y Municipios (1:1000) 24
Figura 13. Coberturas y Ejes de vuelo Cerros Orientales 25
Figura 14. Coberturas y Ejes de vuelo Municipios 26
Figura 15. Coberturas y Ejes de vuelo Bogotá 26
Figura 16. Instalación Riegl VQ580II y Phase One iXM-RS 150F 27
Figura 17. Instalación Riegl VQ480I y Phase One IXA-R 180Mp 27
Figura 18. Diagrama giros de la aeronave 28
Figura 19. Vuelo Calibración 29
Figura 20. Estadísticos RiPROCES y Tie Lines 30
Figura 21. Calibración correcciones Roll, Pitch, Heading 30
Figura 22. Mapa de sombras calibración 31
Figura 23. Integración de planificaciones al sistema de navegación de la aeronave 32
Figura 24. Sistema de Control en vuelo 33
Figura 25. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20250215 Sesión 1 36
Figura 26.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20250215 Sesión 1 37
Figura 27. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20250215 Sesión 1 38
Figura 28.Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20250215 Sesión 1 38
Figura 29. Avance de los vuelos Bogotá 39
Figura 30. Avance de los vuelos Cerros Orientales 40
Figura 31. Avance de los vuelos Municipios 41
Figura 32. Porcentaje de avance por área de los vuelos 42
Figura 33. Porcentaje de avance por área de los vuelos 43
Figura 34. Avance topografía 44
Figura 35. Puntos de fotocontrol 45

Figura 36. Porcentaje de avance por área topografía 45
Figura 37. Datos LiDAR procesados 46
Figura 38. Datos LiDAR clasificados Chía 47
Figura 39. Datos LiDAR clasificados Cota 47
Figura 40. Datos LiDAR clasificados Funza-Madrid-Mosquera 48
Figura 41. Datos LiDAR clasificados Soacha 48
Figura 42. MDT Preliminar 49
Figura 43. MDT Final Cerros Orientales 50
Figura 44. Fotocentros del proyecto 52
Figura 45. Ortofoto de Chía 53
Figura 46. Ortofoto de Cota 53
Figura 47. Ortofoto Funza-Madrid-Mosquera 54
Figura 48. Ortofoto Soacha 54
Figura 49. Ortofoto de los Cerros Orientales 55

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.Características generales - municipios a capturar 11
Tabla 2. Cantidad de Puntos de control y chequeo a posicionar 14
Tabla 3. Características generales Cerros Orientales (1:5000) 21
Tabla 4. Características generales Montaje 1 -Bogotá y Municipios (1:1000) 22
Tabla 5. Características generales Montaje 2 - Bogotá y Municipios (1:1000) 23
Tabla 6. Avance de los vuelos por área del proyecto 42
Tabla 7. Avance topografía por área del proyecto 46
Tabla 8. Estadísticos resultados de ajuste Puntos de Comprobación Cerros Orientales .. 50

1. ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

El plan de trabajo y metodología para la generación de productos cartográficos básicos en formato ráster (vuelo fotogramétrico, generación de ortofotomosáico), DTM y malla de puntos LiDAR para Bogotá y/o la Región es presentada por **SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LATINOAMERICA SIGLA SAS** como parte de la propuesta técnico económica, a la invitación realizada por la **SECRETARIA DISTRITAL DE PLANEACIÓN.**

Este documento contiene información confidencial y de propiedad que la empresa **SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LATINOAMERICA SIGLA SAS** considera como valiosos secretos empresariales. Toda la información incluida en el plan de trabajo y metodología y que no fuese proporcionada por la **SECRETARIA DISTRITAL DE PLANEACIÓN,** es confidencial y propietaria para la entidad. Al aceptar y retener este documento, la **SECRETARIA DISTRITAL DE PLANEACIÓN** se compromete a evitar la publicación a terceras partes no autorizadas, de la misma manera en que dicha entidad protege su propia información confidencial y propietaria.

SECRETARIA DISTRITAL DE PLANEACIÓN, acepta reproducir este acuerdo de confidencialidad en todas las copias de este documento de acuerdo a los derechos limitados aquí mencionados.

El proyecto se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá, los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá y los municipios de Soacha, Funza, Mosquera, Madrid, Cota y Chía, con una extensión total de 69925 Ha. Basados en la delimitación dada de la zona a sobrevolar, así como en datos de campo, se realiza la planificación del vuelo fotogramétrico teniendo presente las condiciones geométricas.

2. POLÍTICA DE PROTECCIÓN DE SECRETOS EMPRESARIALES

El secreto empresarial es el mecanismo adecuado y pertinente para proteger la información que dadas sus características económicas y comerciales le genera una ventaja competitiva a su poseedor legitimo.

La Comisión de la Comunidad Andina en su **Decisión 486** Régimen común sobre propiedad industrial; específicamente en el **capítulo II**; **articulo 260** reza que:

"*Se considerará como secreto empresarial cualquier información no divulgada que una persona natural o jurídica legítimamente posea, que pueda usarse en alguna actividad productiva, industrial o comercial, y que sea susceptible de transmitirse a un tercero, en la medida que dicha información sea:*

> *a) secreta, en el sentido que como conjunto o en la configuración y reunión precisa de sus componentes, no sea generalmente conocida ni fácilmente accesible por quienes se encuentran en los círculos que normalmente manejan la información respectiva;*
>
> *b) tenga un valor comercial por ser secreta; y*
>
> *c) haya sido objeto de medidas razonables tomadas por su legítimo poseedor para mantenerla secreta.*

La información de un secreto empresarial podrá estar referida a la naturaleza, características o finalidades de los productos; a los métodos o procesos de producción; o, a los medios o formas de distribución o comercialización de productos o prestación de servicios."

Al interior de **SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LATINOAMERICA SIGLA SAS**, existe información confidencial en términos de: conocimientos, procedimientos, arreglos, integración, montajes, técnicas de captura y procesamiento, almacenamiento, insumos de producción, estrategias de venta y publicidad, entre otros; que representan activos intangibles de gran importancia para el funcionamiento de nuestro negocio, los cuales pueden perder su valor si dicha información no se protege de manera adecuada.

Por lo anterior y en virtud al artículo 260 de la decisión 486 del 2000 de la comunidad Andina; de la Ley de competencia desleal (Ley 256 de 1996, Artículo 16); del Código Sustantivo del Trabajo (artículo 58.2); del artículo 308 del Código Penal que tipifica como delito la violación de reserva industrial o comercial; del artículo 39 del Acuerdo de la OMC sobre los aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (Adpic); del Convenio de Paris para la Protección de la Propiedad Industrial, desde 1984, con la Ley 178/1984; entre otras normas, nuestra compañía se reserva el derecho a suministrar información que considere como secretos empresariales propios de nuestra actividad económica.

3. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a lo descrito en la resolución IGAC 471 de 14 de mayo de 2020. "*Que el levantamiento y actualización de la cartografía del país podrá hacerse mediante cualquiera de las metodologías y tecnologías existentes, siempre y cuando cumplan con los estándares o Especificaciones Técnicas que se definan en la presente Resolución.*" Se presenta a continuación el plan de trabajo y metodología propuesta.

En la actualidad existen múltiples sistemas, equipos y/o sensores que, mediante diferentes técnicas apropiadas de captura, análisis y procesamiento, permiten obtener información topográfica de alta precisión y detalle en tiempos relativamente cortos. Algunas de estas técnicas son los levantamientos mediante sensores remotos aerotransportados, tipo fotogramétrico y LiDAR que se ejecutan a partir de sobre vuelos tripulados o no tripulados a alta, media o baja altura; controlados, ajustados y/o ligados debidamente; mediante cualquier técnica de procesamiento diferencial en tiempo real como (RTK, NTRIP, PPP, PPK, RTX, etc.).

Las correcciones diferenciales GNSS, se generan en coordenadas geográficas y elevaciones elipsoidales, en el marco de referencia global ITRF del sistema MAGNA SIRGAS definido para el país. Todos los trabajos de campo quedaran en época actual de levantamiento para luego ser ajustados en oficina a **época IGAC 2018.0**, y al modelo de elevación geoidal **GEOCOL2004** para finalmente ser reproyectados al nuevo **Origen Único Nacional (EPSG:9377)** establecido por el IGAC en la resolución 370 de 2021.

Las experiencias en proyectos ya ejecutados dentro y fuera del país, han demostrado los beneficios de las técnicas de levantamientos fotogramétrico y LiDAR hacia la recolección masiva de información respecto de las técnicas tradicionales.

Cabe aclarar que la denominación del producto del objeto del contrato "Modelo Digital de Elevación" es un término ambiguo que puede generar confusiones hacia el alcance pretendido, por lo cual se aclara que el término "Modelo Digital de Elevaciones" hace referencia al **Modelo Digital de Terreno (MDT)** que corresponde al terreno desnudo del área de levantamiento y así será referido en adelante en el presente documento.

La aplicación de cualquiera de las técnicas de levantamiento fotogramétrico y LiDAR, entregará como insumo principal, **ortoimágenes y modelos digitales de terreno (MDT) completos,** con altos niveles de detalle, mínimos tiempos de captura y procesamiento con precisiones superiores a las requeridas**,** como las requeridas para el presente estudio mediante el cumplimiento de lo descrito en las resoluciones IGAC 471, 529 de 2020, 1421 de 2021, 197 de 2022 y 1040 de 2023 en lo referente al control de calidad en los componentes XYZ de los productos de ortoimágenes y MDT.

El producto final, tiene la propiedad de ser autoauditable, en cuanto a que las ortoimágenes y el MDT, serán la evidencia irrefutable, precisa y completa de lo existente en el terreno y superficie al momento de la captura de la información.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LATINOAMERICA SIGLA SAS en adelante el CONTRATISTA, pone a disposición toda la experiencia obtenida en múltiples proyectos ejecutados con éxito,

así como su infraestructura y equipos propios, con el único fin de obtener un producto adecuado y de calidad dentro del plazo estipulado para el contrato o antes de ser posible.

A continuación, se presenta el avance en el desarrollo del proyecto, presentando entre otros la localización general del proyecto, los objetivos a alcanzar, avances en los vuelos y levantamientos topográficos convencionales y procesado de la información.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Conforme el análisis detallado del Anexo General de Especificaciones Definitivo de referencia: SDP-SA-SA-009-2024, el objetivo general es:

Generación de productos Cartográficos Básicos en formato ráster (vuelo fotogramétrico, generación de Ortofotomosaico), DTM y malla de puntos LiDAR para Bogotá y/o La Región con controles de calidad y productos insumos según normativa IGAC para escalas **1:1000, 1:2000 y 1:5000**.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definición conjunta y aprobación de polígonos limite a levantar.
- Diseño y distribución espacial de puntos de **Chequeo** o de Control de calidad (RMSE) para datos LiDAR y fotogramétricos
- Diseño de planes de vuelo fotogramétrico y LiDAR.
- Posicionamiento con equipos GNSS de puntos de chequeo o elementos existentes para controles de calidad (RMSE).
- La georreferenciación en campo de puntos será a partir del cálculo diferencial desde la ERP que el IGAC tenga activas para las fechas de trabajos. Incluye la reproyección al sistema Magna Sirgas, en la proyección cartográfica Origen Único Nacional, ajuste a época IGAC 2018.0 y ajuste altimétrico a modelo geoidal GEOCOL2004.
- Captura de información para producto 1 “Área Urbana y de expansión de la ciudad de Bogotá D.C.” a escala 1:1000 con GSD máximo de 10cm para 44500Ha aproximadamente; producto 2 “Área de los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá D.C.” a escala 1:5000 para 15215Ha aproximadamente y producto 3 “Área urbana de los municipios de Soacha, Funza, Mosquera, Madrid, Cota y Chía” a escala 1:2000 en área aproximada de 10210Ha. La información capturada quedará en coordenadas geográficas latitud, longitud y cota elipsoidal, en época actual de la captura de datos LIDAR y FOTOGRAMETRICOS.
- Procesamiento de información fotogramétrica y LIDAR: generación de **ortoimágenes**, **Modelos Digitales de terreno (MDT)**, Durante la etapa de procesamiento, los datos fotogramétricos y LIDAR capturados se generan en el sistema de coordenadas UTM18N y altura elipsoidal, las cuales serán re proyectados al sistema Magna Sirgas en la proyección cartográfica **Origen único Nacional (EPSG 9377)**. época IGAC **2018.0**; por último, las elevaciones elipsoidales de los puntos LIDAR serán transformadas en elevaciones orto métricas aplicando el modelo geoidal avalado por el IGAC denominado **GEOCOL 2004**.
- Calculo y **controles de calidad** RMSE de los productos según resoluciones IGAC 471 de 2020 y 197 de 2022.
- Generación de los **Metadatos** respectivos hacia los productos generados en el ítem 6 según resoluciones 1421 de 2021 y 471 de 2020 del IGAC.

- Entrega de **insumos** utilizados para los productos obtenidos en el numeral 6 según resolución: 1421 de 2021 IGAC.
- Informe final.

5. LOCALIZACION GENERAL DEL PROYECTO

Según la información suministrada por la Secretaría Distrital de Planeación (SDP) en el anexo técnico, los trabajos de levantamiento se desarrollan en la ciudad de Bogotá, los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá y los municipios de Soacha, Funza, Mosquera, Madrid, Cota y Chía, con una extensión total de **69925 Ha** aproximadamente, distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 1.Características generales - municipios a capturar

GRUPO	MUNICIPIO	SECTOR	ÁREA (km²)
1	BOGOTÁ	Área urbana y de expansión de Bogotá	44500
2	BOGOTÁ	Área de los Cerros Orientales de Bogotá D.C.	15215
3	BOGOTÁ	Área urbana de los municipios de Soacha, Funza, Madrid, Mosquera, Cota y Chía	10210
TOTAL			***69925***

A continuación, se ilustra espacialmente la localización del área de proyecto, extraído del Anexo técnico de la SDP.

