# 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 5 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 05** |
|---|---|---|
| Tipo de documento: **CONTROLADO** | | Versión: Primera (01) |
| Profesional Topografía | Profesional SIG | Director Soluciones de Ingeniería |
| Jhoan Macias<br>Revisó | Raúl Andrés Valencia Morales<br>Elaboró | JUAN GONZALO<br>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 ..... 12*

*7. PUNTOS O ELEMENTOS EXISTENTES PARA CONTROLES DE CALIDAD RMSE. ..... 13*

*8. CAPTURA DE INFORMACIÓN FOTOGRAMÉTRICA Y LiDAR ..... 16*

*9. PLANIFICACIÓN DE VUELO FOTOGRAMETRICO Y LiDAR. ..... 18*

**9.1. COMPONENTES DEL SISTEMA ..... 18**

**9.1.1. Montaje 1: ----- 18**

**9.1.1. Montaje 2: ----- 19**

**9.2. PARÁMETROS DE VUELO COMBINADO LIDAR/CÁMARA ..... 20**

**9.2.1. Montaje 1 - Cerros Orientales: ----- 20**

**9.2.1. Montaje 1 – Bogotá y Municipios: ----- 21**

**9.2.1. Montaje 2 – Bogotá y Municipios: ----- 22**

**9.3. CONTROLES DE CALIDAD - PLANIFICACIÓN DE VUELO FOTOGRAMÉTRICO Y LIDAR. .. 24**

**9.4. MONTAJE Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO Y LIDAR ..... 26**

**9.5. TRABAJOS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA INERCIAL – CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR 26**

**9.5.1. CÁLCULO DE CORRECCIÓN ROLL, PITCH Y HEADING ----- 28**

*10. EJECUCIÓN DEL VUELO ..... 31*

**10.1. RECEPCIÓN DE PLANIFICACIÓN DEPARTAMENTO DE VUELO ..... 31**

**10.2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA ..... 31**

**10.3. COMPROBACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y SISTEMAS ..... 31**

**10.4. REALIZACIÓN DEL VUELO ..... 32**

**10.5. VOLCADO DE LA INFORMACIÓN ..... 33**

**10.6. ENVÍO DE INFORMACIÓN A OFICINA ..... 33**

**10.7. CONTROL DE CALIDAD DE CADA MISIÓN DE VUELO EJECUTADO ..... 33**

*11. POST-PROCESO PRODUCTO FINAL DE DATOS GPS/IMU Y OBTENCIÓN DE TRAYECTORIAS 35*

**11.1. OBTENCIÓN DIRECTA DE LOS PARÁMETROS DE ORIENTACIÓN EXTERNA ..... 35**

*12. AVANCE DEL PROYECTO ..... 38*

**12.1. AVANCE DE LOS VUELOS ..... 38**

**12.2. AVANCE TOPOGRAFIA ..... 43**

**12.3. AVANCE PROCESADO DATOS ..... 45**

## INDICE DE FIGURAS

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

Figura 38. Datos LiDAR clasificados Chía ..... 46
Figura 39. Datos LiDAR clasificados Cota ..... 46
Figura 40. Datos LiDAR clasificados Funza-Madrid-Mosquera ..... 47
Figura 41. Datos LiDAR clasificados Soacha ..... 47
Figura 42. MDT Preliminar ..... 48

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.Características generales - municipios a capturar ..... 11
Tabla 2. Cantidad de Puntos de control y chequeo a posicionar ..... 13
Tabla 3. Características generales Cerros Orientales (1:5000) ..... 20
Tabla 4. Características generales Montaje 1 -Bogotá y Municipios (1:1000) ..... 21
Tabla 5. Características generales Montaje 2 - Bogotá y Municipios (1:1000) ..... 22
Tabla 6. Avance de los vuelos por área del proyecto ..... 41
Tabla 7. Avance topografía por área del proyecto ..... 45