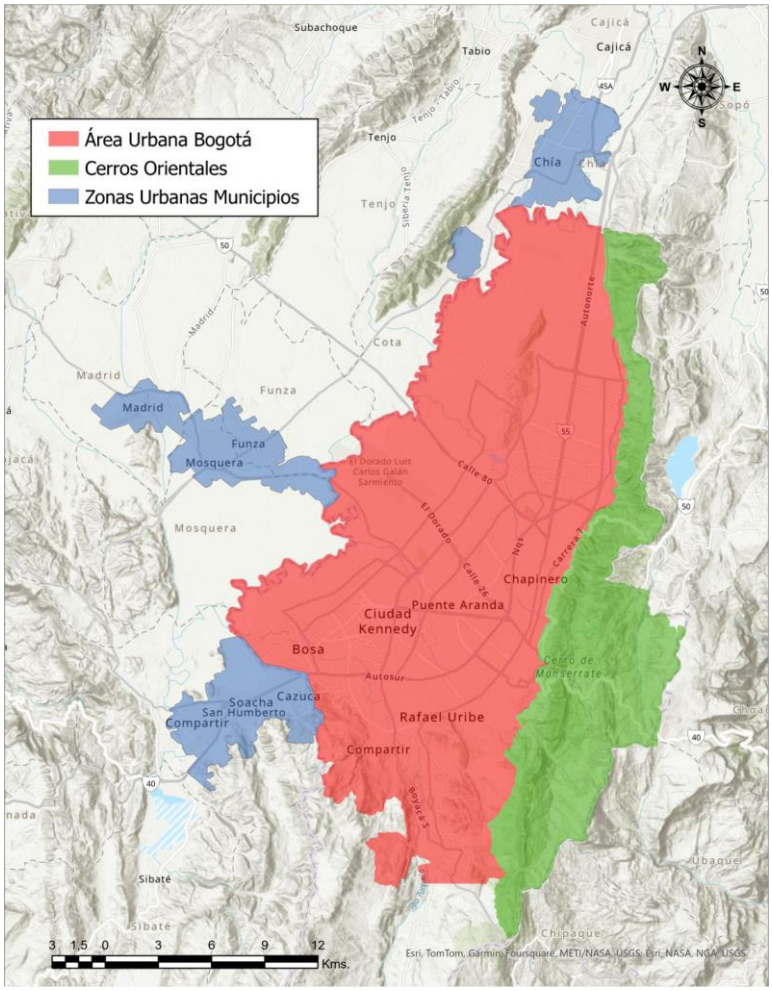


Figura 1. Localización general del proyecto

6. RESUMEN DEL PLAN DE GESTIÓN DEL PROYECTO

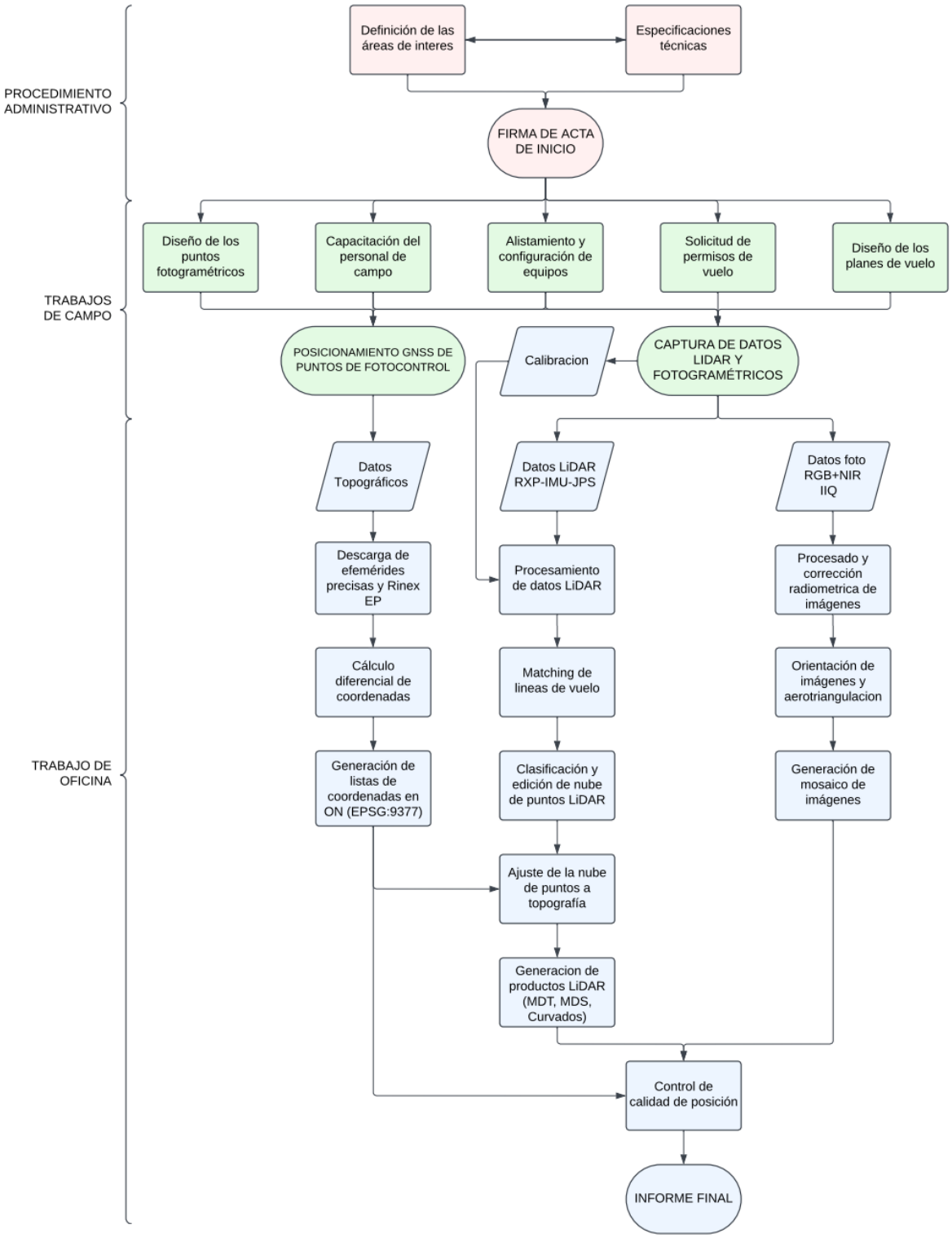


Figura 2. Plan de gestión del proyecto

7. PUNTOS O ELEMENTOS EXISTENTES PARA CONTROLES DE CALIDAD RMSE.

La georreferenciación tanto de los puntos de Control como de los puntos de Chequeo ha sido calculada por método de postproceso desde estaciones de rastreo permanente de la Ciudad de Bogotá que estan disponibles por IGAC para las fechas en que se han realizado los trabajos, cabe anotar que de no haber activas estaciones de la red SIRGAS se emplearán ERP de GeoRED MAGNA ECO. Se han obtenido datos de coordenadas y alturas sobre puntos fotoidentificables en campo sobre elementos existentes a nivel del terreno, con el fin de realizar los respectivos controles de calidad y validar los productos generados según normativa IGAC mediante análisis de error medio cuadrático. Esta metodología aplica también para los controles de calidad RMSE, presentando los datos de coordenadas en el mismo sistema de referencia y época de los productos a validar, garantizando una precisión mayor o igual a la precisión requerida según normativa IGAC para la escala de presentación final de los productos pactados. La cantidad de muestras para controles de calidad RMSE de los Puntos de Chequeo y de control por cada grupo objeto de estudio se enuncian en la Tabla 2 conforme a los lineamientos enunciados en el Anexo 2 de la Resolución 197 de 2022 IGAC.

Finalmente, por cada Punto de Chequeo obtenido se ha generado una ficha de localización y descripción general del mismo como se muestra en la Figura 7.

Tabla 2. Cantidad *de Puntos de control y chequeo a posicionar*

GRUPO	SECTOR	Puntos Control	Puntos Chequeo
1 y 3	Área urbana y de expansión de Bogotá Área urbana de los municipios de Soacha, Funza, Madrid, Mosquera, Cota y Chía	38	38
2	Área de los Cerros Orientales de Bogotá D.C.	10	20

A continuación, se presenta una imagen con la distribución de los puntos a ser levantados para la georreferenciación y control del proyecto.

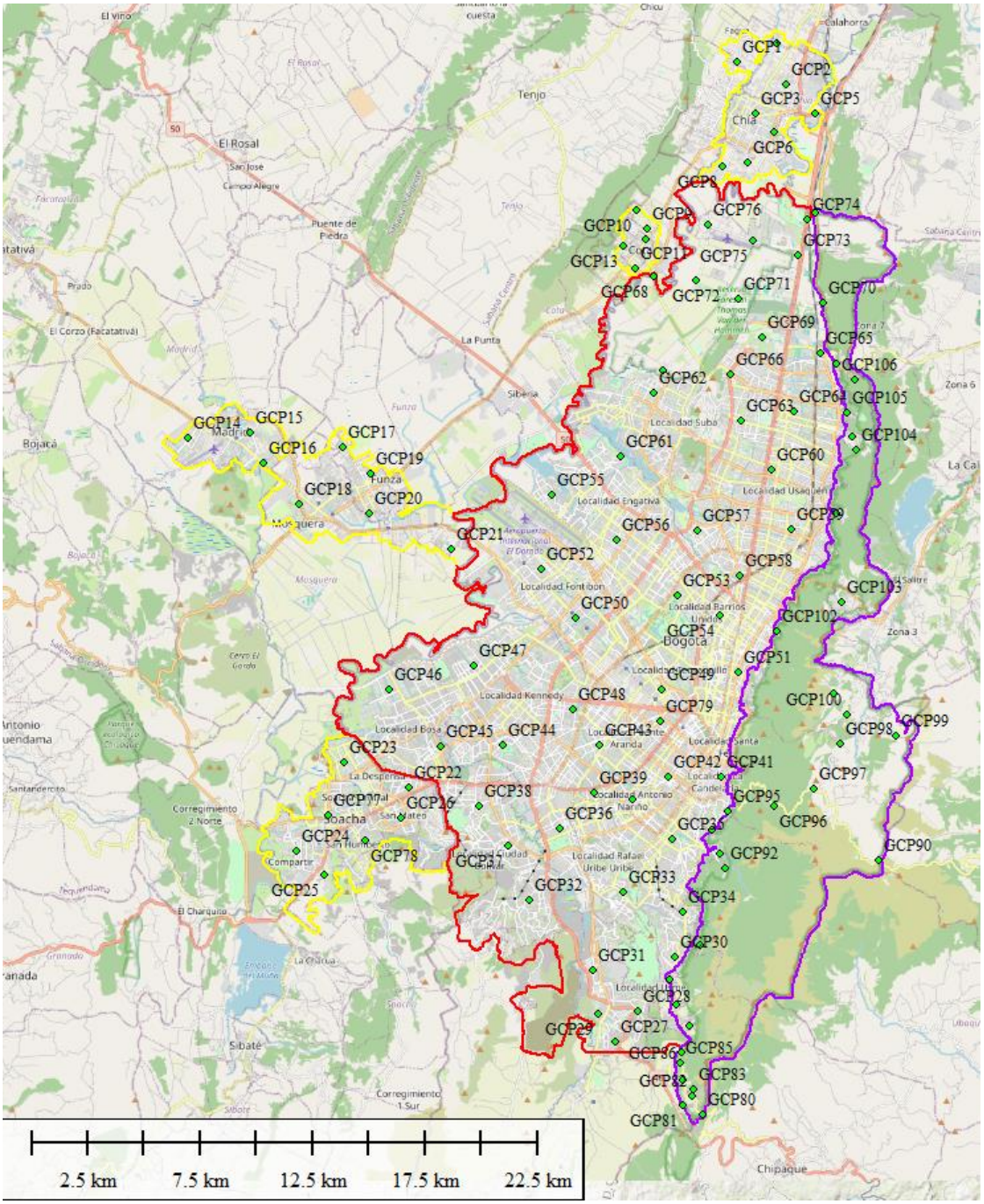


Figura 3. Prediseño puntos Chequeo y control



DESCRIPCIÓN PRECISA PUNTO DE COMPROBACIÓN VERTICAL PARA MDT10

IGAC INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

PROYECTO: "ADQUIRIR NUBES DE DATOS LIDAR CLASIFICADAS, COMO INSUMO PARA ORTORRECTIFICACIÓN DE IMÁGENES A ESCALA 1:10.000"

UNIÓN TEMPORAL IGAC 2023

Coordenadas ligadas al sistema de referencia MAGNA - SIRGAS (Época IGAC 2018.0, elipsoide GRS80≈WGS84).
Orígen de coordenadas planas - ORIGEN NACIONAL

NOMBRE DEL PUNTO	GEOGRÁFICAS WGS84		ORIGEN NACIONAL		COTA	
PCC-010	Latitud	6°48'46.06226"N	Norte	2310857.354	Elipsoidal	175.077
	Longitud	73°41'38.40629"W	Este	4923345.504	Geocol2004	169.077

ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO: Santander
MUNICIPIO: El Carmen de Chucurí

IMAGEN PANORÁMICA DEL PUNTO

IMAGEN EN PLANTA DEL PUNTO

PARÁMETROS DE LA PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA ORIGEN NACIONAL - EPSG-9377

Latitud N:	04°00'00.00000''	Falso Norte:	2000000.000 m	Factor de Escala:	0.9992
Longitud W:	73°00'00.00000''	Falso Este:	5000000.000 m	Plano de Proyección:	0 MSNM

Tipo de corrección diferencial:	Calculó:	Fecha de posicionamiento:
PPP - CSRS "Sistema de Referencia Espacial Canadiense"	Ing. Jhoan K. Macias Acevedo Mat. 253335219539 CND	18/01/2023
	Revisó: Ing. Andres Felipe Chaparro Mat. 25222346322 CND	día - mes - año

Figura 4. Ejemplo ficha de descripción y localización de Punto de Chequeo

8. CAPTURA DE INFORMACIÓN FOTOGRAMÉTRICA Y LiDAR

Al mismo tiempo de la captura de nube de puntos mediante el sensor LiDAR aerotransportado se realizó la captura de fotogramas digitales sobre un mismo plan de vuelo. Lo anterior es la información base del proyecto, para la generación de las ortoimágenes, el modelo digital de terreno (MDT), y estos insumos son la base sobre la cual se restituirá la base de datos cartográfica de cada municipio referido.

LiDAR es una tecnología de geomática avanzada orientada a la producción de información espacial a nivel geográfico y topográfico. Es el Acrónimo de “Light Detection and Ranging”. Su traducción literal es “detección y medición de la luz”, y se trata de un sistema láser de medición a distancia que se utiliza a menudo en los campos de la ciencia e industria para la toma de medidas precisas en objetos lejanos e inaccesibles. Recientemente esta técnica se está introduciendo en el campo de la cartografía y topografía, puesto que permite la modelación masiva, rápida y precisa del terreno en zonas con accesos difíciles o de grandes extensiones.

El sistema integrado fotogramétrico y LiDAR ofrecido es un sistema complejo, compuesto por un sensor activo o escáner láser potente, un sensor pasivo o cámara métrica para la toma de fotogramas, receptor GNSS de última generación con capacidad para la georreferenciación directa (GD) que proporciona la posición precisa de los datos en la época del vuelo y la altura de la aeronave durante toda la misión aérea.

Los sensores pasivos (cámaras RGB) capturan los fotogramas digitales según el plan de vuelo programado con la superposición y traslape necesario según requerimientos.

El sensor activo LiDAR o escáner láser aerotransportado, emite pulsos de luz infrarroja que sirven para determinar la distancia entre el sensor y los puntos de terreno y superficie registrados. La longitud de onda de estos pulsos varía entre 500 y 1500 nm. A partir del tiempo que ha tardado cada rayo en ir y venir y de la velocidad de la luz, se deduce la distancia a la que está el objeto estudiado.

Por otra parte, los sensores de navegación y actitud (GNSS e IMU respectivamente), apoyan durante la navegación del plan de vuelo programado y al mismo tiempo registran datos inerciales y de posición precisa, en cada uno de los datos capturados por los sensores activos y pasivos del sistema, para ser utilizados durante la etapa de procesamiento y generación de productos.

Para el presente proyecto se capturan fotogramas adecuados para la construcción de **ortoimágenes** y nubes de puntos LiDAR, para la construcción de un modelo digital de terreno (**MDT**) confiable incluso para las áreas de vegetación abundante. La evaluación de calidad será según escala de productos IGAC a que corresponda. Ver (Resolución 197 de 2022 IGAC).

A continuación, se presenta un flujograma con las diferentes etapas de la captura de datos.

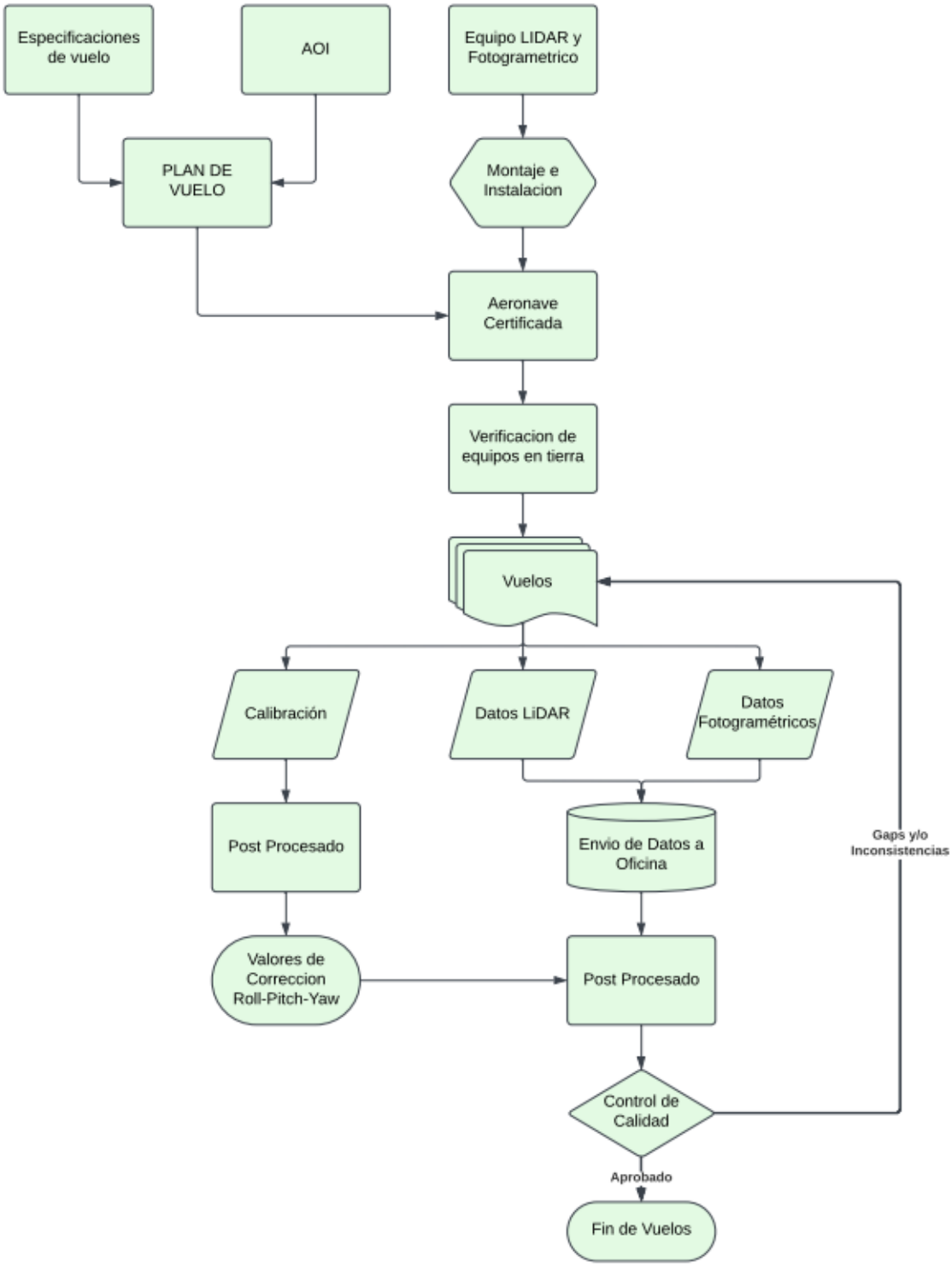


Figura 5. Flujograma captura de datos Fotogramétricos + LiDAR

Toda la información cruda capturada se entregará en los formatos originales que cada uno de los equipos y/o sensores genere.

9. PLANIFICACIÓN DE VUELO FOTOGRAMETRICO Y LiDAR.

Dada la delimitación de la zona a sobrevolar y apoyándonos en la cartografía existente, así como en datos de campo, se realizó una planificación inicial del vuelo fotogramétrico, teniendo presente las condiciones geométricas proporcionadas por el cliente.

9.1. COMPONENTES DEL SISTEMA

Para el desarrollo del proyecto se disponían de diferentes sistemas utilizados como conjunto combinado de cámara fotogramétrica y sistema LiDAR, para los levantamientos realizados se han utilizado las siguientes combinaciones:

9.1.1. Montaje 1:

- Cámara Phase One iXM-RS 150F de 150Mp
- Riegl VQ 580ii de 550KHz



Figura 6. Sistema Combinado de Captura LiDAR (VQ580i) – Cámara Alta resolución(PhaseOne iXM-RS)

Estos sistemas, fueron instalados en la aeronave Cessna 402B de matricula HK4933, la cual cuenta con permisos para la realización de vuelos fotogramétricos en todo el país.



Figura 7. Aeronave Cessna 402B

9.1.1. Montaje 2:

- Cámara Phase One IXA-R 180Mp
- Riegl VQ 480i de 400KHz



Figura 8. Sistema Combinado de Captura LiDAR (VQ480i) – Cámara Alta resolución (IXA-R)

Estos sistemas, fueron instalados en el helicóptero HUGHES de matrícula HK1934, el cual cuenta con permisos para la realización de vuelos fotogramétricos en todo el país.



Figura 9. Helicóptero Hughes

Como lo establece el IGAC en la resolución 471 de 2020:

> *"Que el levantamiento y actualización de la cartografía del país podrá hacerse mediante cualquiera de las metodologías y tecnologías existentes, siempre y cuando cumplan con los estándares o Especificaciones Técnicas que se definan en la presente Resolución.*

Que las presentes especificaciones técnicas están orientadas al producto, proporcionando una mayor flexibilidad al proceso o metodología de obtención del mismo, algo que se considera necesario en un esquema en el que se intenta promover un incremento en el número de productores de información geográfica del país, fomentando al mismo tiempo la innovación en el sector."

Por este motivo y de acuerdo a las condiciones de terreno, tránsito aéreo y condiciones climáticas, así como las restricciones aéreas que existen sumado a nuestra experiencia previa con proyectos volados sobre la misma zona se utilizara una aeronave u otra en los vuelos restantes. Siempre garantizando la calidad y precisión requerida por el proyecto y contando con los permisos correspondientes.

Para la realización del proyecto garantizando la calidad y como margen de seguridad sobre las condiciones técnicas establecidas se diseñaron cuatro planes de vuelo tanto para la ejecución con helicóptero como con avioneta, así como las condiciones del terreno, en general se tomará un mínimo de 10 Puntos/m2 y el tamaño de Píxel es de 0.09m GSD para las áreas escala 1:1000 y 1:2000 y para la escala 1:5000 la densidad de puntos mínima es de 0.7 Puntos/m2 y tamaño de Píxel es de 0.17m GSD

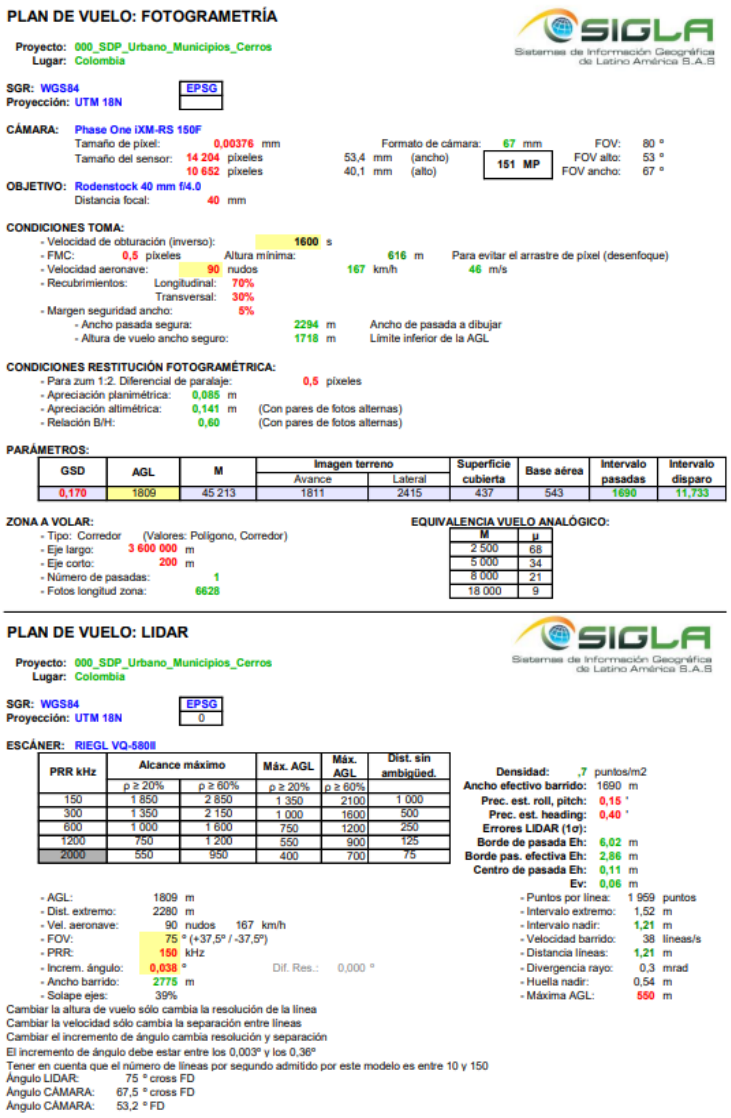
9.2. PARÁMETROS DE VUELO COMBINADO LIDAR/CÁMARA

La parametrización del sensor LiDAR se realiza con la aplicación del Software AeroPlan de la casa Leica Geosystems. Para los cerros Orientales de la ciudad de Bogota se planifico una densidad de puntos mínima de 0.7Puntos/m2 y tamaño de Píxel es de 0.17m. Los parámetros generales del vuelo fotogramétrico y LiDAR ejecutado se resumen en la siguiente tabla.

9.2.1. Montaje 1 - Cerros Orientales:

Tabla 3. Características generales Cerros Orientales (1:5000)

Altura de vuelo	1809 m sobre el terreno
Velocidad del vuelo	90 nudos (167 km/h)
Ángulo de visión	80º
Densidad de la nube LiDAR	>0.7 pts. / m2
Ancho de faja	2294 m
GSD (Tamaño de píxel)	0.17 m
Recubrimiento Longitudinal	70%
Recubrimiento Transversal	30%



PLAN DE VUELO: FOTOGRAMETRÍA

Proyecto: 000_SDP_Urbano_Municipios_Cerros
Lugar: Colombia

SGR: WGS84
Proyección: UTM 18N
EPSG

CÁMARA: Phase One iXM-RS 150F
Tamaño de píxel: 0,00376 mm
Tamaño del sensor: 14 204 píxeles / 10 652 píxeles
Formato de cámara: 67 mm
53,4 mm (ancho) / 40,1 mm (alto)
151 MP
FOV: 80 °
FOV alto: 53 °
FOV ancho: 67 °

OBJETIVO: Rodenstock 40 mm f/4.0
Distancia focal: 40 mm

CONDICIONES TOMA:
- Velocidad de obturación (inverso): 1600 s
- FMC: 0,5 píxeles
- Altura mínima: 616 m — Para evitar el arrastre de píxel (desenfoque)
- Velocidad aeronave: 90 nudos — 167 km/h — 46 m/s
- Recubrimientos: Longitudinal: 70% / Transversal: 30%
- Margen seguridad ancho: 5%
  - Ancho pasada segura: 2294 m — Ancho de pasada a dibujar
  - Altura de vuelo ancho seguro: 1718 m — Límite inferior de la AGL

CONDICIONES RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA:
- Para zum 1:2. Diferencial de paralaje: 0,5 píxeles
- Apreciación planimétrica: 0,085 m
- Apreciación altimétrica: 0,141 m (Con pares de fotos alternas)
- Relación B/H: 0,60 (Con pares de fotos alternas)

PARÁMETROS:

GSD	AGL	M	Imagen terreno		Superficie cubierta	Base aérea	Intervalo pasadas	Intervalo disparo
			Avance	Lateral				
0,170	1809	45 213	1811	2415	437	543	1690	11,733

ZONA A VOLAR:
- Tipo: Corredor (Valores: Polígono, Corredor)
- Eje largo: 3 600 000 m
- Eje corto: 200 m
- Número de pasadas: 1
- Fotos longitud zona: 6628

EQUIVALENCIA VUELO ANALÓGICO:

M	µ
2 500	68
5 000	34
8 000	21
18 000	9

PLAN DE VUELO: LIDAR

Proyecto: 000_SDP_Urbano_Municipios_Cerros
Lugar: Colombia

SGR: WGS84
Proyección: UTM 18N
EPSG 0

ESCÁNER: RIEGL VQ-580II

PRR kHz	Alcance máximo		Máx. AGL	Máx. AGL	Dist. sin ambigüed.
	ρ ≥ 20%	ρ ≥ 60%	ρ ≥ 20%	ρ ≥ 60%	
150	1 850	2 850	1 350	2100	1 000
300	1 350	2 150	1 000	1600	500
600	1 000	1 600	750	1200	250
1200	750	1 200	550	900	125
2000	550	950	400	700	75

Densidad: ,7 puntos/m2
Ancho efectivo barrido: 1690 m
Prec. est. roll, pitch: 0,15 °
Prec. est. heading: 0,40 °
Errores LIDAR (1σ):
Borde de pasada Eh: 6,02 m
Borde pas. efectiva Eh: 2,86 m
Centro de pasada Eh: 0,11 m
Ev: 0,06 m

- AGL: 1809 m
- Dist. extremo: 2280 m
- Vel. aeronave: 90 nudos 167 km/h
- FOV: 75 ° (+37,5° / -37,5°)
- PRR: 150 kHz
- Increm. ángulo: 0,038 ° — Dif. Res.: 0,000 °
- Ancho barrido: 2775 m
- Solape ejes: 39%

- Puntos por línea: 1 959 puntos
- Intervalo extremo: 1,52 m
- Intervalo nadir: 1,21 m
- Velocidad barrido: 38 líneas/s
- Distancia líneas: 1,21 m
- Divergencia rayo: 0,3 mrad
- Huella nadir: 0,54 m
- Máxima AGL: 550 m

Cambiar la altura de vuelo sólo cambia la resolución de la línea
Cambiar la velocidad sólo cambia la separación entre líneas
Cambiar el incremento de ángulo cambia resolución y separación
El incremento de ángulo debe estar entre los 0,003° y los 0,36°
Tener en cuenta que el número de líneas por segundo admitido por este modelo es entre 10 y 150
Ángulo LIDAR: 75 ° cross FD
Ángulo CÁMARA: 67,5 ° cross FD
Ángulo CÁMARA: 53,2 ° FD

Figura 10. Plan de vuelo Montaje 1 - Cerros Orientales (1:5000)

Para Bogotá y municipios (Chía, Cota, Funza. Mosquera, Madrid y Soacha) en el montaje 1 se planifico una densidad de puntos mínima de 11.6Puntos/m2 y tamaño de Píxel es de 0.09m. Los parámetros generales del vuelo fotogramétrico y LiDAR ejecutado se resumen en la siguiente tabla.

9.2.1. Montaje 1 – Bogotá y Municipios:

Tabla 4. Características generales Montaje 1 -Bogotá y Municipios (1:1000)

Altura de vuelo	957 m sobre el terreno
Velocidad del vuelo	90 nudos (167 km/h)
Ángulo de visión	80º
Densidad de la nube LiDAR	>11.6 pts. / m2
Ancho de faja	1214 m
GSD (Tamaño de píxel)	0.09 m

Recubrimiento Longitudinal	70%
Recubrimiento Transversal	30%

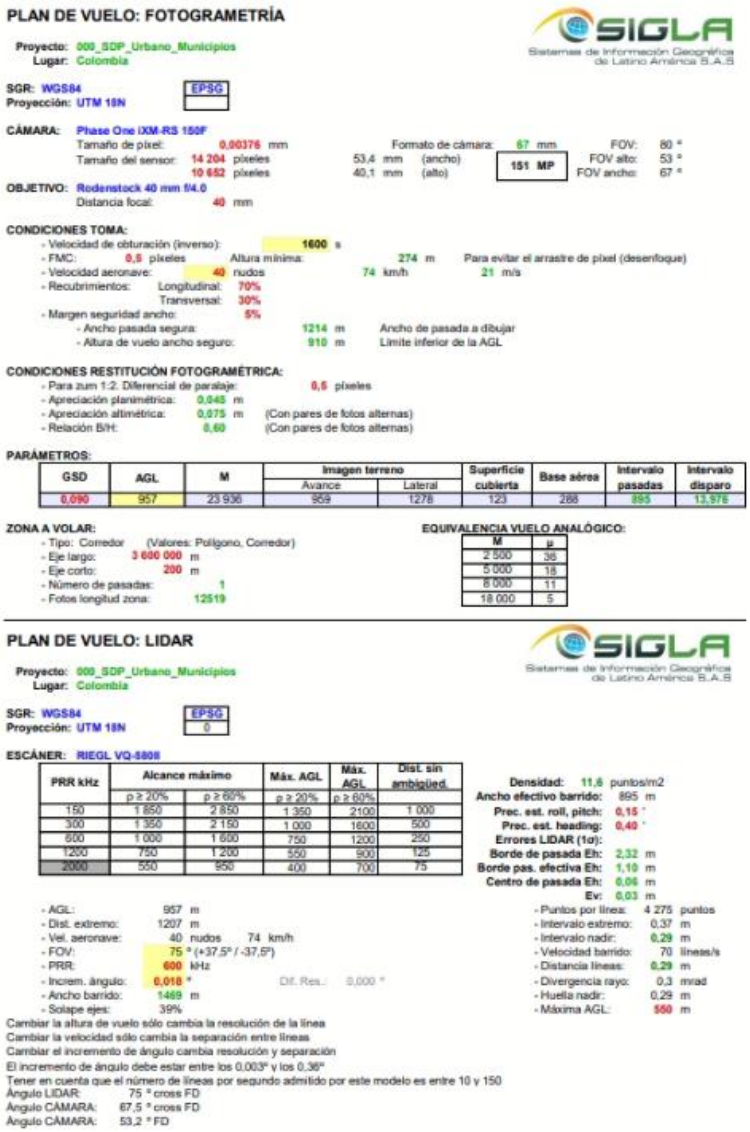


Figura 11. Plan de vuelo Montaje 1 - Bogotá y Municipios (1:1000)

Para Bogotá y municipios (Chía, Cota, Funza. Mosquera, Madrid y Soacha) a bordo del montaje 2 se planifico una densidad de puntos mínima de 6Puntos/m2 con un solape del 50% entre las líneas lo cual permitirá tener una densidad doble (12Puntos/m2) con los solapes y tamaño de Píxel es de 0.05m. Los parámetros generales del vuelo fotogramétrico y LiDAR ejecutado se resumen en la siguiente tabla.

9.2.1. Montaje 2 – Bogotá y Municipios:

Tabla 5. Características generales Montaje 2 - Bogotá y Municipios (1:1000)

Altura de vuelo	529 m sobre el terreno
Velocidad del vuelo	60 nudos (111 km/h)

Ángulo de visión	68°
Densidad de la nube LiDAR	>6 pts. / m2
Ancho de faja	540 m
GSD (Tamaño de píxel)	0.055 m
Recubrimiento Longitudinal	70%
Recubrimiento Transversal	50%

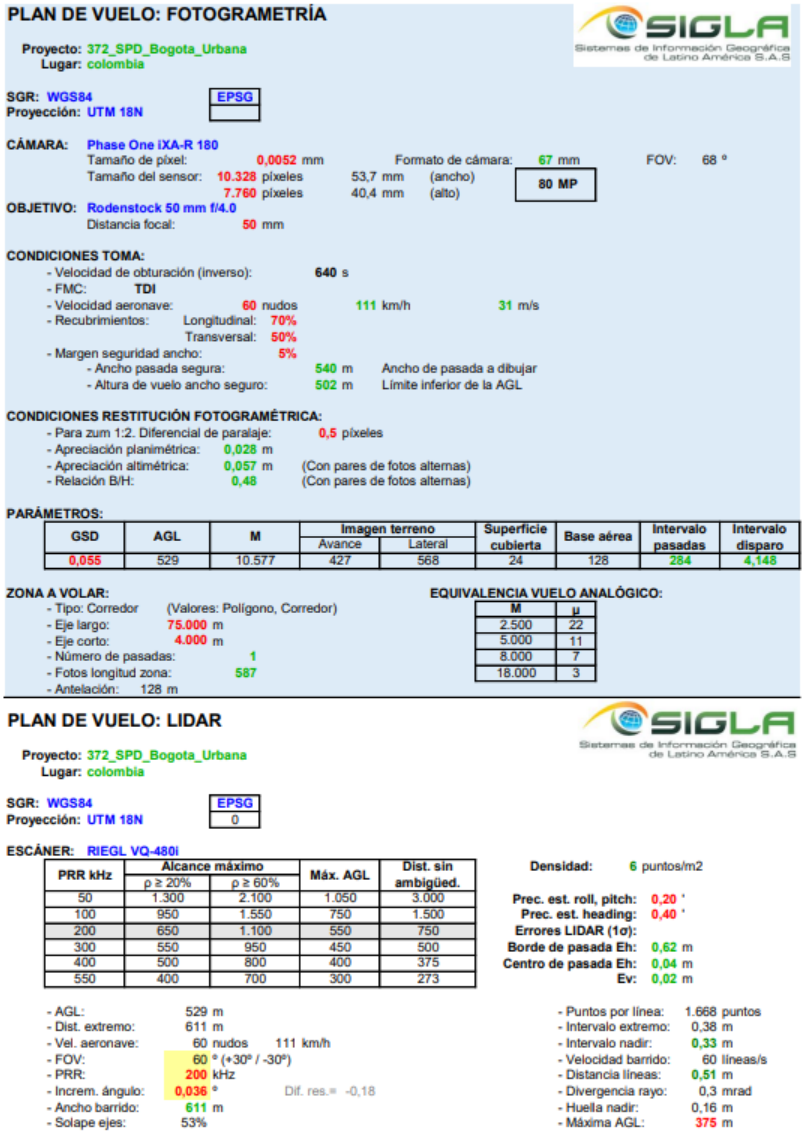


Figura 12. Plan de vuelo Montaje 2 - Bogotá y Municipios (1:1000)

Una vez realizada la planificación del vuelo y comprobado que se cumplen o mejoran las especificaciones definidas en el anexo técnico, ésta fue enviada a la Dirección Técnica del proyecto para que proceda a su revisión y/o aprobación.

Aceptada la planificación, ésta fue transferida al sistema fotogramétrico y LiDAR y al sistema de navegación de la aeronave.

El montaje No1 fue utilizado para realizar los vuelos realizados entre el día 6 de enero y el día 31 de enero, el montaje No2 fue utilizado para realizar los vuelos entre los días 7 de febrero y 20 de febrero y entre el día 12 y 17 de abril. Al finalizar los sobrevuelos se entregará un polígono del cubrimiento de los datos realizados que permita diferenciar el cubrimiento de cada uno de los diferentes montajes.