## 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.

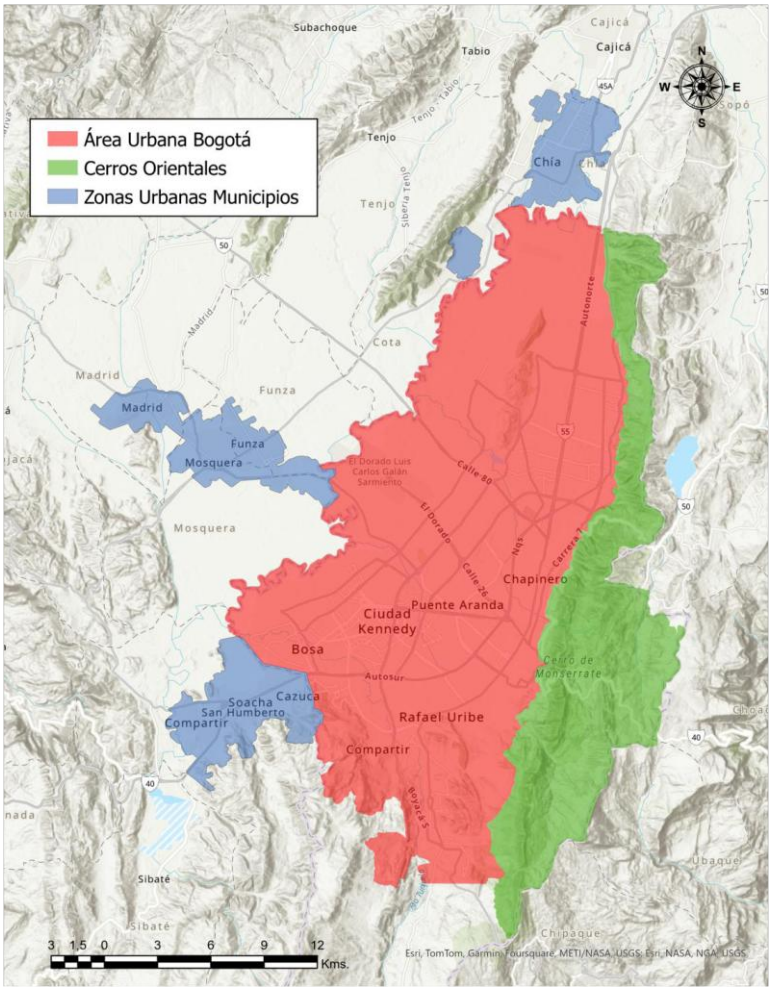



**Figura 1. Localización general del proyecto**

## 6. RESUMEN DEL PLAN DE GESTIÓN DEL PROYECTO

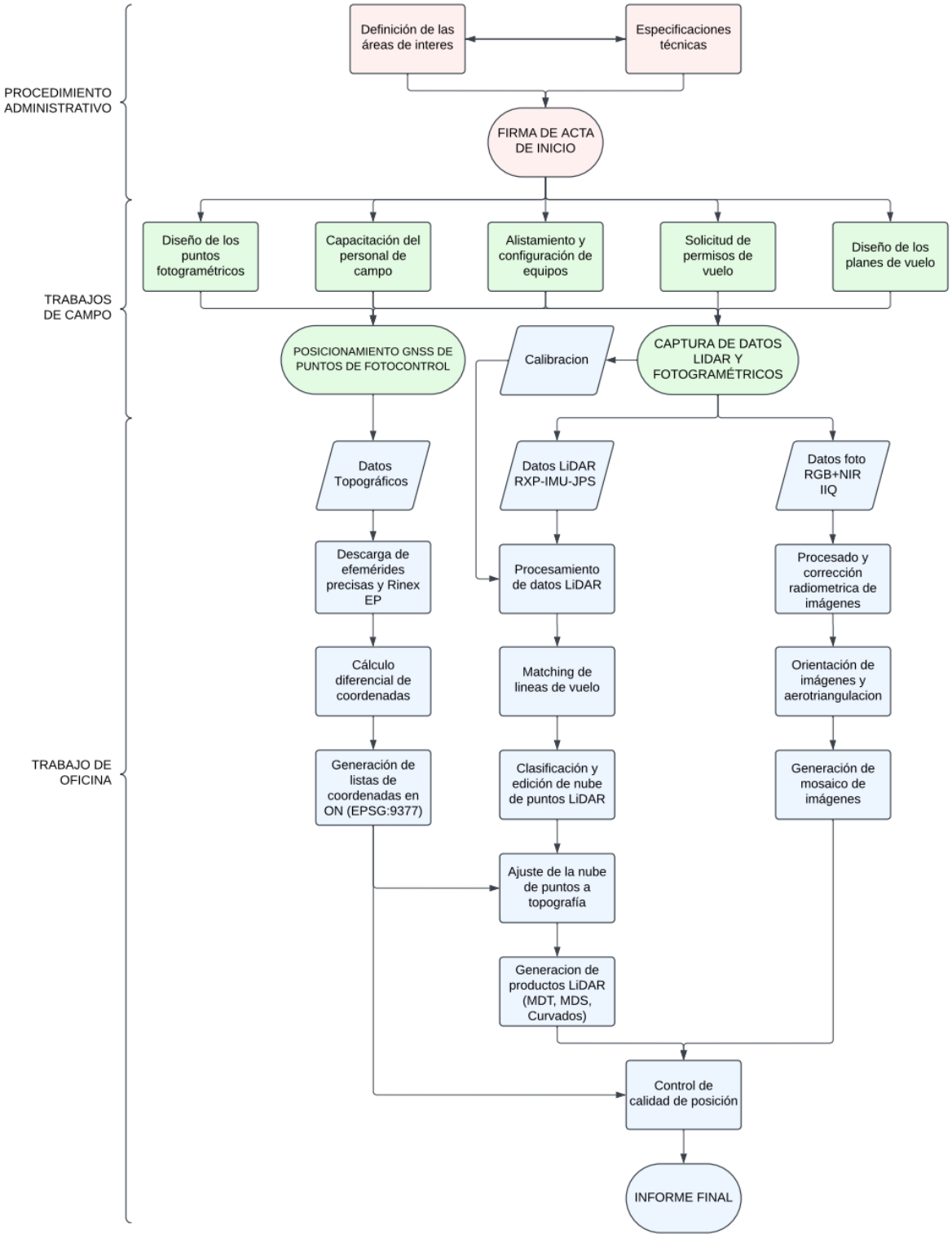