9.3. CONTROLES DE CALIDAD - PLANIFICACIÓN DE VUELO FOTOGRAMÉTRICO Y LIDAR.

Tras realizar la planificación, ésta se sometió a un exhaustivo control de calidad para garantizar que se cumplan las características geométricas exigidas. En este proceso las líneas de vuelo planificadas son proyectados sobre un Modelo Digital de Elevaciones Global (SRTM Shuttle Radar Topography Mission), obteniendo una base de datos con información alfanumérica y un gráfico CAD que permite realizar un análisis visual de la planificación. La base de datos ofrece además información de las escalas o resoluciones máximas, media y mínima de cada fotograma y pasada, de los recubrimientos reales entre fotogramas consecutivos y recubrimientos entre pasadas consecutivas. De igual forma, se proyectan las pasadas LIDAR para garantizar los recubrimientos laterales y que no se exceden los límites de variación de cota para garantizar la densidad media y el registro continuo de pulsos.

A partir del análisis conjunto de la base de datos y del gráfico de huellas se determina el grado de aptitud de la planificación, procediendo, en su caso, a realizar las modificaciones necesarias.

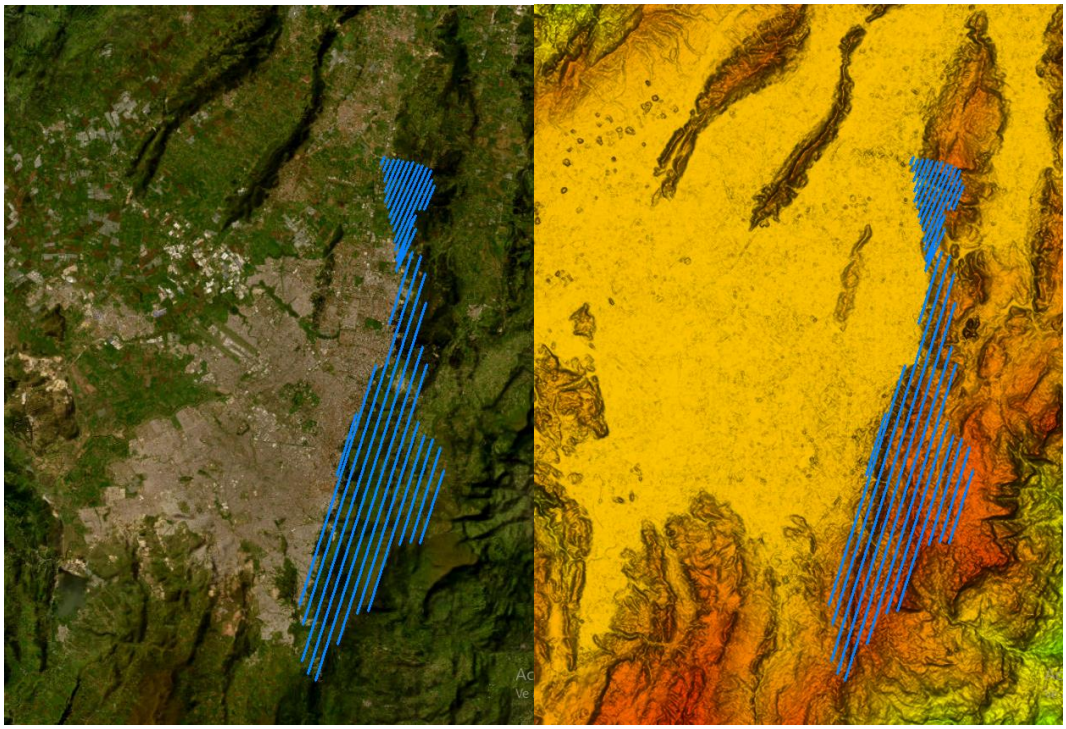


Figura 13. Coberturas y Ejes de vuelo Cerros Orientales

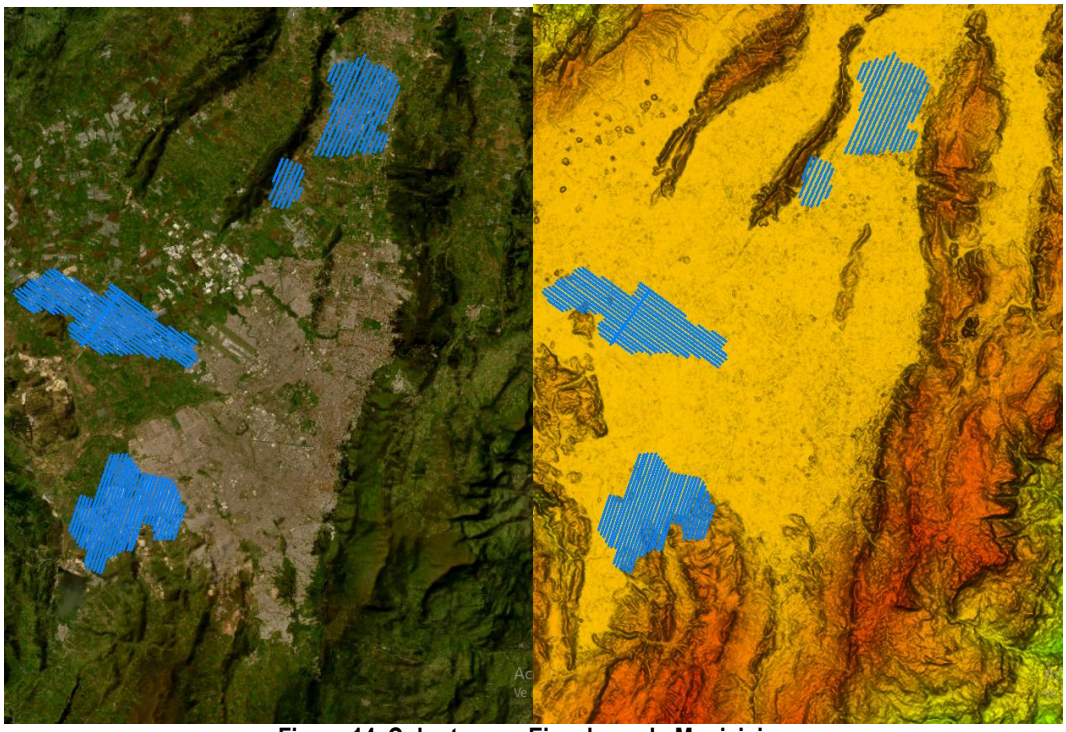


Figura 14. Coberturas y Ejes de vuelo Municipios

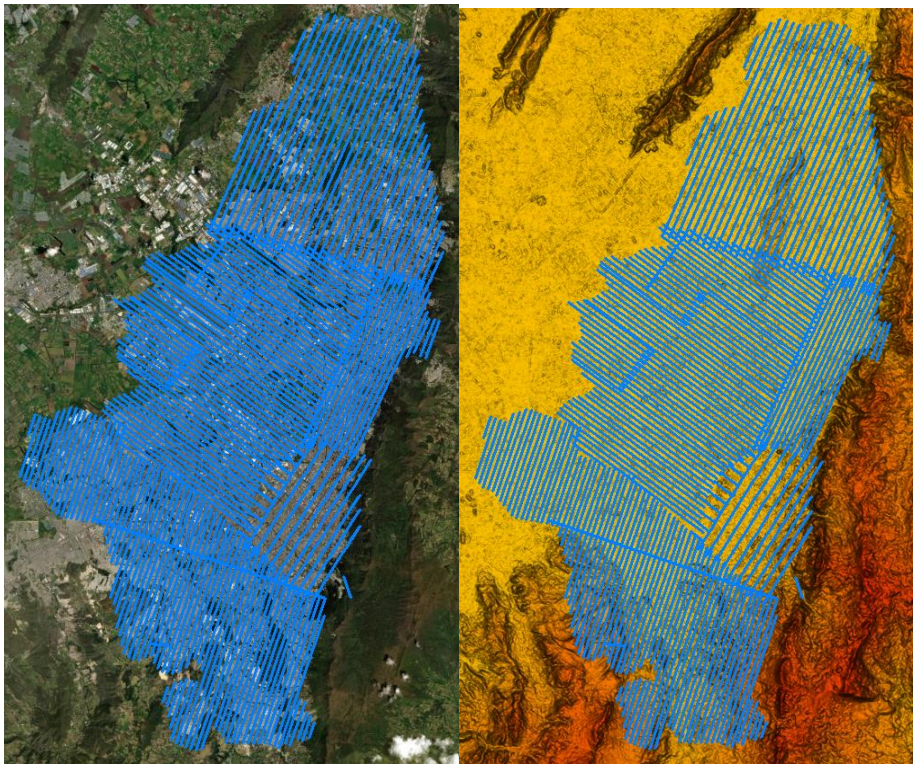


Figura 15. Coberturas y Ejes de vuelo Bogotá

9.4. MONTAJE Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO Y LIDAR

Se llevó a cabo el montaje e instalación del sistema Riegl VQ580II equipado con cámara digital Phase One iXM-RS 150F en la aeronave de matricula HK4933 y la Cámara Phase One IXA-R 180Mp y el sensor Riegl VQ 480i de 400KHz en el helicóptero Hughes fue realizada por personal técnico de la empresa en instalaciones localizadas en el aeropuerto.

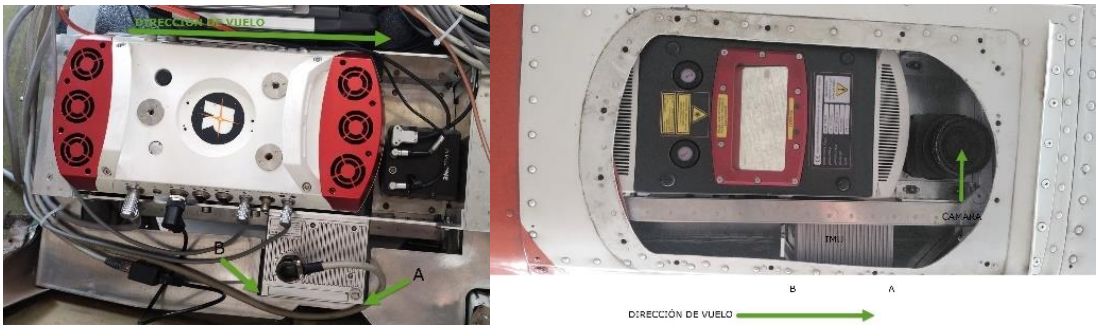


Figura 16. Instalación Riegl VQ580II y Phase One iXM-RS 150F



Figura 17. Instalación Riegl VQ480I y Phase One IXA-R 180Mp

9.5. TRABAJOS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA INERCIAL – CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR

Los parámetros de calibración del sistema inercial se determinaron mediante comparación entre los giros omega, phi y kappa obtenidos del sistema GPS/INS según su orientación nativa y los obtenidos a través de la Aerotriangulación (AT) del vuelo de calibración

En el caso del sensor LiDAR, se hacen necesarias calibraciones frecuentes, con el fin de corregir la desalineación entre el sensor y el sistema inercial, ya que esta desalineación provoca un registro erróneo de los datos. La desalineación del sistema inercial con respecto a la óptica del escáner es descrita por los parámetros “Roll”, “Pitch”, “Heading”. Además de este desajuste angular, el procedimiento de calibración implica el cálculo de una constante de torsión de rotación del espejo del sensor y una compensación en cota debida a errores electrónicos/mecánicos internos del propio equipo y a la influencia de la atmósfera sobre la trayectoria del haz. La calibración del sensor LiDAR se realiza siguiendo el procedimiento establecido por el fabricante del sistema (RIEGL).

Para garantizar la calidad de los parámetros de orientación externa, se realiza de forma periódica y siempre después de la manipulación de la cámara/LiDAR, una calibración del sistema inercial.

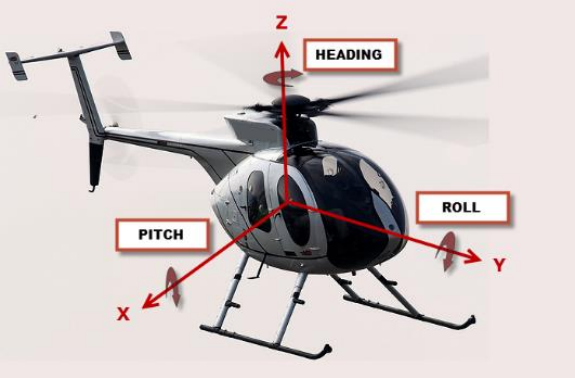


Figura 18. Diagrama giros de la aeronave

Mediante el vuelo de calibración se calcula la desalineación entre el sistema de coordenadas de la IMU y los ejes de cada sistema. Estos parámetros se obtienen mediante la realización de un vuelo de calibración diseñado expresamente para tal propósito, sobre el campo establecido en la zona de trabajo.

De forma general, se realiza la calibración del sistema inercial para cada combinación cámara/aeronave en los siguientes momentos:

- Previa al inicio de los trabajos.
- Después de la manipulación de la Cámara/LiDAR (cambio de aeronave, cambio de lentes de la cámara, etc.)
- En el caso de que entre campañas de vuelo haya transcurrido un intervalo de tiempo considerable.
- Al final del trabajo en caso de que se estime oportuno.

Para ejecución del vuelo de calibración, se realizaron cuatro ejes de vuelo. Para cada eje se planifico un eje volado en sentido contrario y un eje perpendicular.

El vuelo de calibración del proyecto fue realizado sobre el municipio de Chía.

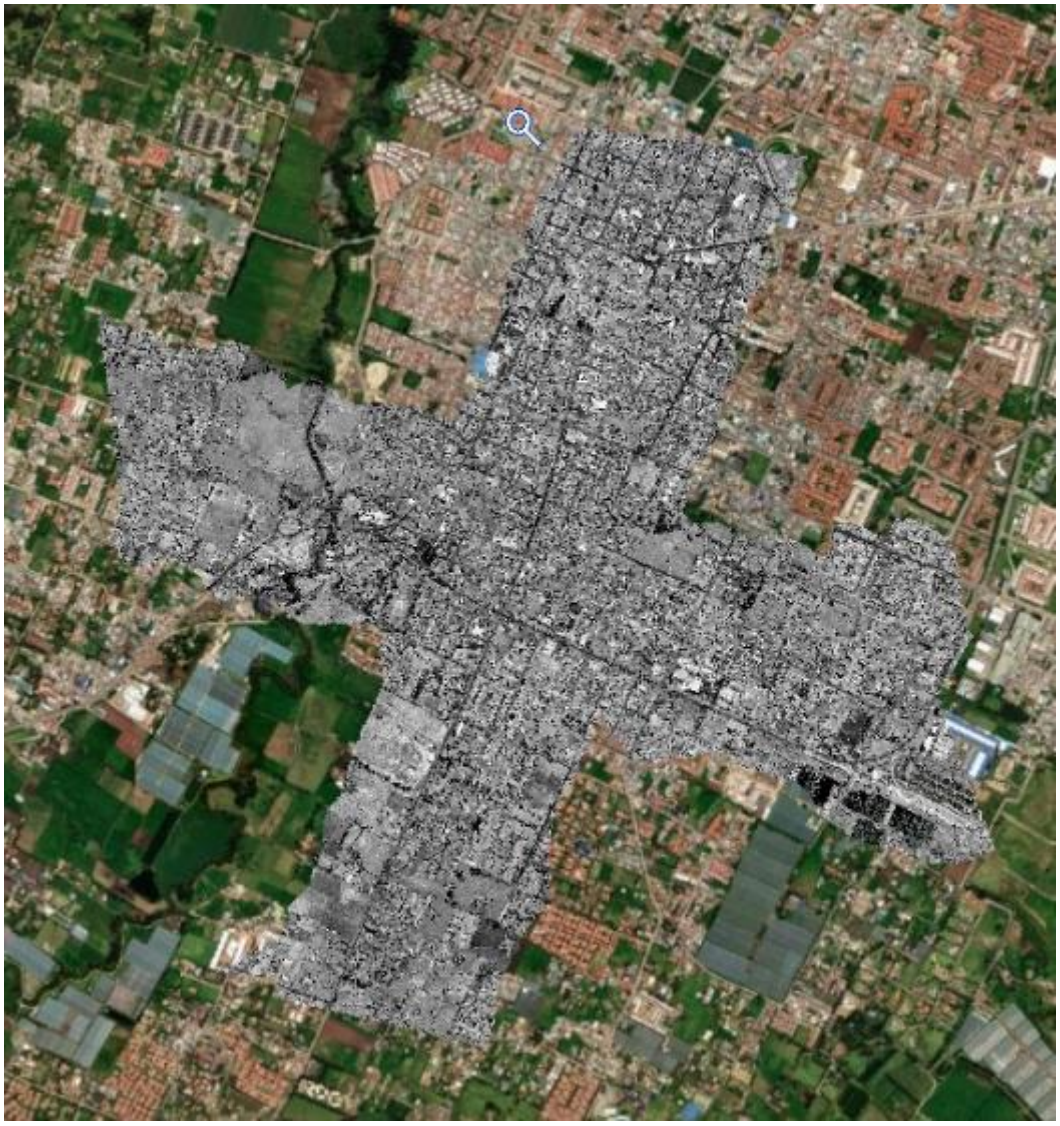


Figura 19. Vuelo Calibración

9.5.1. CÁLCULO DE CORRECCIÓN ROLL, PITCH Y HEADING

El proceso de ajuste a la calibración se hace mediante el uso del programa RIPROCESS el cual genera un reporte de alineación inicial el cual es introducido al momento de realizar el proceso de matching de las pasadas individuales.

El programa genera Tie Planes para cada una de las líneas de vuelo y encuentra correcciones generales buscando la mejor solución posible, para la corrección de las desviaciones de la aeronave.