**Figura 2. Plan de gestión del proyecto**

## 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<br>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.

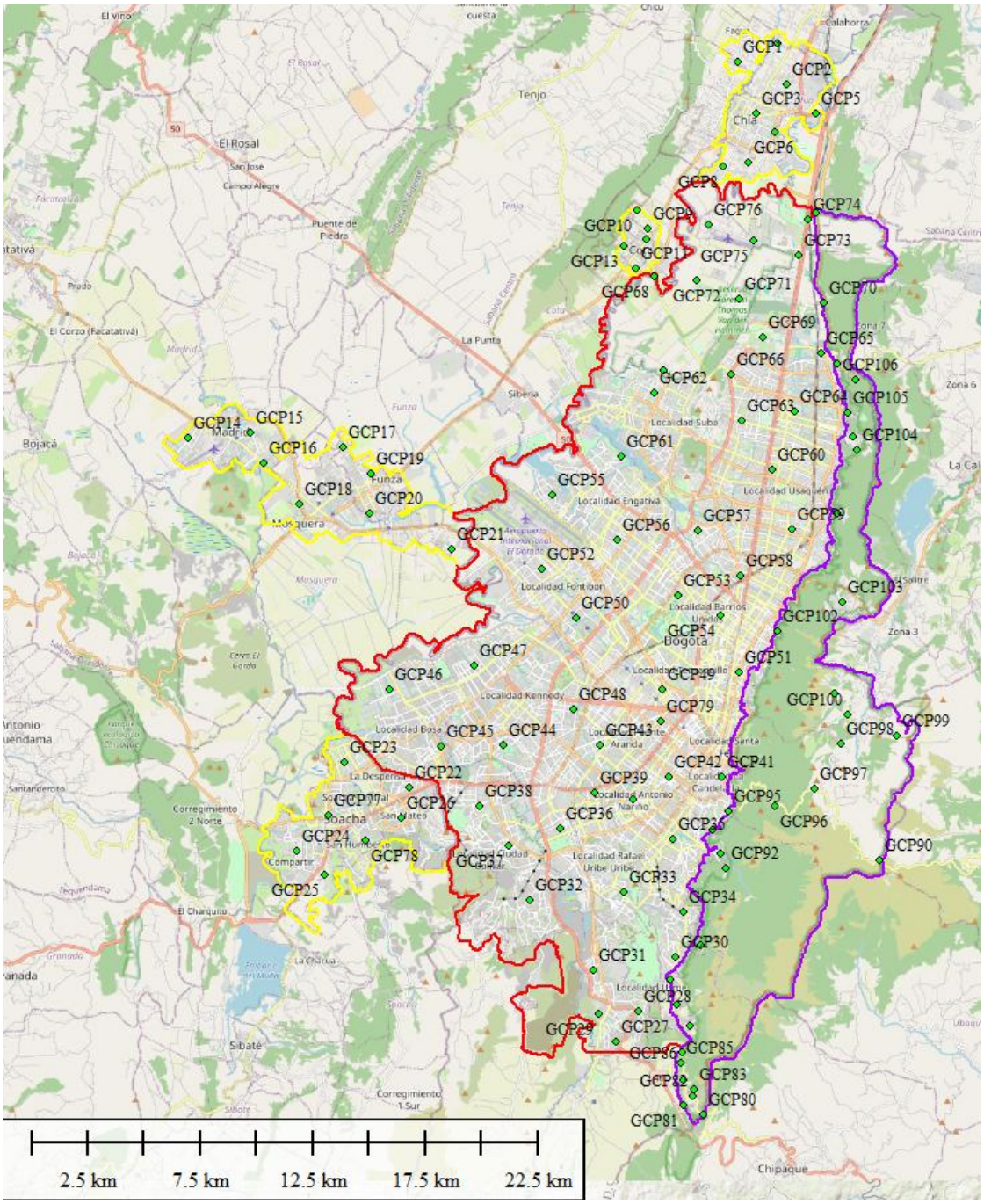



**Figura 3. Prediseño puntos Chequeo y control**



**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.

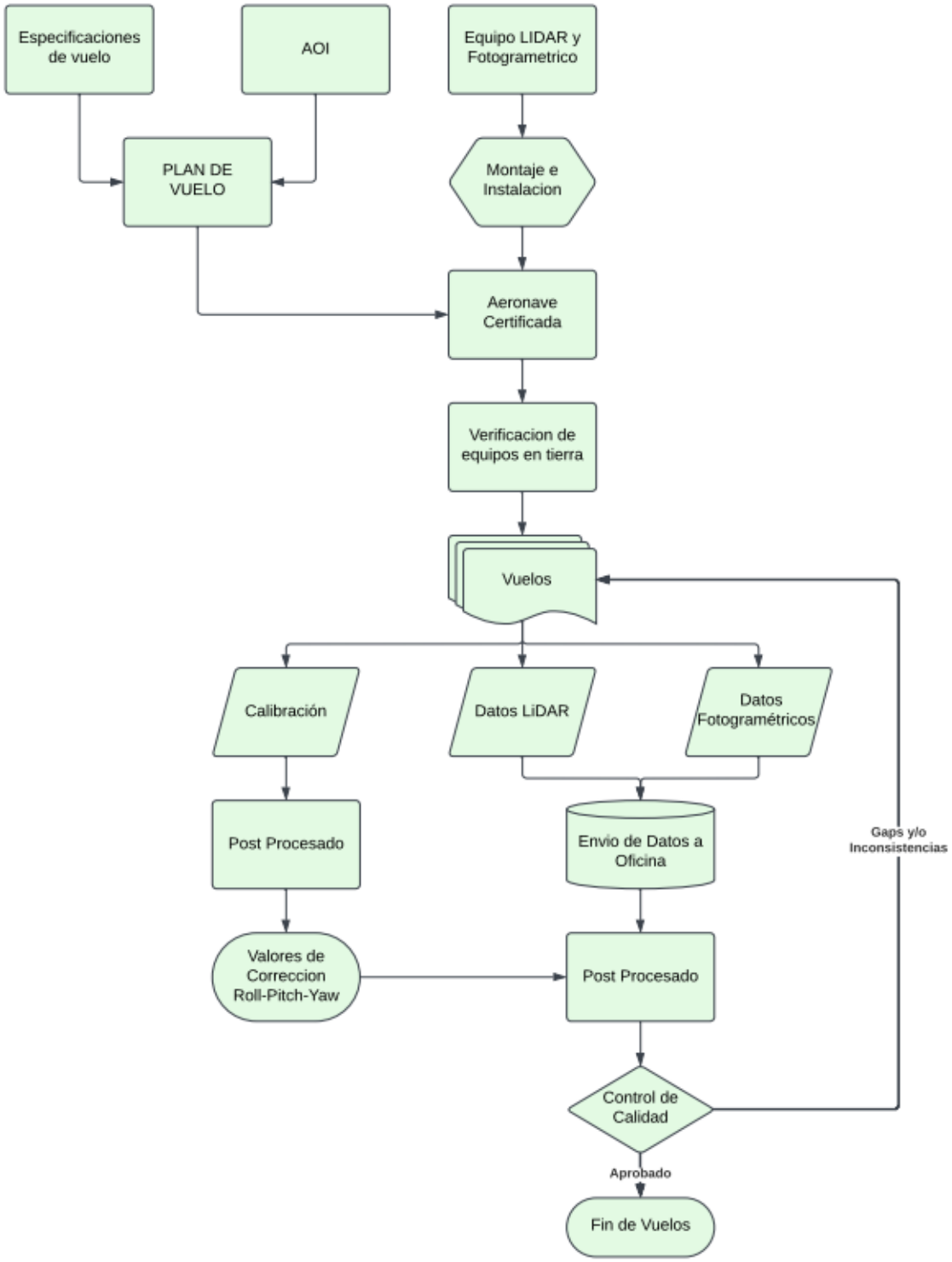



**Figura 5. Flujograma captura de datos Fotogramétricos + LiDAR**

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

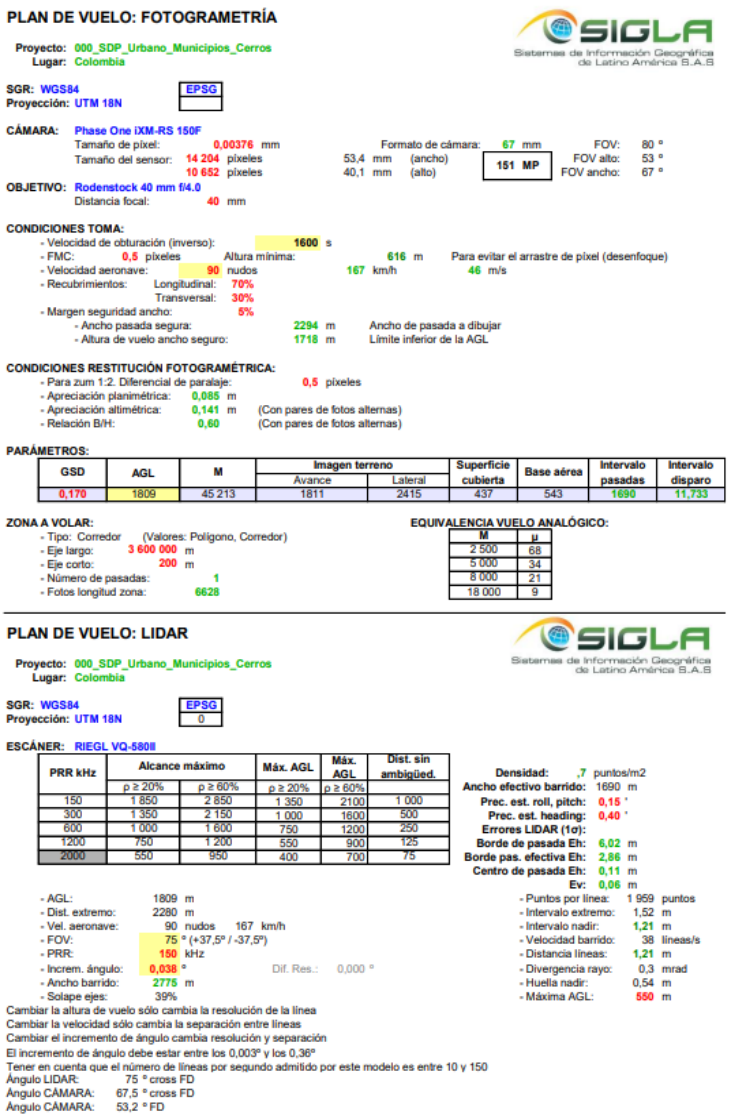
## 9.2. PARÁMETROS DE VUELO COMBINADO LIDAR/CÁMARA