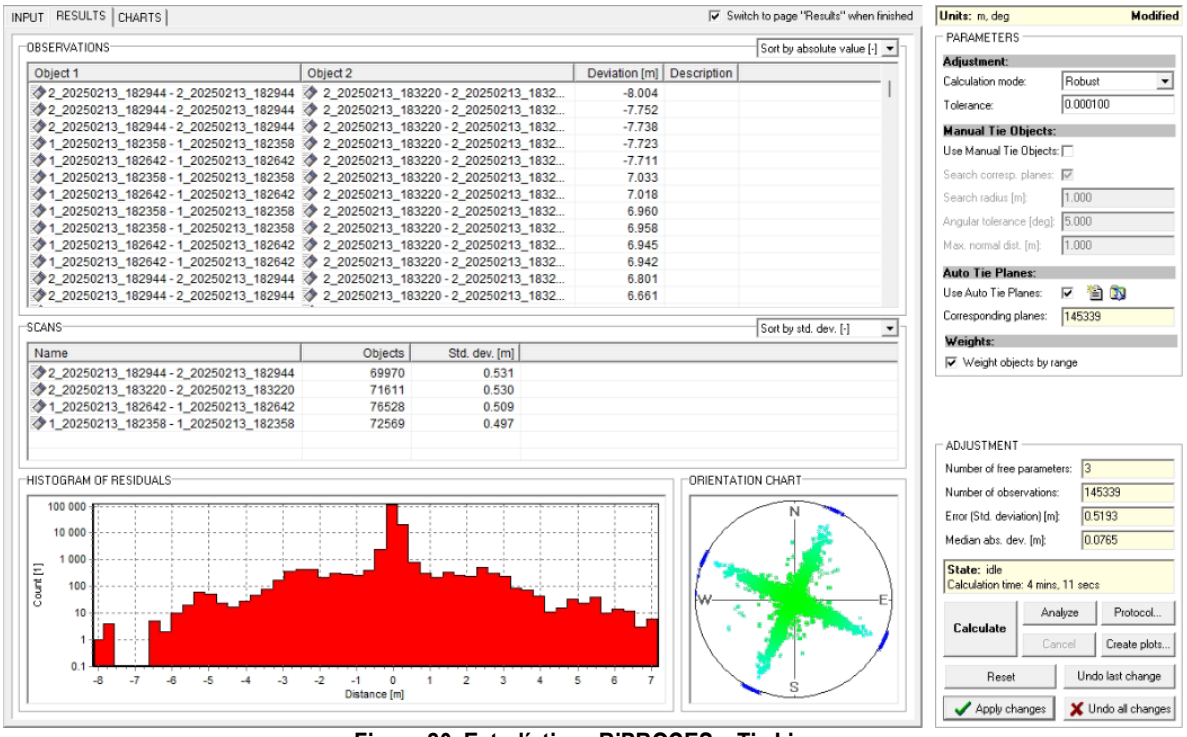


Figura 20. Estadísticos RiPROCES y Tie Lines

Para este proyecto en la calibración se observaron 145339 TiePlanes los cuales permitieron encontrar las correcciones angulares de Roll (0.12401) Pitch (0.07509) y Yaw (-0.11079)

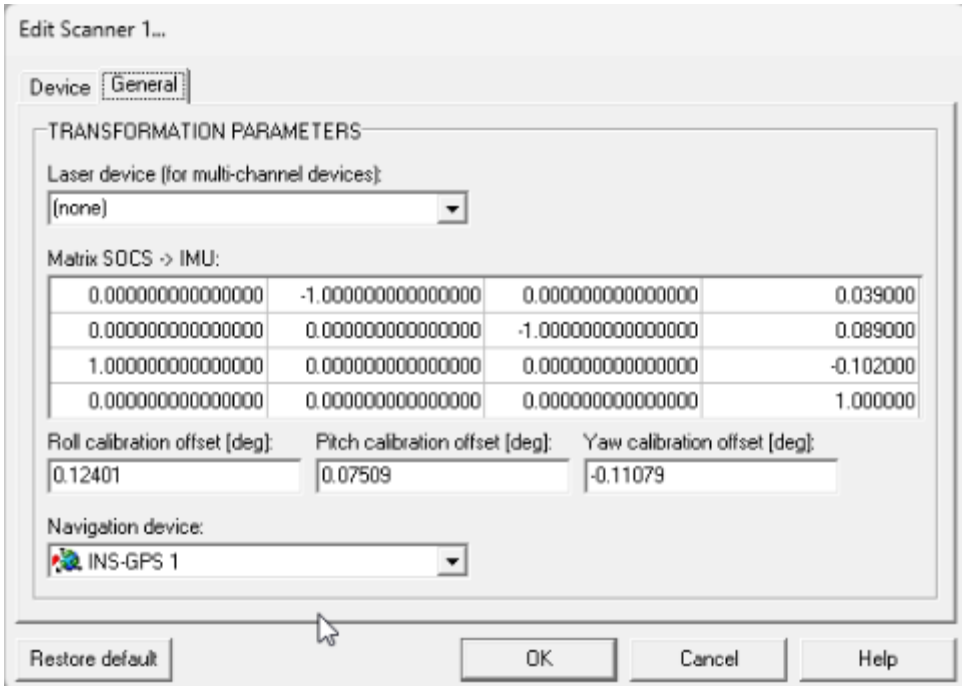


Figura 21. Calibración correcciones Roll, Pitch, Heading

Los valores de la calibración permiten que las líneas ejecutadas sobre el proyecto tengan correcciones internas debido a las desviaciones de la aeronave, lo cual mejora la precisión absoluta de la posición de los elementos y los errores finales del proyecto.

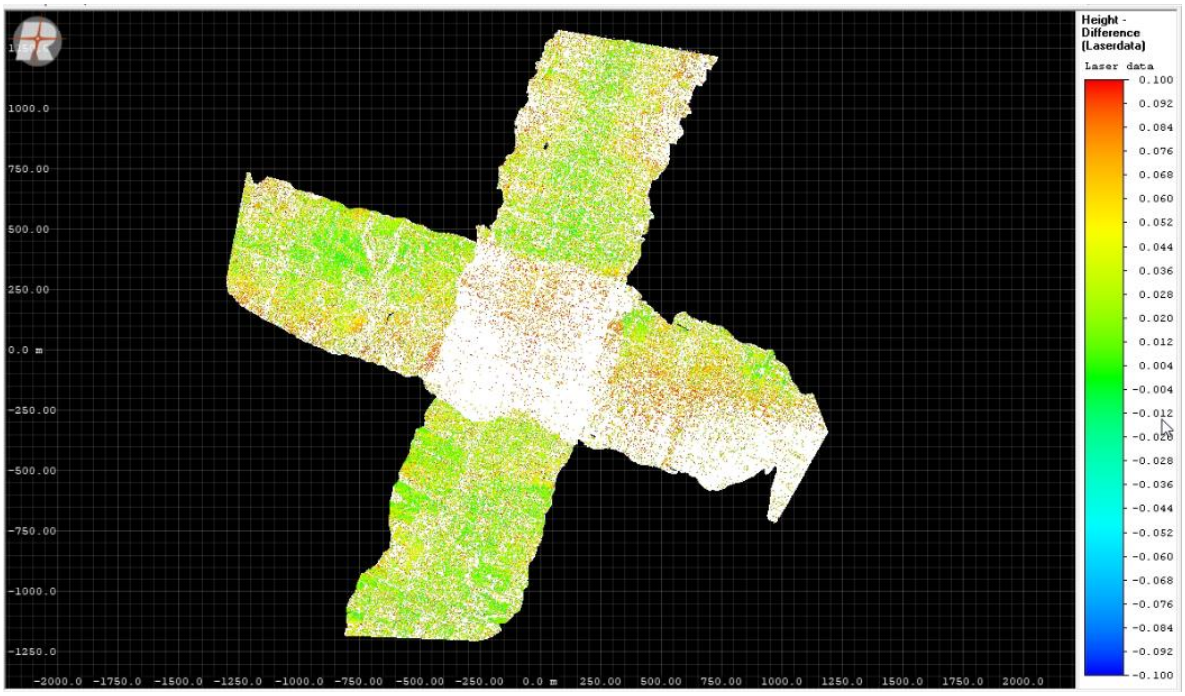


Figura 22. Mapa de sombras calibración

10. EJECUCIÓN DEL VUELO

En este apartado se presenta de forma esquemática el procedimiento seguido en la ejecución del vuelo fotogramétrico realizado.

10.1. RECEPCIÓN DE PLANIFICACIÓN DEPARTAMENTO DE VUELO

Posterior a un último control de calidad de la planificación realizada, el jefe de proyectos envió la planificación y los permisos necesarios al departamento de vuelos, allí los planes de vuelo fueron integrados tanto en el sistema de navegación de la aeronave como en los sistemas de control de la cámara fotogramétrica y LiDAR, quedando disponibles para el momento de ejecución del vuelo.

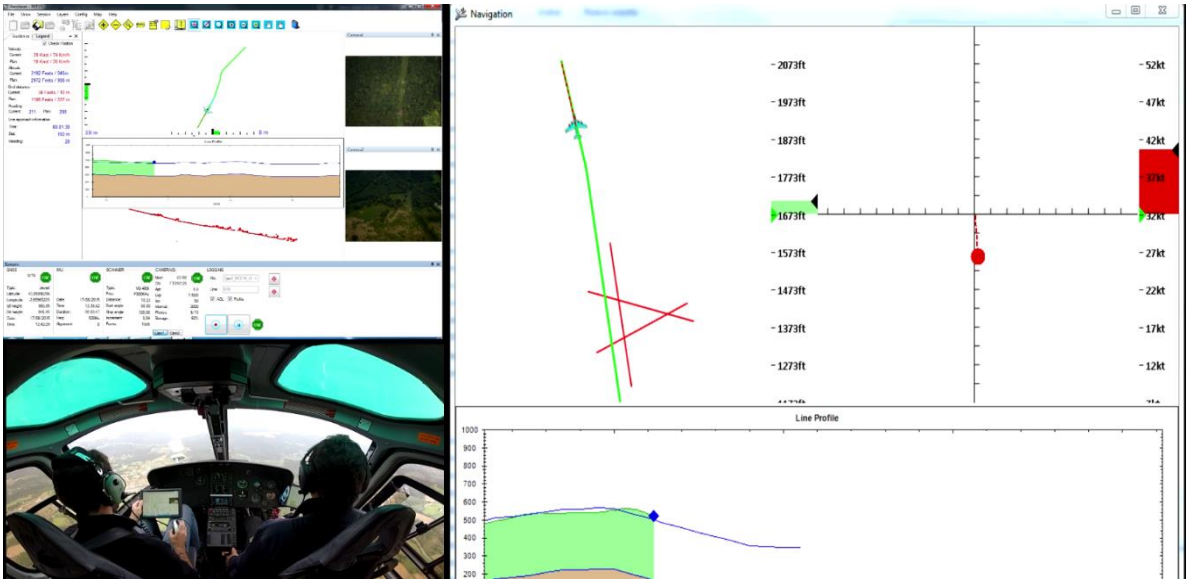


Figura 23. Integración de planificaciones al sistema de navegación de la aeronave

10.2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Dado que la meteorología constituye un factor condicionante, esta fue constantemente analizada con el fin de realizar las operaciones de vuelo en condiciones meteorológicas óptimas para la realización de vuelos fotogramétricos, es decir: Cielo limpio, ausencia de vientos fuertes, ausencia de nubes, brumas, sombras, humo o cualquier elemento que pudiera afectar la calidad radiométrica de las fotografías.

Las incidencias detectadas durante el vuelo son reportadas al jefe de proyectos, quien se encarga de tomar las medidas pertinentes. Los reportes meteorológicos se entregan como un anexo a este informe (Obligación #8).

10.3. COMPROBACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y SISTEMAS

Antes de comenzar cada misión de vuelo se realizan una serie de comprobaciones para garantizar la exitosa realización de los trabajos de captura. Es necesario comprobar que se dispone de toda la información necesaria (Bases de datos de planificación, permisos de vuelo en regla, etc.) y el correcto estado de los equipos fotogramétricos (Cámara y/o LiDAR, Sistemas GPS/INS, IMU, etc.). Así mismo, para garantizar la

seguridad del equipo humano encargado de realizar el vuelo fotogramétrico se realizó una revisión del buen funcionamiento de los sistemas aeronáuticos previa a cada misión de vuelo.



Figura 24. Sistema de Control en vuelo

Durante el vuelo fotogramétrico la tripulación de la aeronave está formada por un piloto y un operador. El operador es el encargado del manejo de la cámara fotogramétrica y el sensor LiDAR, siendo el responsable de comprobar el correcto funcionamiento de todos los sistemas implicados en el vuelo y de anotar en un informe de vuelo cualquier incidencia ocurrida durante el mismo.

10.4. REALIZACIÓN DEL VUELO

Una vez verificado el correcto funcionamiento de los sistemas en la aeronave y el correcto funcionamiento de las estaciones GPS terrestres, se procedió a la realización del vuelo. En este caso las correcciones propias de la toma fotográfica originadas por la ejecución del vuelo se realizarán mediante la unidad de sincronización y control mediante la Aplicación SIGLALASER MISION. Este sistema se encarga de poner en común las informaciones provenientes tanto de la cámara digital-Laser y los sensores GPS e IMU.

En vuelos combinados (LiDAR-Cámara fotogramétrica), la aeronave dispone sobre el fuselaje de dos antenas GPS bifrecuencia, uno de los sistemas GPS conectado al sistema inercial de la cámara digital y el otro al sistema inercial del sensor LiDAR. Ambos receptores captan información sobre la trayectoria desde el momento en que se conectan los motores de la aeronave hasta que se apagan en el aeropuerto de llegada. El sistema GPS de la cámara digital captura asimismo información sobre los eventos de la toma de imágenes. Adicionalmente, con ambas triadas de parámetros (x,y,z) y (ω,φ,κ), calculadas en post-proceso, se conocen

las posiciones de los centros de proyección de las imágenes con gran precisión, en poco tiempo tras el vuelo, del mismo modo se calcula la posición sobre el terreno de cada punto de la nube de puntos LiDAR.

Para garantizar la estabilidad del sistema inercial la aeronave permanece parada al menos cinco minutos antes de despegar y después de aterrizar, durante este tiempo el sistema GPS/IMU almacena datos.

Para este proyecto, los giros registrados fueron compensados en vuelo, reduciendo al máximo los efectos de estos sobre la trayectoria seguida por el centro de proyección de la cámara y el sensor LiDAR.

El producto final de la ejecución de la misión de vuelo es el conjunto de imágenes digitales y/o datos brutos LiDAR, fichero de observaciones GPS e IMU y fichero final de la trayectoria seguida por la aeronave.

Finalizada la sesión de vuelo se realizó el control de calidad mediante la generación de imágenes de intensidad con las cuales se verifica que el dato adquirido cubre la zona objetivo.

10.5. VOLCADO DE LA INFORMACIÓN

Una vez ejecutada la misión de vuelo, se realizó la descarga de datos. Se obtienen los datos de los sistemas GPS/IMU, datos brutos LiDAR e imágenes brutas. Esto datos son almacenados en discos duros externos, realizando una copia de seguridad adicional para su posterior envío a las oficinas centrales de SIGLA, donde se realizará el procesado de la información.

10.6. ENVÍO DE INFORMACIÓN A OFICINA

Finalizada cada misión de vuelo, la información capturada fue enviada a gabinete para su procesamiento. Dicha información está compuesta por:

- Rawdatas. Datos brutos formato 3FR captados por la cámara digital.
- RawLaser. Datos brutos captados con el sistema LiDAR en sistema UTM Zona 18 NORTE
- Base de datos de vuelo (Incluye información sobre el momento de captura de cada imagen, coordenadas de navegación, etc.).
- Datos inerciales GPS/IMU de la cámara digital y del sistema LiDAR.
- Informe de incidencias detectadas por el operador durante el vuelo.
- Thumbnails (Imágenes miniatura de baja resolución).

10.7. CONTROL DE CALIDAD DE CADA MISIÓN DE VUELO EJECUTADO

Al finalizar cada jornada de vuelo se ha realizado un control de calidad, comprobando la integridad de la información capturada durante cada día y sesión de vuelo. En este control se analizaron:

- Integridad de los ficheros de imágenes: comprobando la correcta adquisición de las imágenes, verificando el número de imágenes capturadas y su correspondencia con el número de disparos realizados durante el vuelo.
- Integridad de los datos brutos LiDAR:
  - ✓ Se realizó una comparación entre el vuelo ejecutado contra la planificación, a partir del fichero *.txt generado por la unidad de control.
  - ✓ Se analizó la correcta estructura de almacenamiento de datos: una carpeta por cada una de las pasadas registradas secuencialmente.
  - ✓ Se hizo una comprobación análoga para los datos inerciales asociados al instrumento LiDAR.
- Número de satélites disponibles durante el vuelo
  - Ángulos respecto de la vertical durante las pasadas

- Balanceo durante los giros de la aeronave (Que deben ser inferiores a 20º)
- Continuidad en la captura GPS/IMU

Al recibir de conformidad esta información, el jefe de proyecto realizó una revisión de los informes de vuelo y de las imágenes, analizando las incidencias reportadas comprobando la existencia de problemas en cuanto a nubes, clima, deriva, etc. Posteriormente la información recibida es dirigida al departamento de producción donde se realizaron las labores de post-proceso

11. POST-PROCESO PRODUCTO FINAL DE DATOS GPS/IMU Y OBTENCIÓN DE TRAYECTORIAS

Tras recibir en la oficina los datos capturados durante la ejecución del vuelo, se realizó el post-procesado de los mismos. A continuación, se describe los trabajos llevados a cabo para la obtención de la trayectoria y Orientación Externa (OE) de las imágenes digitales y datos LiDAR.

11.1. OBTENCIÓN DIRECTA DE LOS PARÁMETROS DE ORIENTACIÓN EXTERNA

La obtención de los parámetros de orientación externa se realizó en cuatro fases:

- Obtención de la trayectoria DGPS por técnicas diferenciales, es decir, a partir de los datos del GPS y las observaciones simultáneas de la estación de referencia GNSS y posicionamientos en tierra.
- Conocidos de forma previa los parámetros de calibración de los sensores, se calcula una trayectoria integrada que incluye información sobre la actitud de la aeronave incorporando los datos de la IMU.
- Con la trayectoria integrada DGPS/IMU y el registro de eventos, se extraerán los parámetros de orientación externa para cada una de las tomas de Imagen. A estos parámetros de orientación externa se les aplicarán las correcciones locales derivadas de la proyección UTM: convergencia de meridianos en kappa y factor de escala en altura.
- Finalmente se lleva a cabo una fase de interpolación de la trayectoria antes obtenida con los parámetros de orientación externa en el momento exacto de la toma.

Como resultado de estos cálculos se obtuvieron:

- Trayectorias de vuelo para cada día misión de vuelo (Fichero solución procedente del cálculo de trayectoria DGPS/IMU (Archivo *.trj y .txt “)
  - ✓ Coordenadas de los centros de proyección con altitudes elipsoidales.
  - ✓ Ángulos de orientación Omega, Phi y Kappa de cada fotografía.

El procesamiento de la información se realizó inicialmente en el software INERTIAL, programa en el cual se define, calcula y procesa la trayectoria de la aeronave y los fotocentros de las imágenes asociado a la información obtenida por medio del receptor GNSS.

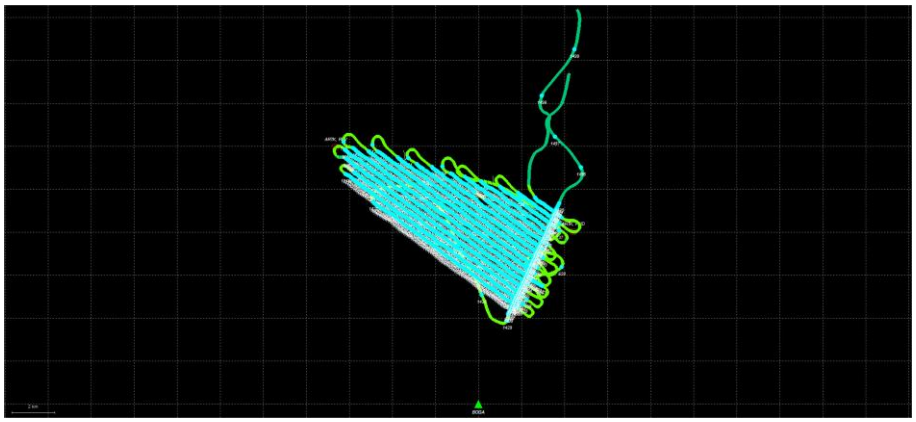


Figura 25. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20250215 Sesión 1

El procesamiento geodésico de la información se realizó inicialmente empleando el método denominado “PPP” (Precise Point Positioning), el uso de esta metodología permite obtener una adecuada precisión posicional de los datos sin contar con información geodésica de estaciones GNSS o puntos de control en terreno preliminares.

Sin embargo, debido a la solicitud del cliente se realizo finalmente el procesamiento de la información utilizando la estación base del IGAC -BOGA- que tiene como localización las siguientes coordenadas:

- Latitud: 4°38'19.26097"N
- Longitud: 74°4'47.81875"W
- Altura Elipsoidal: 2609.69

Los resultados del cálculo GPS/INS fueron sometidos a un control de calidad directo mediante la evaluación de las precisiones resultantes, garantizando precisiones inferiores a 10 cm (X, Y, Z)

El siguiente gráfico muestra el error medio cuadrático posicional en las coordenadas X, Y, Z de la información geodésica del vuelo al ser procesado con estaciones base fueron:

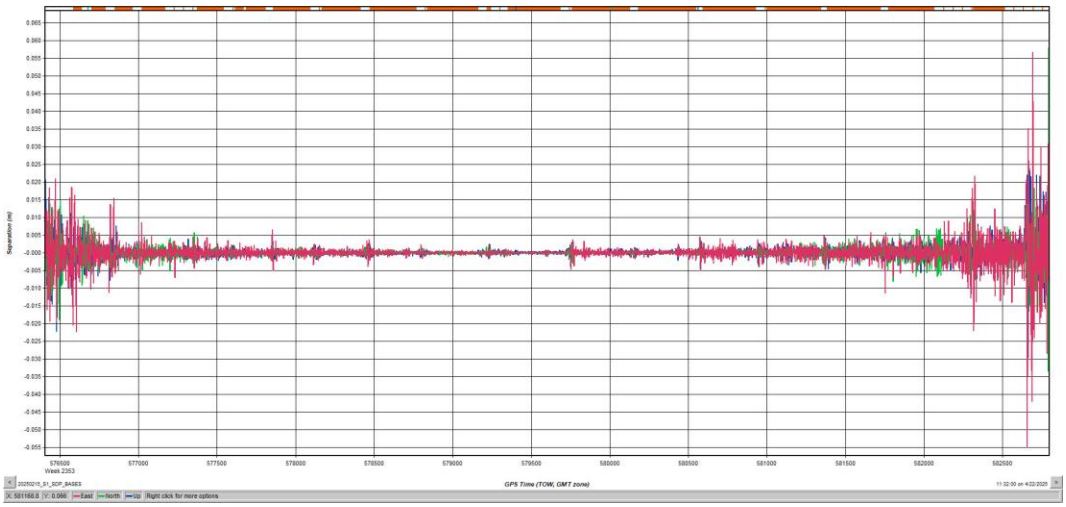


Figura 26.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20250215 Sesión 1

Los errores máximos encontrados el día 20250215 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron inferiores a 0.015m en todas las orientaciones XYZ.

El PDOP (Posicional Diluvian of Precision) hace referencia a la configuración geométrica de los satélites en el momento de la captura de los datos por la antena del receptor GNSS en la aeronave. Si este error se encuentra por debajo de 4 se considera un dato confiable.

Para el vuelo ejecutado el día 20250215 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.79

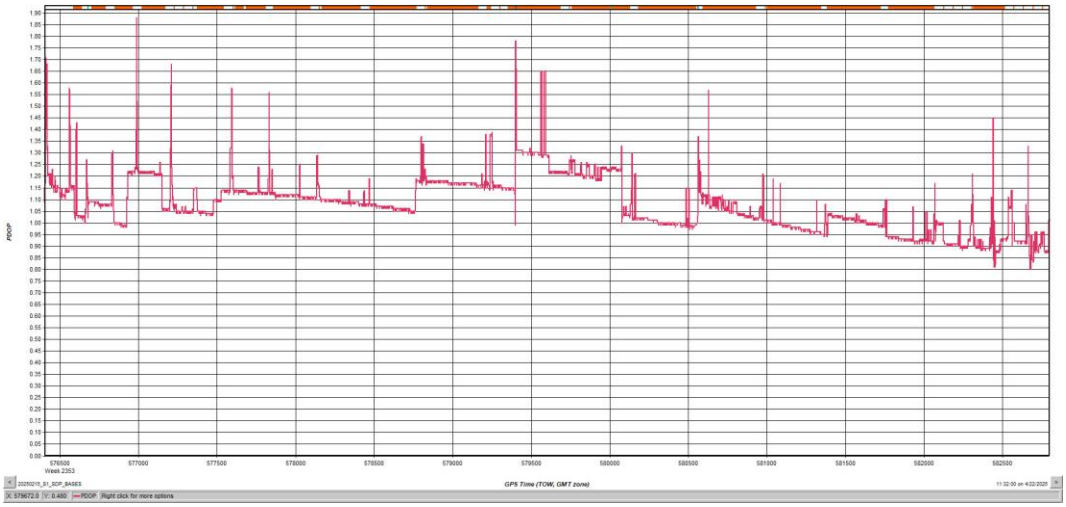


Figura 27. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20250215 Sesión 1

Para el vuelo ejecutado el día 20250215 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 14, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

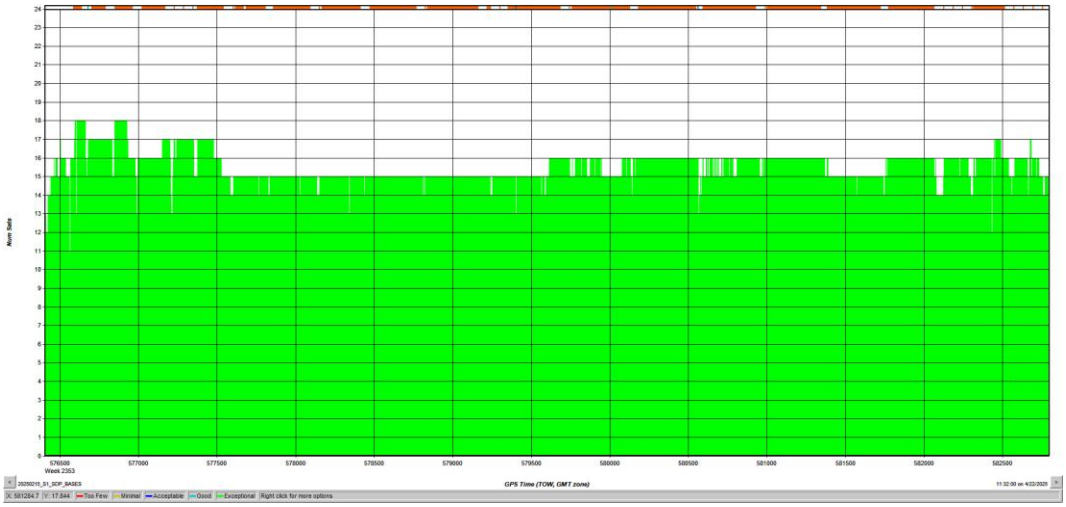


Figura 28.Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20250215 Sesión 1

Este procesado se realizó con cada uno de los días en los cuales se capturaron datos fotogramétricos sobre el área del proyecto.

12. AVANCE DEL PROYECTO

12.1. AVANCE DE LOS VUELOS

Hasta el día 18 de abril de 2025 se ha realizado avance en los vuelos sobre todas las áreas del proyecto, a continuación, se presentan los avances para cada uno de los polígonos.