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 | 80° |
| 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 — EPSG
Proyección: UTM 18N

CÁMARA: Phase One iXM-RS 150F
Tamaño de píxel: 0,00376 mm — Formato de cámara: 67 mm — FOV: 80 °
Tamaño del sensor: 14 204 píxeles 53,4 mm (ancho) — 151 MP — FOV alto: 53 °
10 652 píxeles 40,1 mm (alto) — 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 — EPSG
Proyección: UTM 18N — 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% |

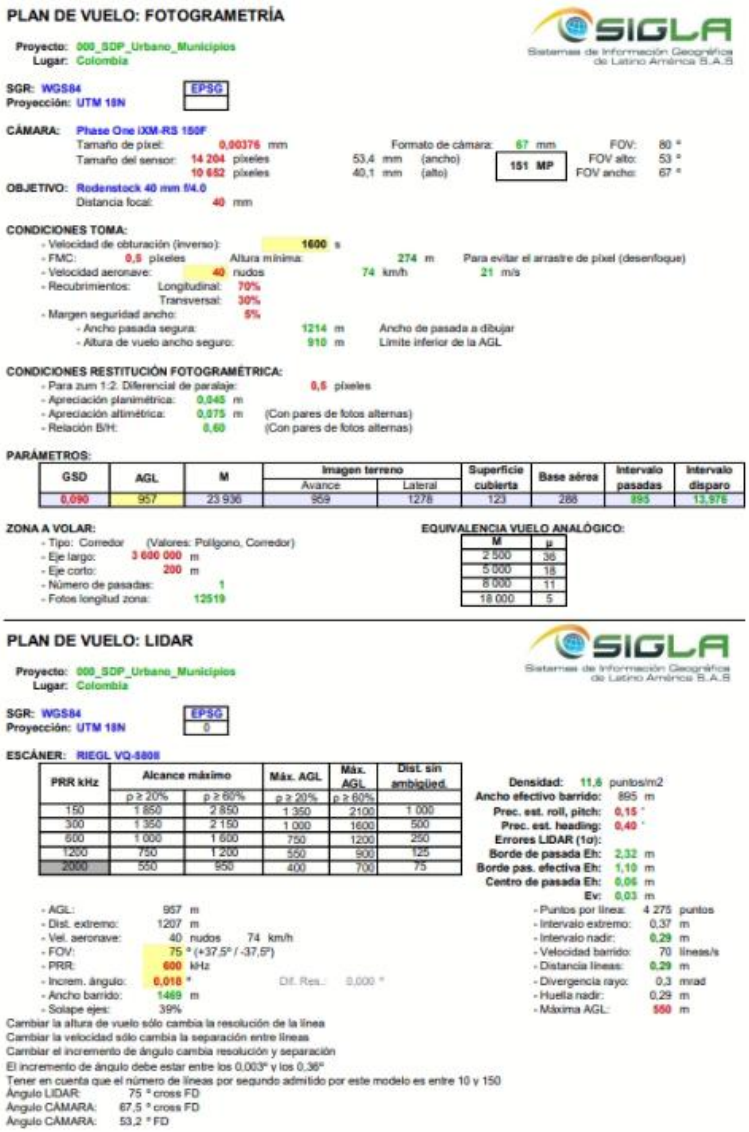



**Figura 11. Plan de vuelo Montaje 1 - Bogotá y Municipios (1:1000)**

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 | 68º |
| 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% |

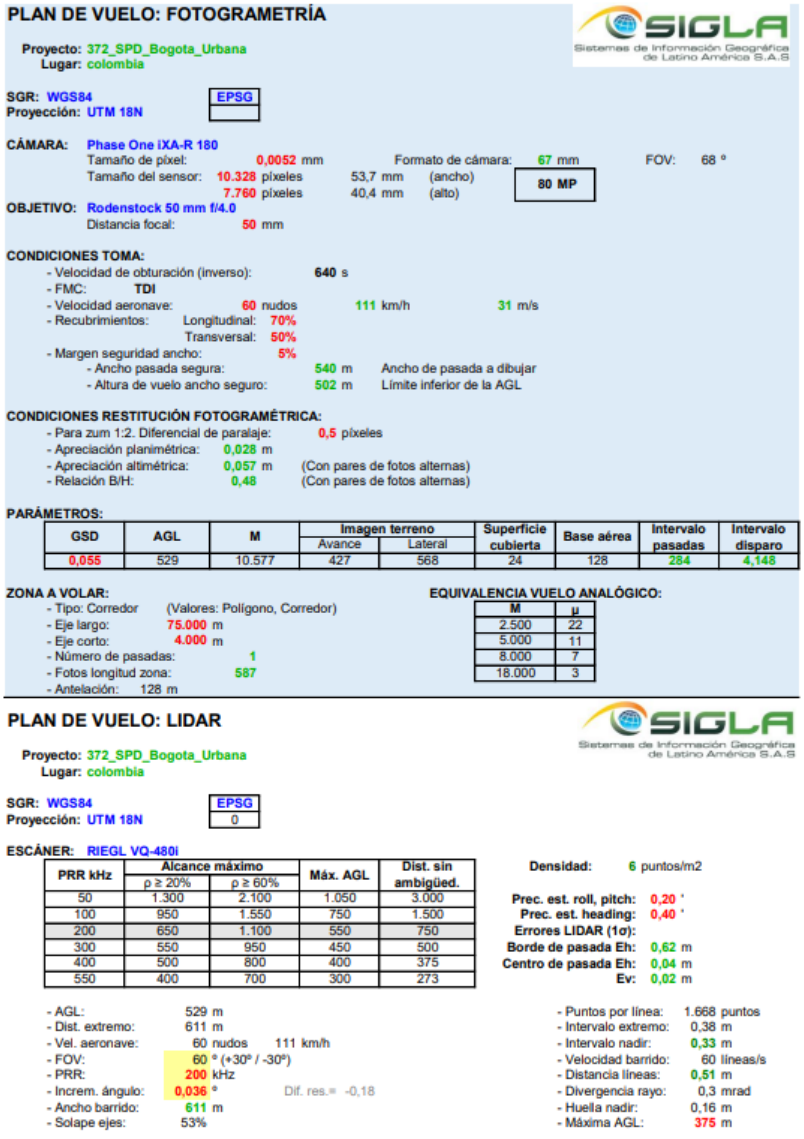



**Figura 12. Plan de vuelo Montaje 2 - Bogotá y Municipios (1:1000)**

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.