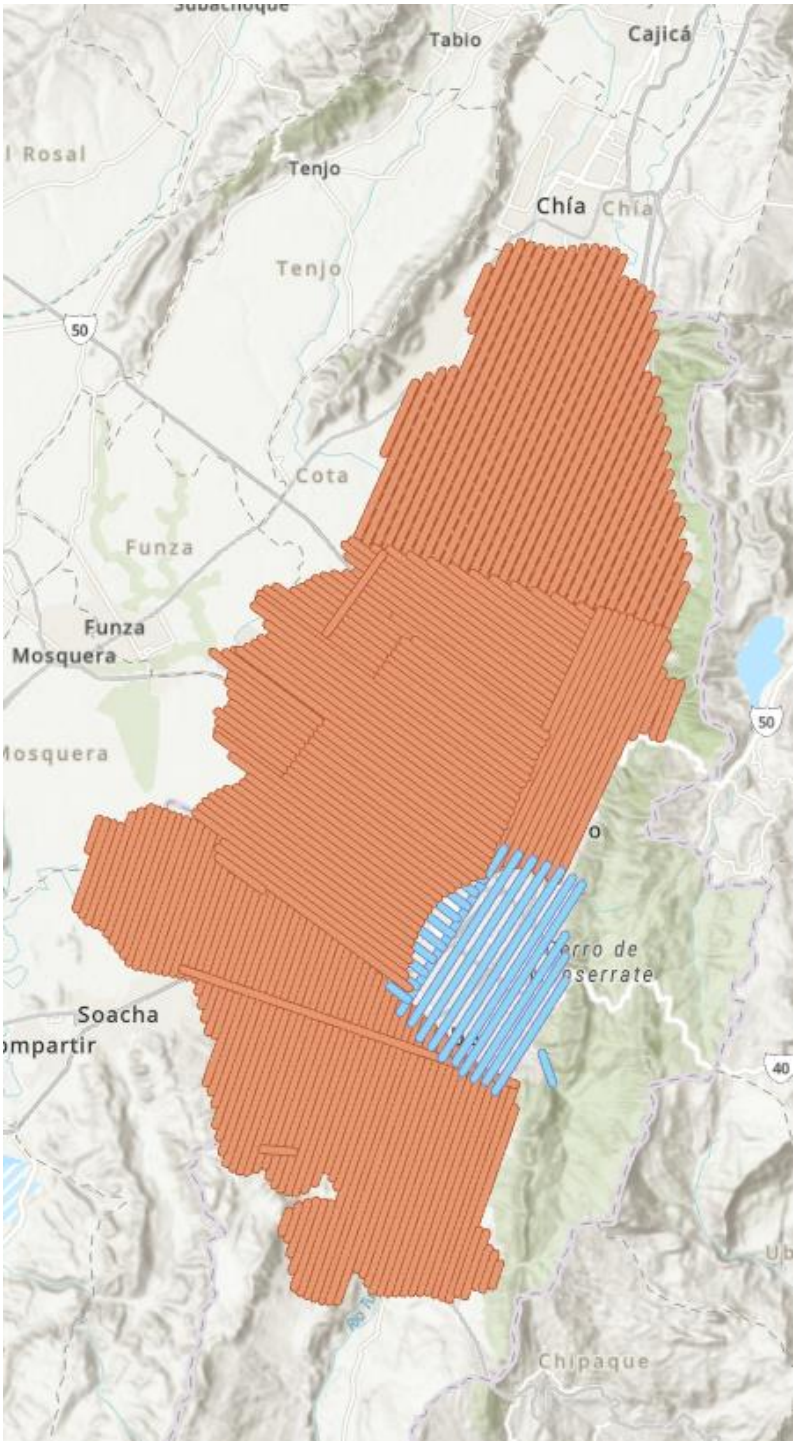


Figura 29. Avance de los vuelos Bogotá

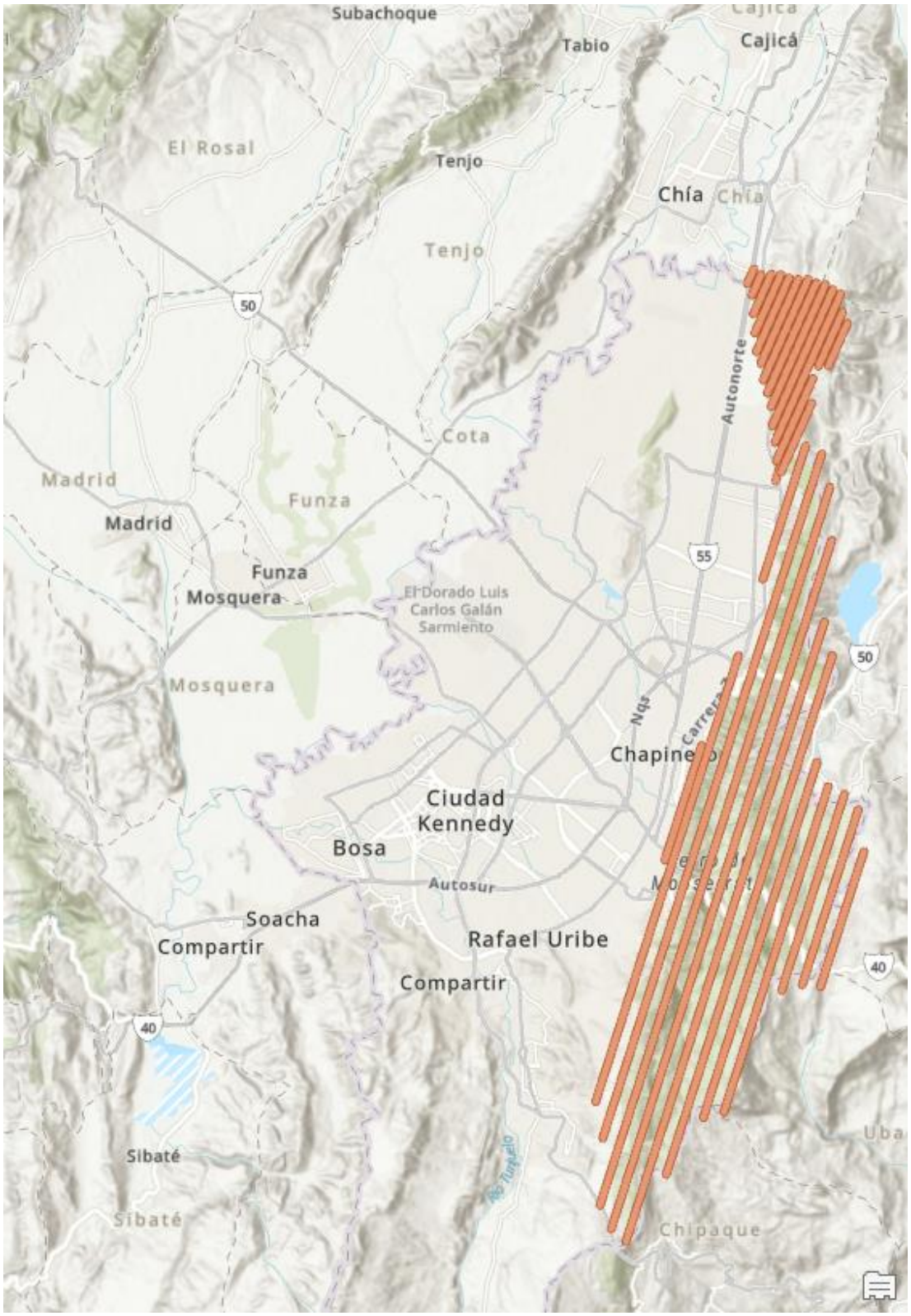


Figura 30. Avance de los vuelos Cerros Orientales

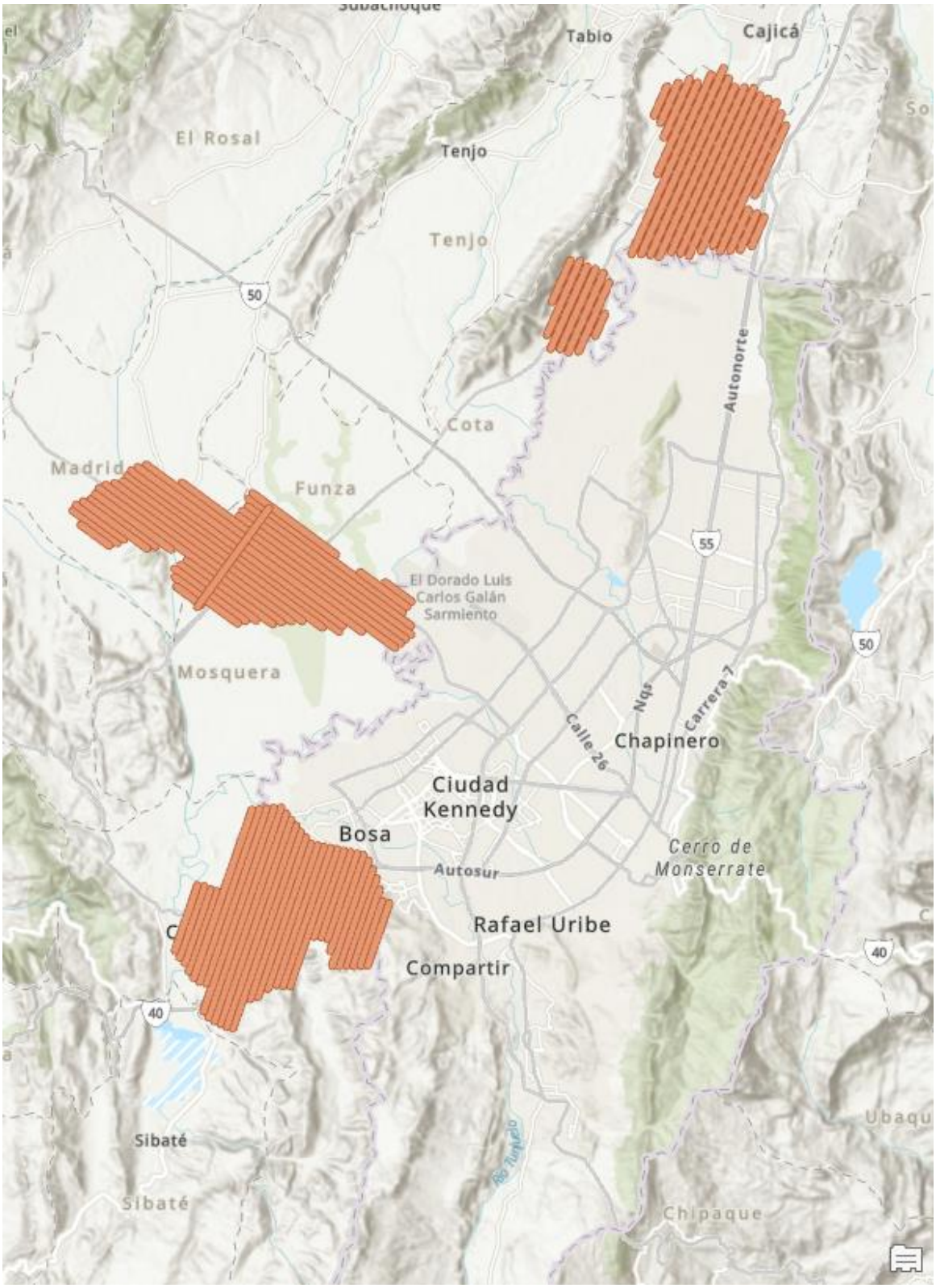


Figura 31. Avance de los vuelos Municipios

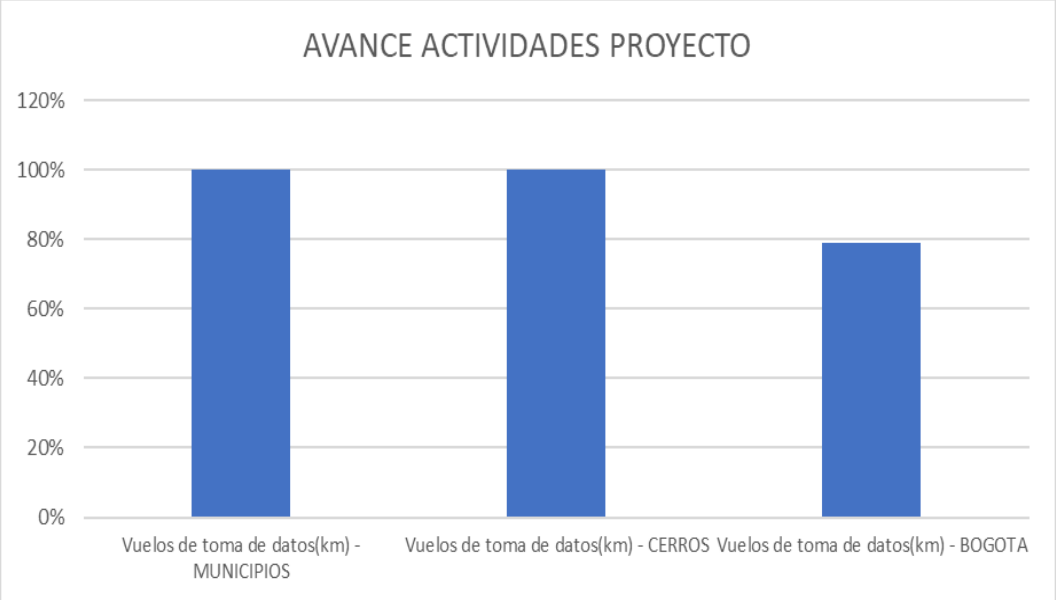


Figura 32. Porcentaje de avance por área de los vuelos

Tabla 6. Avance de los vuelos por área del proyecto

Ítem	Descripción	Cantidad estimada total	6/01/2025-09/01/2025	10/01/2025-16/01/2025	17/01/2025-23/01/2025	24/01/2025-30/01/2025	07/02/2025-13/02/2025	14/02/2025-20/02/2025	11/04/2025-17/04/2025	PORCENTAJE AVANCE 31/03/2025
1	Vuelos de toma de datos(km) - MUNICIPIOS	465,1			115,60		56,70	292,80		100%
2	Vuelos de toma de datos(km) - CERROS	284,70	133,80	150,90						100%
3	Vuelos de toma de datos(km) - BOGOTA	1668				339,70	474,00	396,80	352.7	93,72%
TOTAL		**2284,7**	**133,80**	**150,90**	**115,6**	**339,7**	**530,7**	**689,6**	**352,7**	

Para las zonas restantes de la ciudad de Bogotá se realizó la planificación de los vuelos utilizando una avioneta de placas HK4984, sin embargo, debido a las condiciones meteorológicas las cuales se caracterizaban por lluvias y/o nubes bajas entre el día 21 de febrero y el 28 de marzo no fue posible realizar sobrevuelos en la zona del proyecto. El día 25 de marzo se presentaron condiciones favorables para volar, este día se realizaron dos intentos de ingresar a la zona, pero debido a la proximidad con el Aeropuerto Internacional El Dorado, torre de control ordenaba al piloto retirarse de la zona, imposibilitando la captura de información.

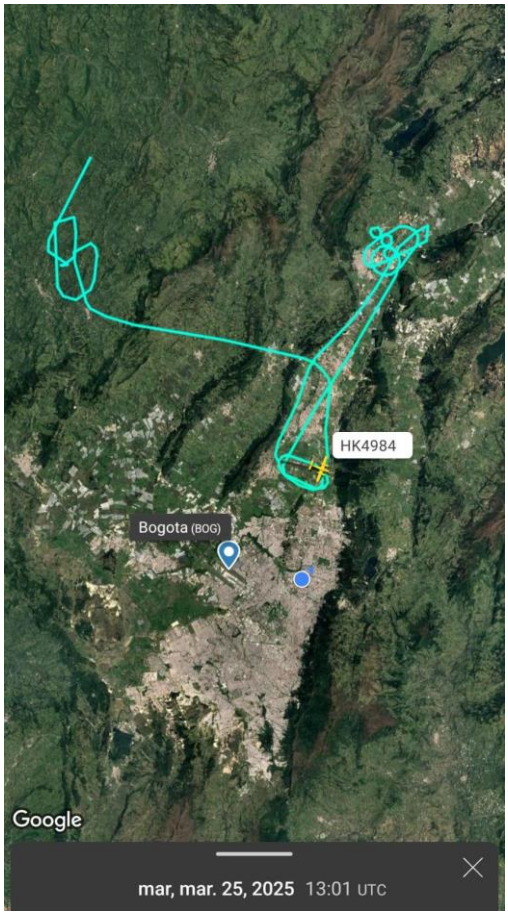


Figura 33. Porcentaje de avance por área de los vuelos

Debido a estas circunstancias, se llevó a cabo una nueva planificación de los vuelos utilizando el mismo helicóptero y montaje utilizado previamente en el proyecto (Montaje 2). Esto ha permitido volar por debajo del techo de nubes y minimizar el riesgo de interferencias con la planificación de los vuelos del Aeropuerto Internacional El Dorado.

Con este nuevo montaje se logro avanzar en la captura de información, actualmente las áreas faltantes corresponden a zonas que se encuentran sobre el área restringida de la casa de Nariño, para lo cual se están solicitando los permisos requeridos a la administración de seguridad para la casa de Nariño y a las autoridades correspondientes.

El día 23 de abril la solicitud radicada a la autoridad responsable de otorgar los permisos de vuelo en el área restringida paso a estado de EN TRAMITE, el día 7 de mayo la solicitud paso a NO AUTORIZADO, por lo cual se iniciaron las averiguaciones pertinentes por parte del operador de la aeronave para obtener los permisos.

Es posible que se acorde una reunión con el grupo de seguridad de la casa de Nariño, en la cual se muestre el objetivo de los vuelos, el interés por parte de la administración distrital de obtener la información proveniente de los vuelos aerotransportados y se aclaren las dudas que tengan las personas de seguridad sobre el proyecto. Para esta reunión será importante que asista un funcionario de la SDP para mostrar el interés que existe en realizar los sobrevuelos.

12.2. AVANCE TOPOGRAFIA

Los trabajos de campo dieron inicio el 7 de enero con el apoyo de una comisión de topografía. Se inicia a realizar la captura de datos según los puntos prediseñados en sentido norte – sur siendo los municipios de Chía y Cota los primeros.

El trabajo consiste en realizar la búsqueda de elementos existentes con características de punto para ser determinado con metodología GPS, teniendo en cuenta las principales:

- Visibilidad
- Horizonte despejado
- Seguridad
- Contraste
- Perdurabilidad

Lo anterior permite que los puntos que se escojan sean visibles en las imágenes que se toman con el vuelo combinado LiDAR-Fotogrametría.

Durante el segundo corte se realizó con la georreferenciación de todos los 110 puntos planificados. A continuación, se presenta una imagen con la distribución de los puntos posicionados:

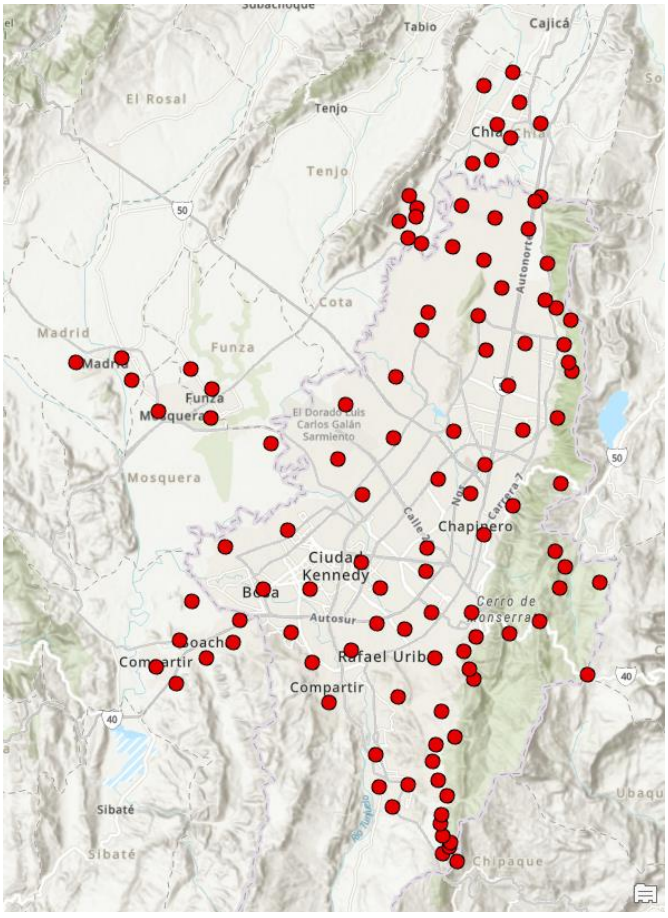


Figura 34. Avance topografía

La georreferenciación se realiza con equipos GNSS doble frecuencia, los tiempos de rastreo son calculados según lineamientos normativos del IGAC, mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$K=25min + (5*D)$$

- K= tiempo de rastreo
- D=Distancia entre el punto y la base más lejana.

A continuación, algunas imágenes de los trabajos:



Figura 35. Puntos de fotocontrol

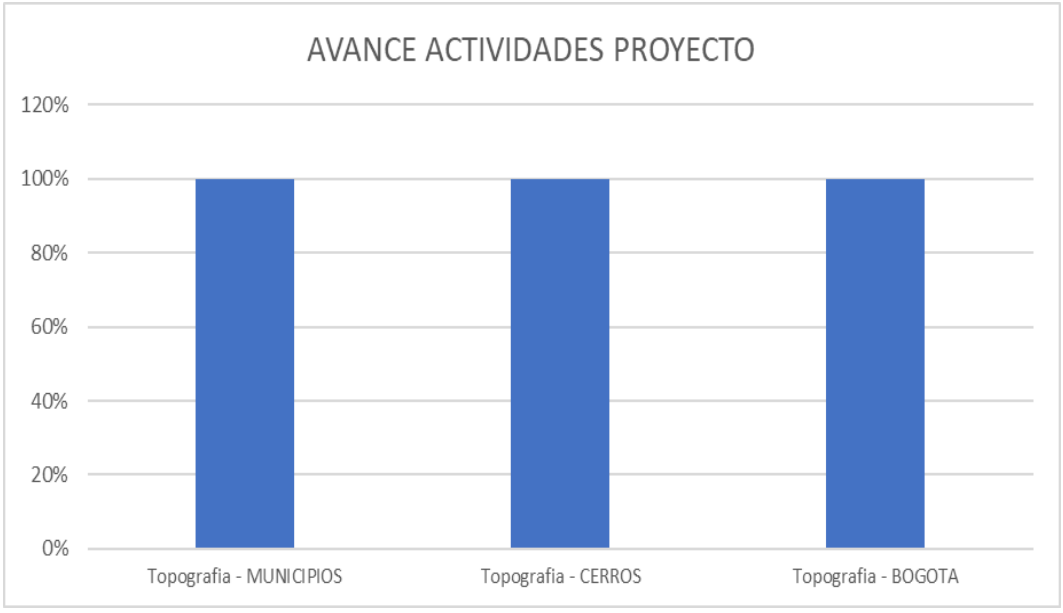


Figura 36. Porcentaje de avance por área topografía

Tabla 7. Avance topografía por área del proyecto

Ítem	Descripción	Cantidad estimada total	6/01/2025-09/01/2025	10/01/2025-16/01/2025	17/01/2025-23/01/2025	PORCENTAJE AVANCE
1	Topografía - MUNICIPIOS	28	13	15		100%
2	Topografía – CERROS	31		7	24	100%
3	Topografía - BOGOTA	51	10	25	16	100%
		110	**23**	**47**	**40**	

12.3. AVANCE PROCESADO DATOS

Actualmente se ha realizado el procesamiento básico de toda la información capturada durante los vuelos fotogramétricos realizados hasta la fecha.

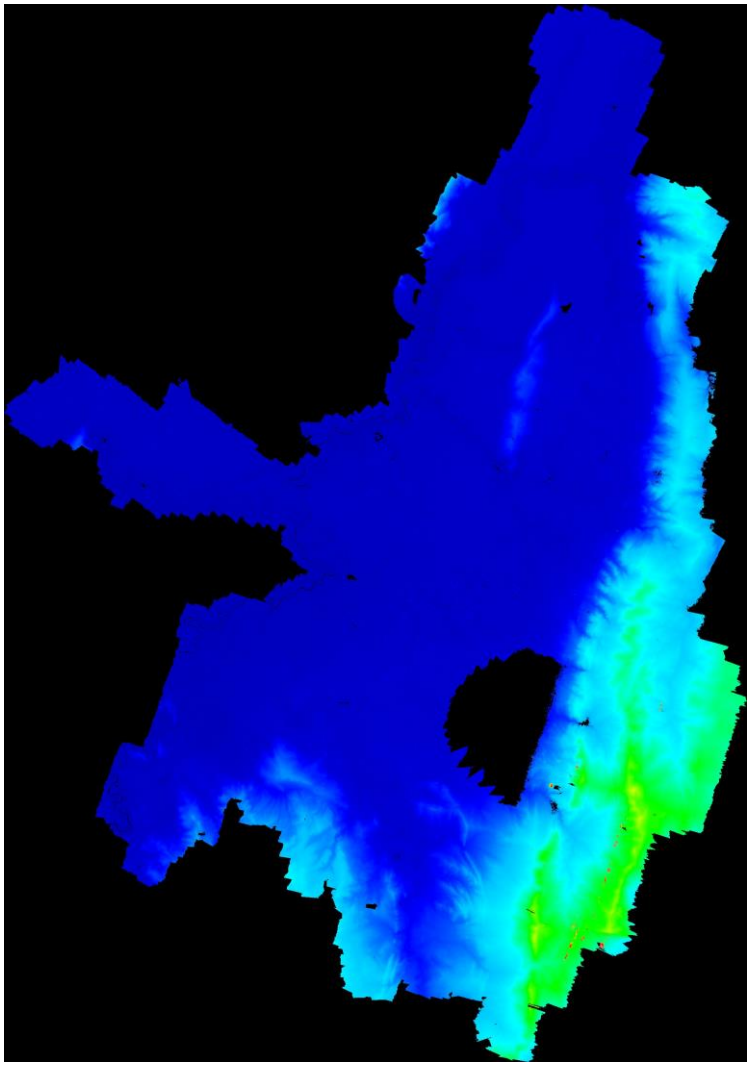


Figura 37. Datos LiDAR procesados

Para los municipios de Chia, Cota, Funza, Madrid, Mosquera y Soacha se ha realizado la clasificación de los datos LIDAR, aplicando algoritmos de clasificación que serán refinados mediante clasificación de datos manual mediante personal técnico capacitado para estas actividades.

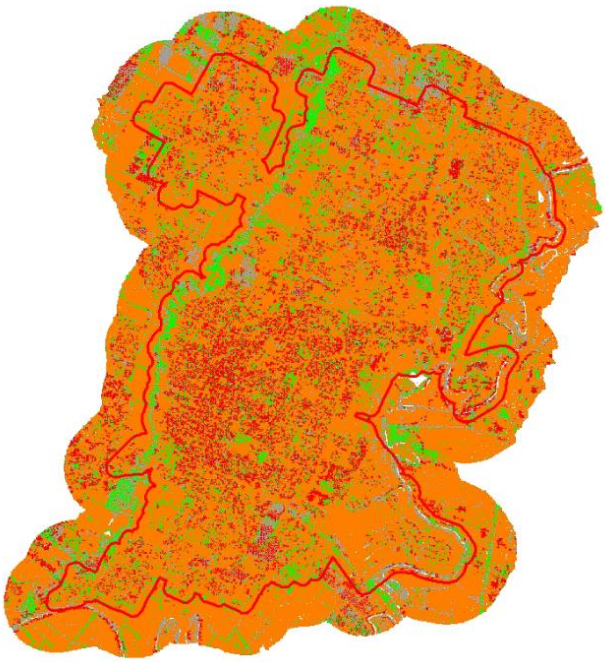


Figura 38. Datos LiDAR clasificados Chía

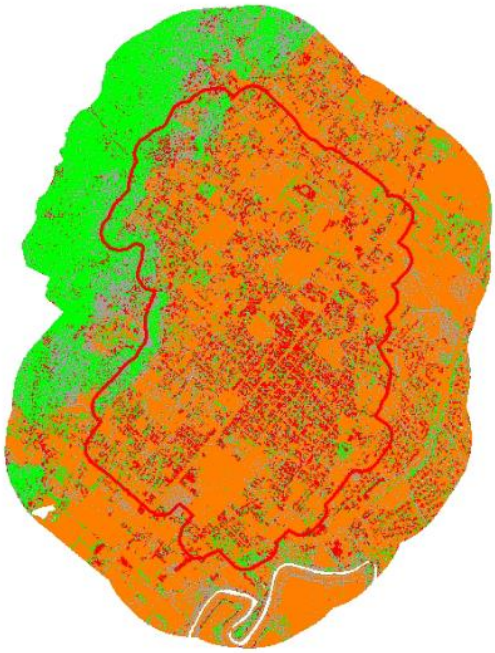


Figura 39. Datos LiDAR clasificados Cota

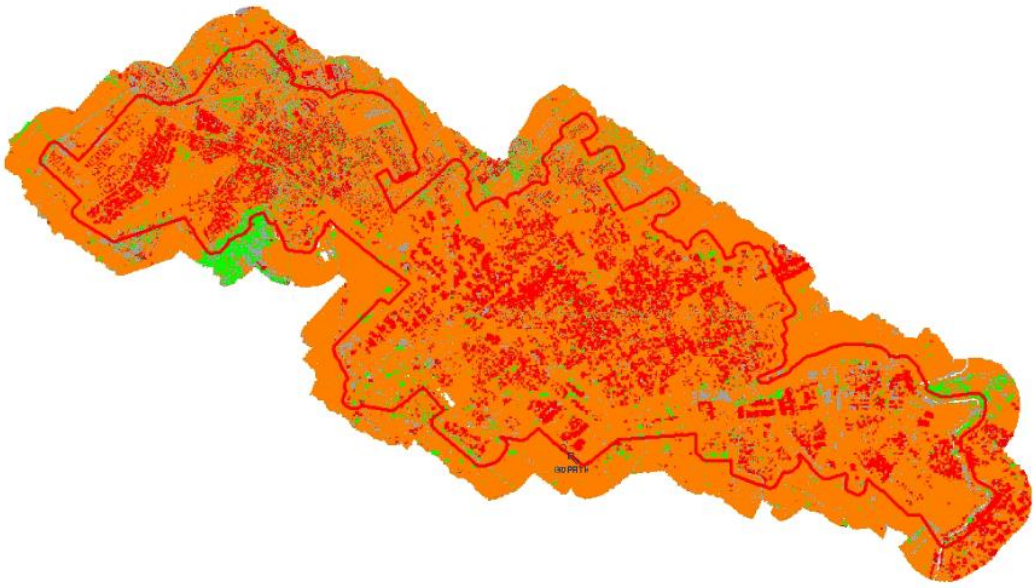


Figura 40. Datos LiDAR clasificados Funza-Madrid-Mosquera

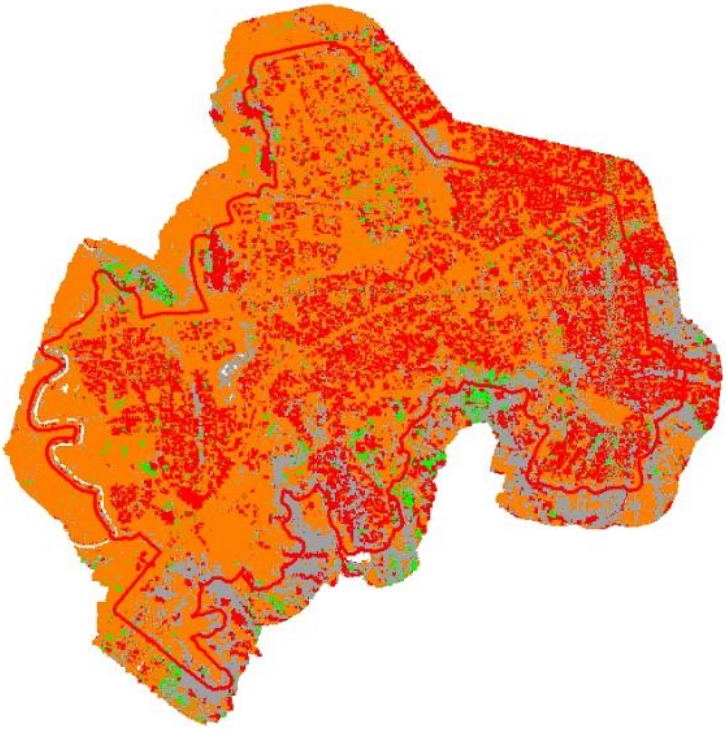


Figura 41. Datos LiDAR clasificados Soacha

También se han ejecutado macros iniciales a los datos procesados con el fin de clasificar los datos de terreno lo cual permite generar una primera imagen del MDT sobre la cual se está trabajando en la generación de los productos para cada una de las áreas de interés del proyecto.



Figura 42. MDT Preliminar

Para el polígono de Cerros Orientales ya se ha generado un Modelo Digital del Terreno final el cual tiene un tamaño de pixel de 10mt acorde a la escala 1:10000 establecida para el área del proyecto.

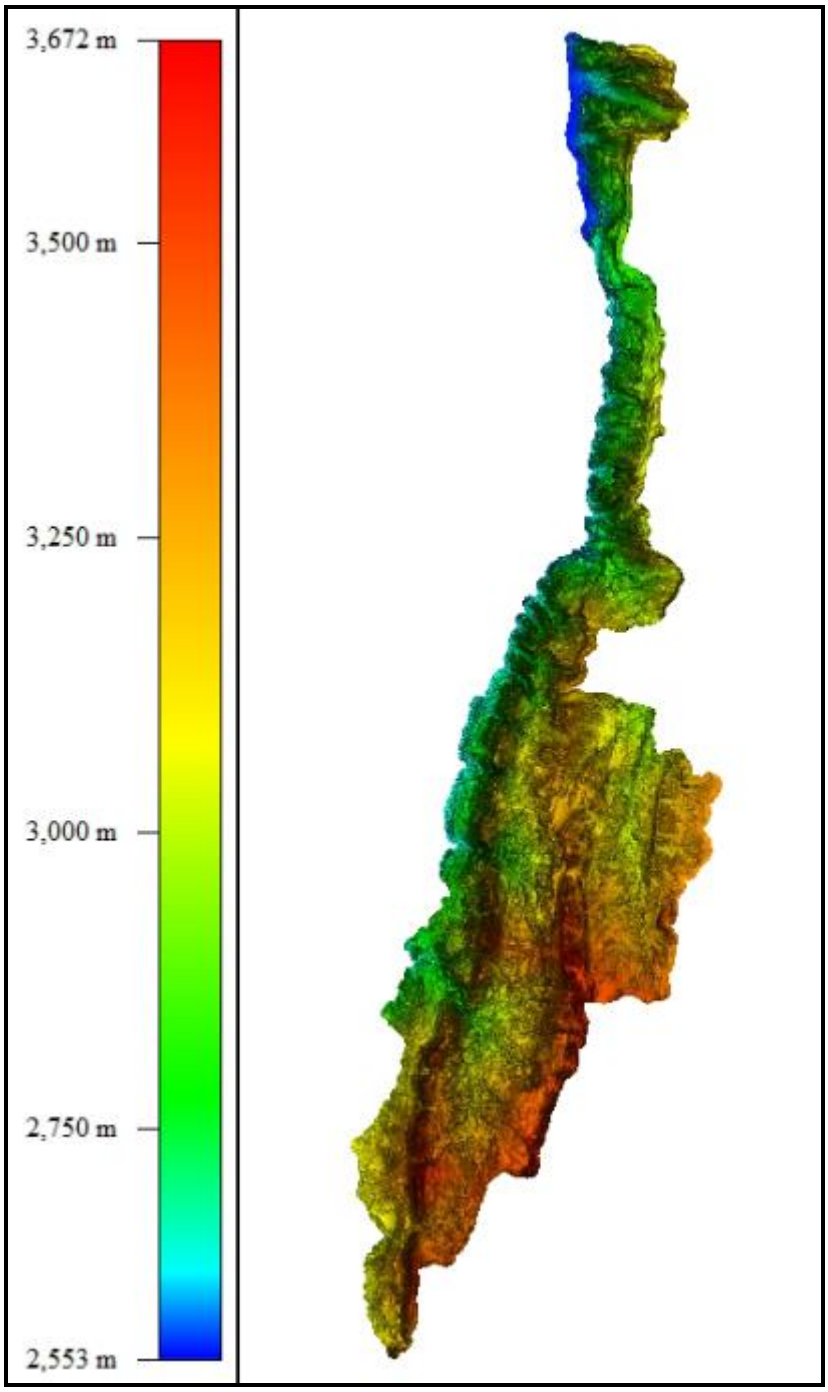


Figura 43. MDT Final Cerros Orientales

Con el objetivo de determinar la bondad del modelo de ajuste local realizado, se ejecutó el control de cotas ortométrico, comparando la nube de puntos LiDAR ajustada al modelo de alturas local con las coordenadas de la red geodésica. Se obtuvo que el error medio cuadrático XY (RMSE) era de 0.238m y para un valor de incertidumbre del 95% XY (NSSDA) es de 0.47m.

Tabla 8. **Estadísticos resultados de ajuste Puntos de Comprobación Cerros Orientales**

ID PUNTO	Coordenadas derivadas del Producto Final				Δz Coordenada Cota (m)
	Coordenada Este (X) (m).	Coordenada Norte (Y) (m).	Coordenada Cota (Z) (m).	Coordenada Cota (Z) (m).	
GCP70	105693.628	120088.901	2566.504	2566.39	0.013
GCP80	100104.605	85321.151	3202.914	3202.64	0.075
GCP81	99327.041	85854.897	3074.162	3074.040	0.015
GCP82	99603.982	86193.374	3159.336	3158.900	0.190
GCP83	99727.992	86570.216	3217.159	3217.34	0.033
GCP84	99255.241	86926.825	3124.302	3124.19	0.013
GCP85	99130.473	87591.028	3100.759	3100.970	0.045
GCP86	99170.154	88070.979	3072.759	3073.050	0.085
GCP87	99396.566	89202.172	3089.046	3089.21	0.027
GCP88	98969.68	90193.24	3102.857	3103.04	0.033
GCP89	98626.763	91290.320	3065.465	3065.530	0.004
GCP90	107975.829	96630.188	3362.936	3363.070	0.018
GCP91	99996.836	92809.493	3143.415	3143.6	0.034
GCP92	100979.448	96153.472	2861.741	2861.96	0.048
GCP93	100881.035	96878.624	2756.071	2756.210	0.019
GCP94	100534.057	97954.224	2756.653	2757.320	0.445
GCP95	101254.185	98760.582	2804.488	2804.53	0.002
GCP96	102677.23	99520.409	3233.81	3234.11	0.090
GCP97	105249.077	99653.922	3268.742	3269.050	0.095
GCP98	105998.231	101980.581	3201.246	3201.340	0.009
GCP99	108504.354	102142.03	3230.434	3230.79	0.127
GCP100	106595.624	102969.252	3113.168	3113.55	0.146
GCP101	105950.075	103932.303	3100.207	3100.380	0.030
GCP103	106249.880	107982.238	3025.253	3025.570	0.100
GCP104	106951.43	114721.115	2940.1	2940.25	0.023
GCP105	106488.562	116331.385	2679.83	2679.79	0.002
GCP106	105924.368	118239.490	2632.298	2632.190	0.012
GCP107	106887.993	118322.577	2829.286	2829.290	0.000
GCP108	105118.495	124975.257	2580.87	2580.82	0.002
GCP109	106761.873	115288.052	2792.627	2792.7	0.005
GCP110	106079.973	111934.719	2687.914	2688.070	0.024
Numero de Puntos de Chequeo					31
Error medio (m)					0.057
RMSE z (m)					0.238
NSSDA Precisión Vertical (z) a 95% de nivel de confianza (RMSEz*1.96)					0.47

Fuente: Elaboración Propia

Esto demuestra la bondad de los ajustes aplicados teniendo valores inferiores a los señalados por la resolución 197 del 2022 emitida por el IGAC, la cual establece que para escalas 1:10000 el error medio cuadrático Z (RMSE) debe ser menor a 3m y un valor de incertidumbre del 95% Z (NSSDA) inferior a 6m.

13. AVANCE PROCESADO DATOS FOTOGRAMÉTRICOS

Actualmente se ha realizado el procesamiento básico fotogramétrico de toda la información capturada durante los vuelos fotogramétricos realizados hasta la fecha.

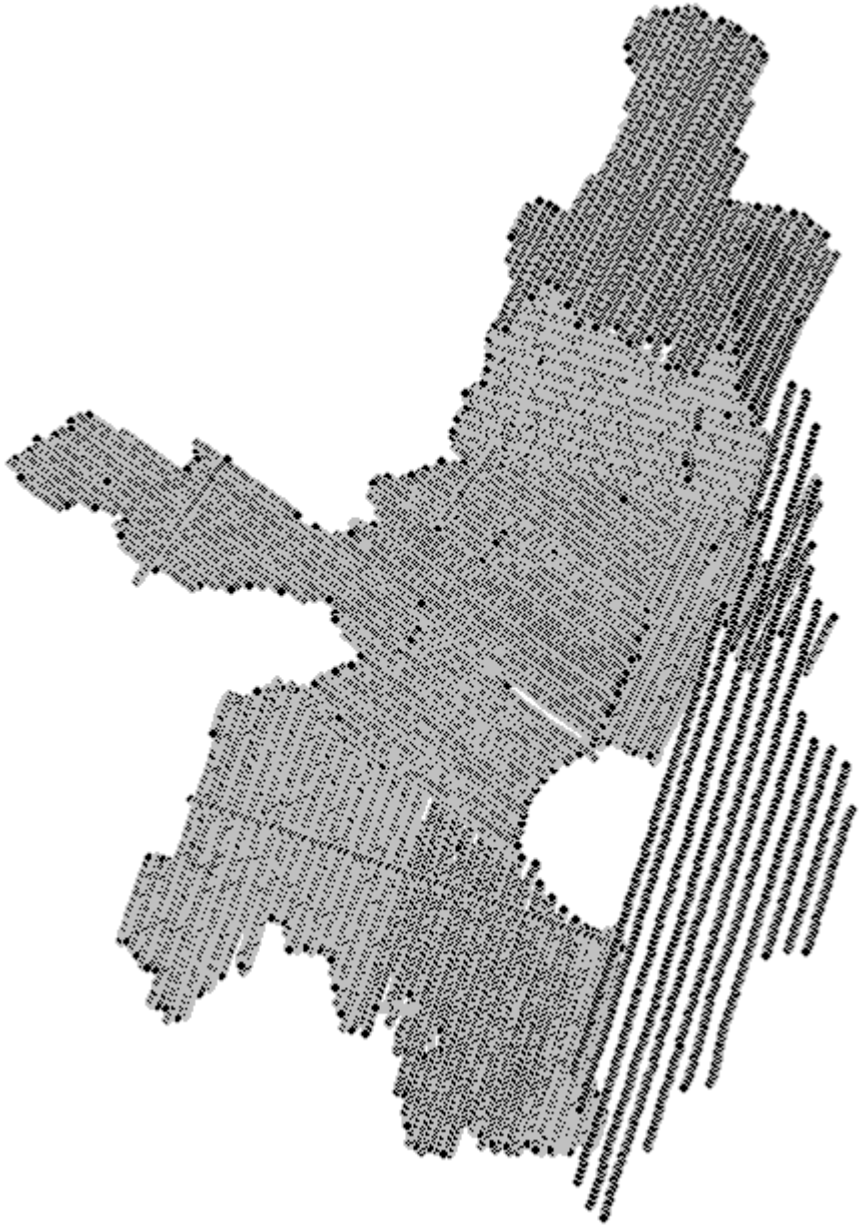


Figura 44. Fotocentros del proyecto

Se está realizando la edición de líneas de costura de los municipios de Chía, Cota, Funza, Madrid, Mosquera y Soacha.



Figura 45. Ortofoto de Chía



Figura 46. Ortofoto de Cota



Figura 47. Ortofoto Funza-Madrid-Mosquera



Figura 48. Ortofoto Soacha

También se han ejecutado la aerotriangulación inicial con el fin de generar de los productos para cada una de las áreas de interés del proyecto.

Para el polígono de Cerros Orientales ya se ha generado la ortofoto del área la cual, tiene un tamaño de píxel de 50 cm. acorde a la escala 1:10000 establecida para el área del proyecto.



Figura 49. Ortofoto de los Cerros Orientales