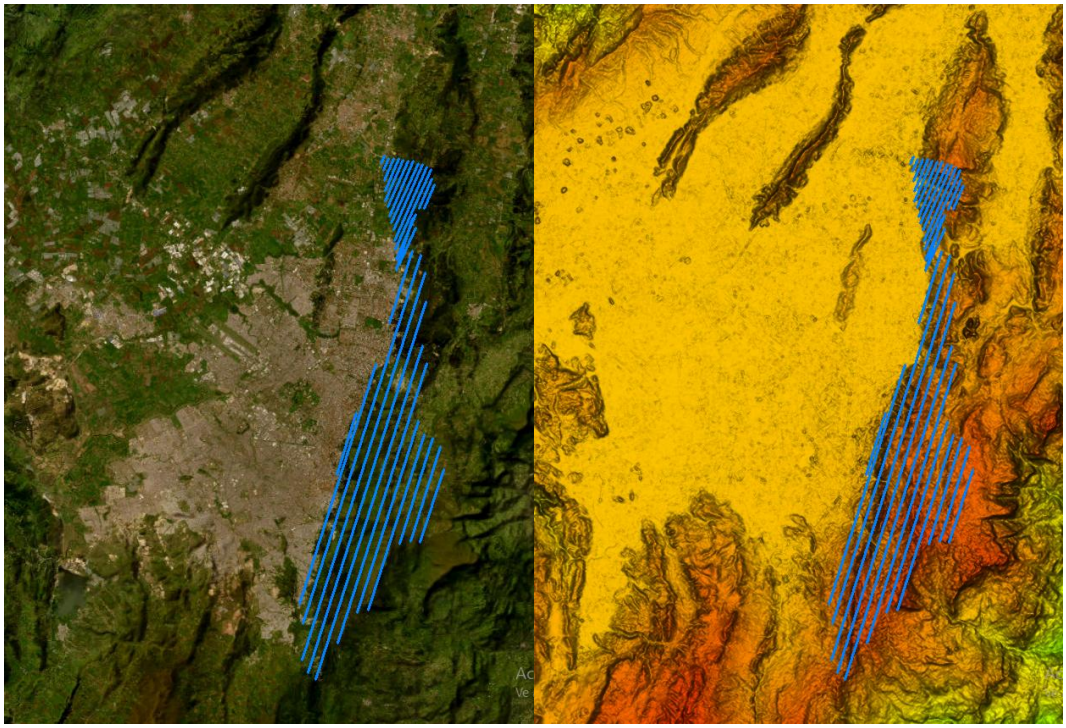


**Figura 13. Coberturas y Ejes de vuelo Cerros Orientales**

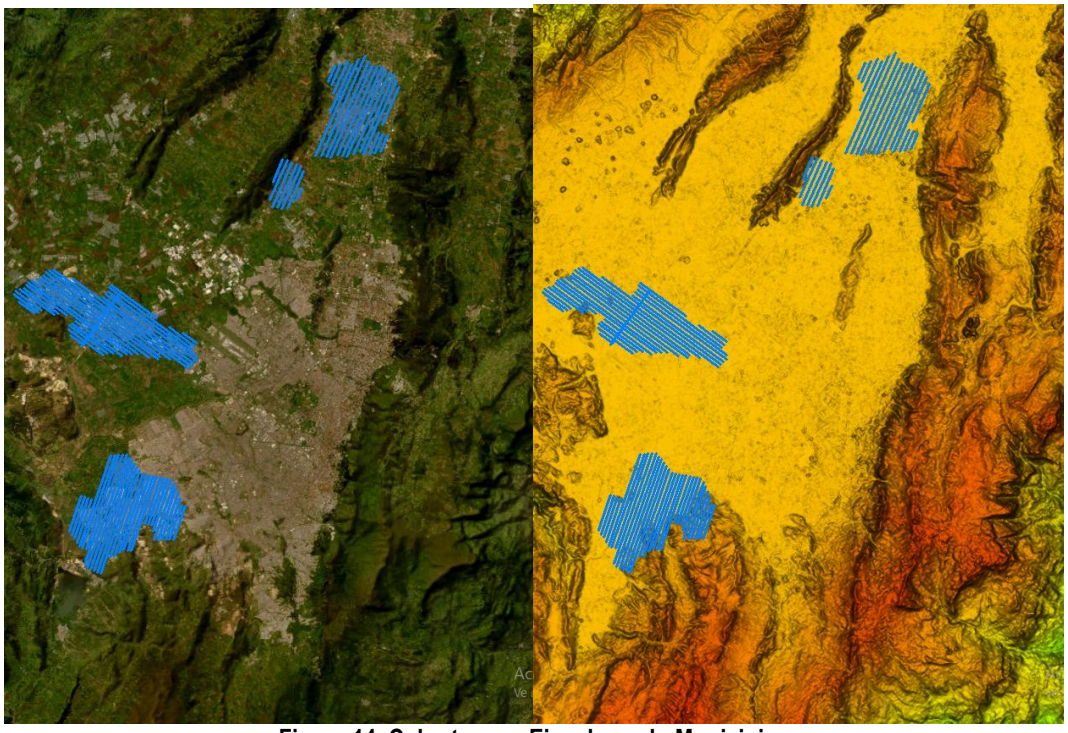


**Figura 14. Coberturas y Ejes de vuelo Municipios**

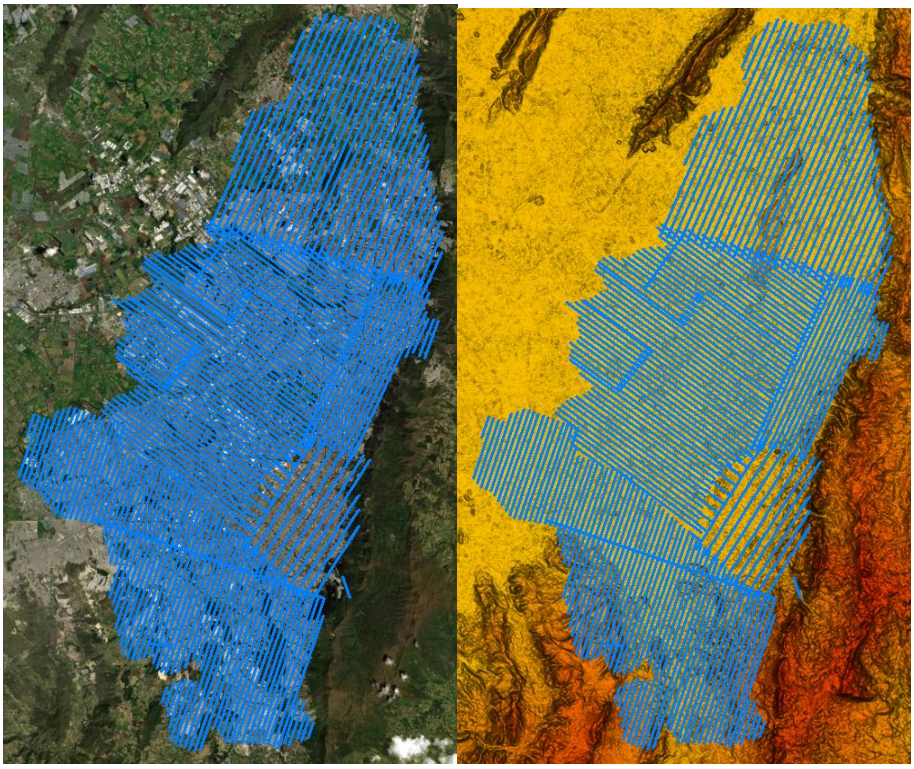


**Figura 15. Coberturas y Ejes de vuelo Bogotá**

### 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.

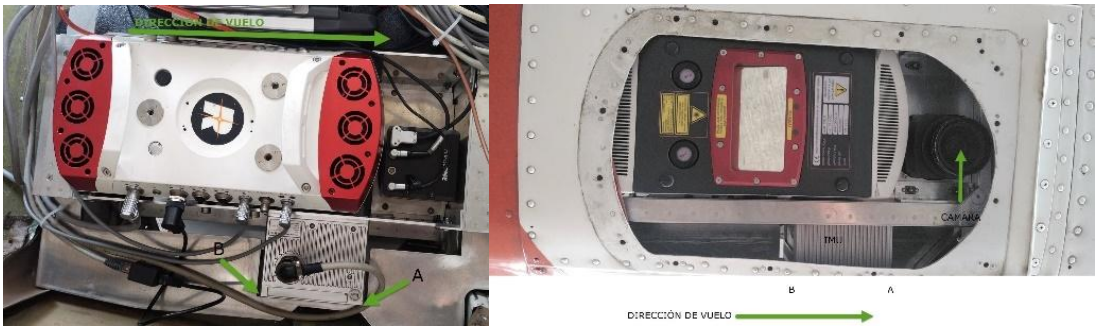



**Figura 16. Instalación Riegl VQ580II y Phase One iXM-RS 150F**




**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.

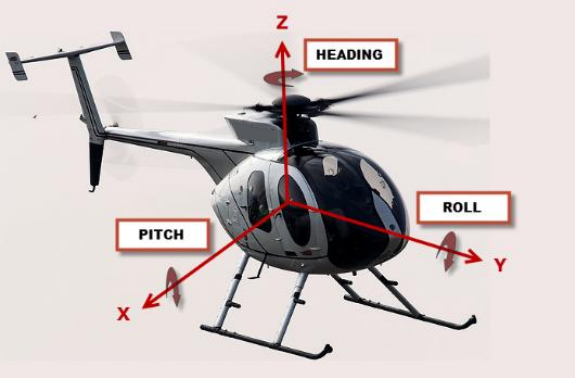



**Figura 18. Diagrama giros de la aeronave**

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.

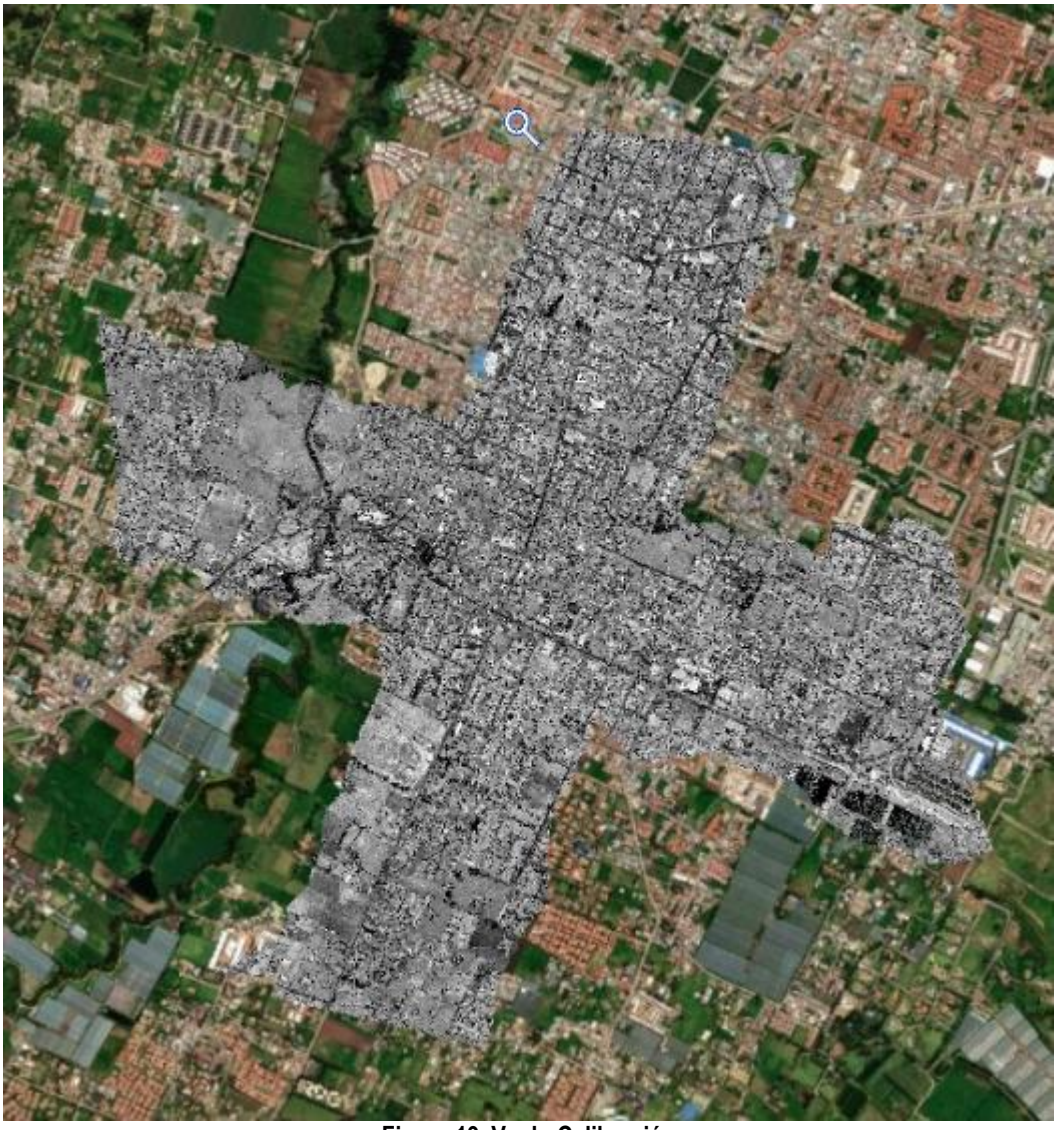


**Figura 19. Vuelo Calibración**

### 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.

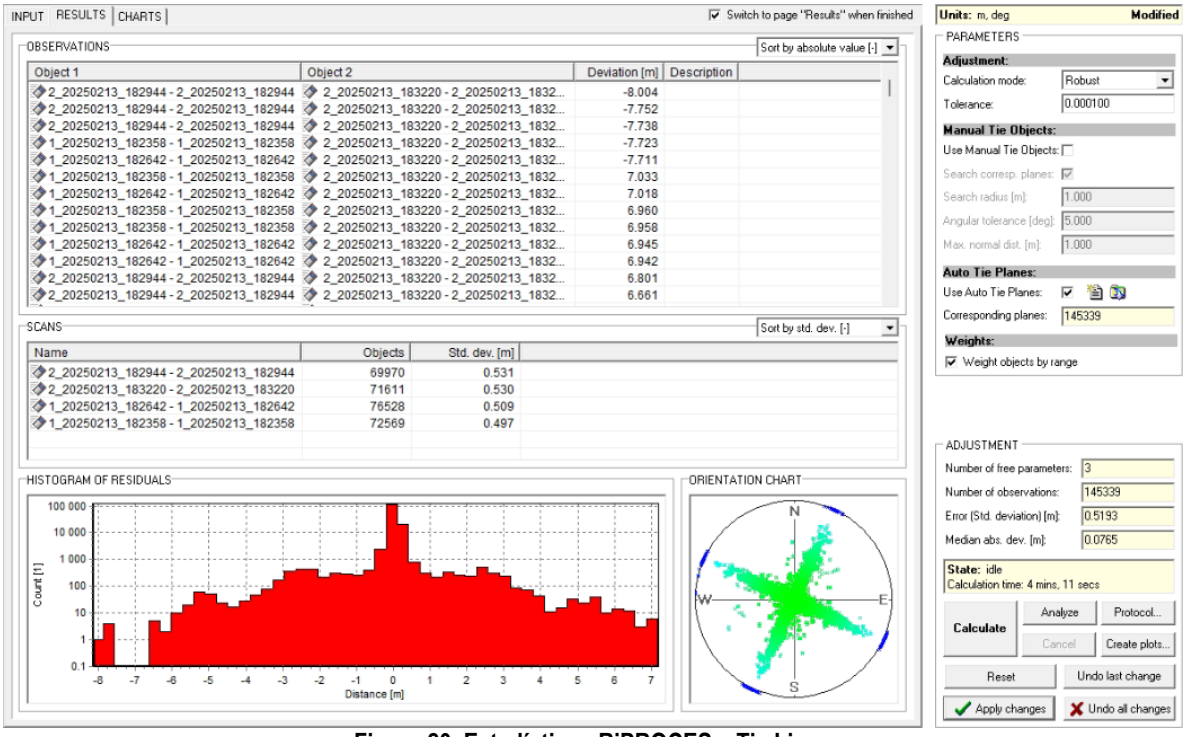



**Figura 20. Estadísticos RiPROCES y Tie Lines**

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)

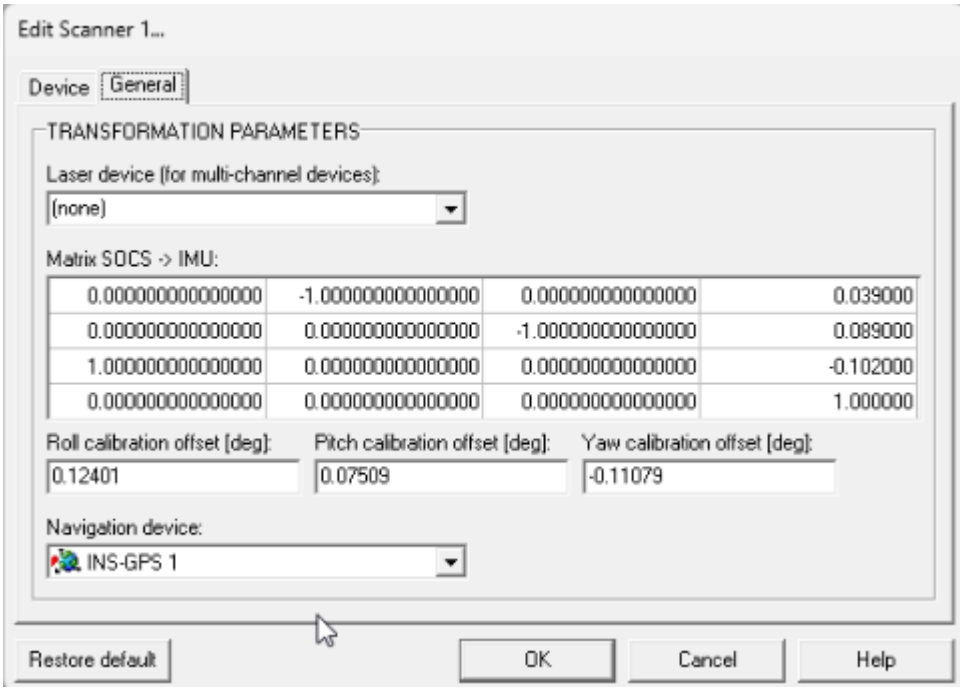



**Figura 21. Calibración correcciones Roll, Pitch, Heading**

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.

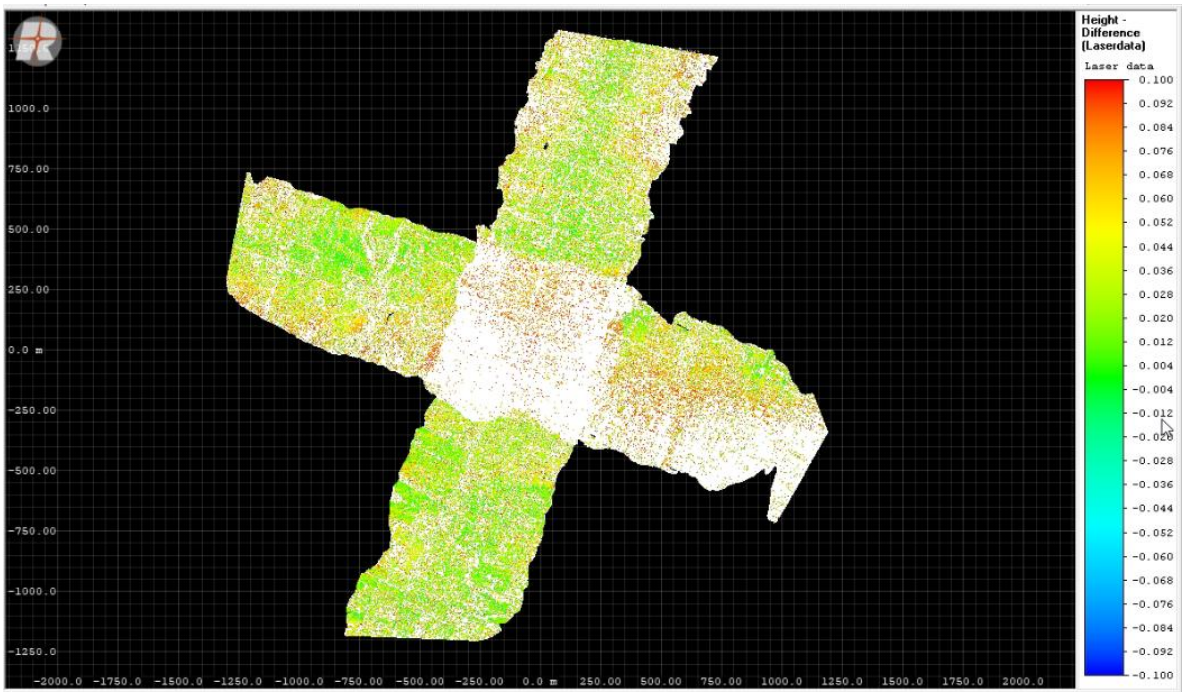



**Figura 22. Mapa de sombras calibración**

## 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.

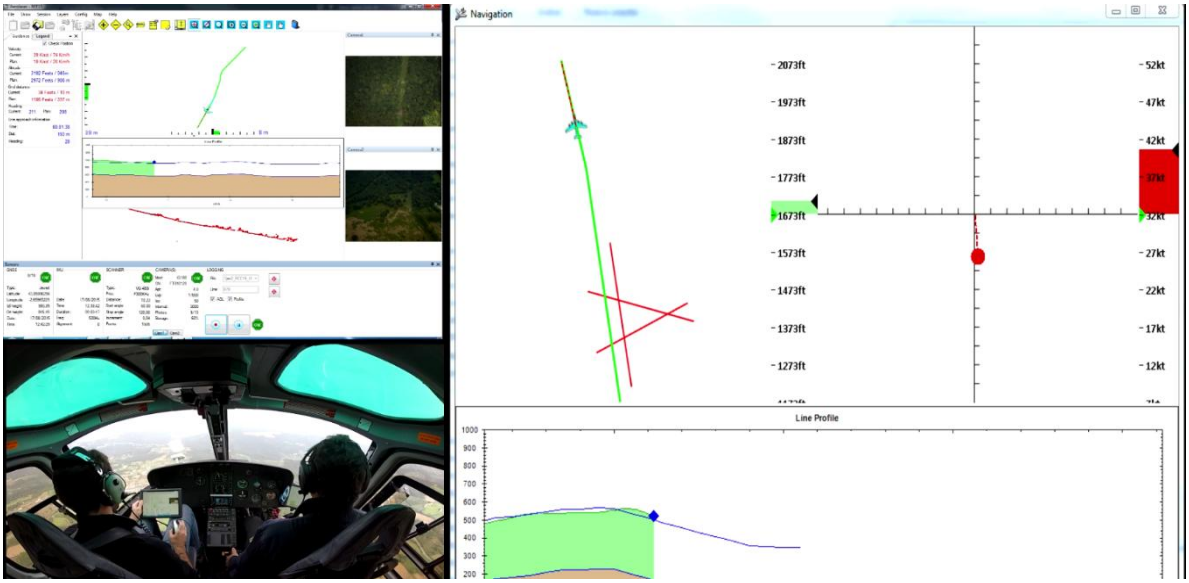



**Figura 23. Integración de planificaciones al sistema de navegación de la aeronave**

### 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.

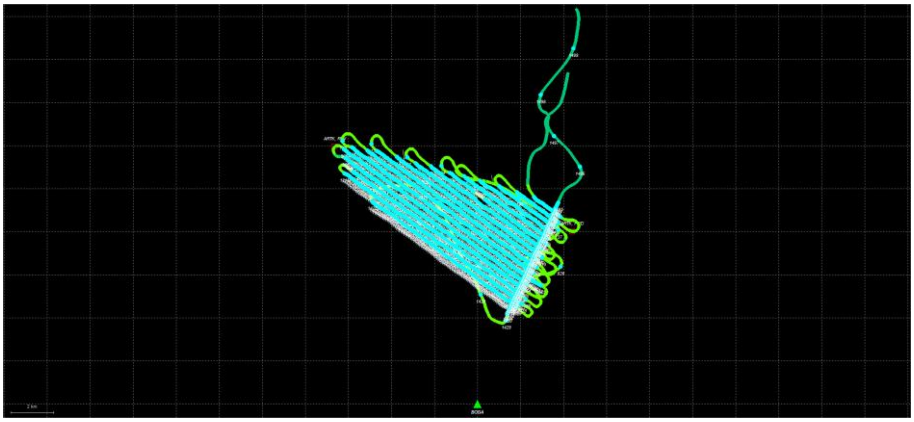


***Figura 25. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20250215 Sesión 1***

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:

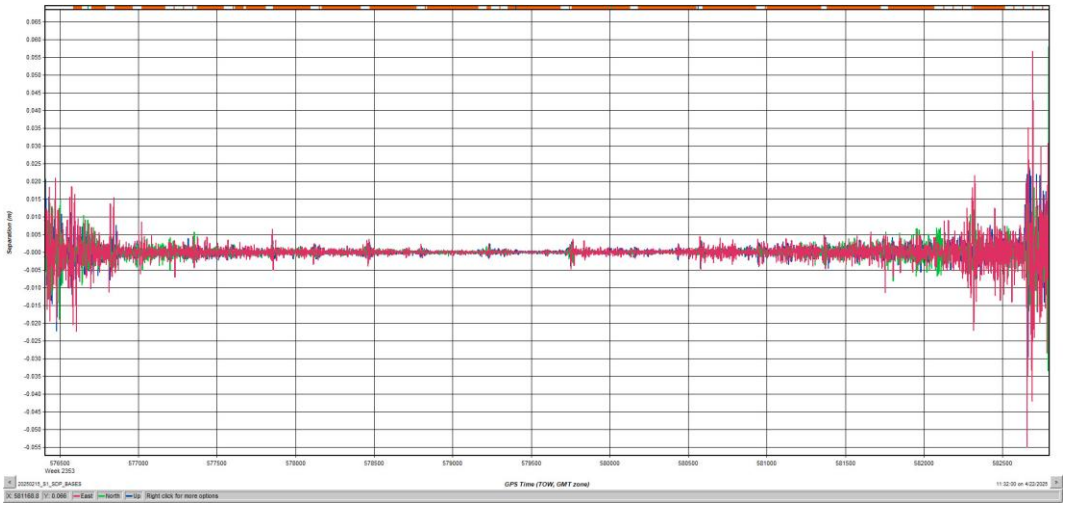


***Figura 26.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20250215 Sesión 1***

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

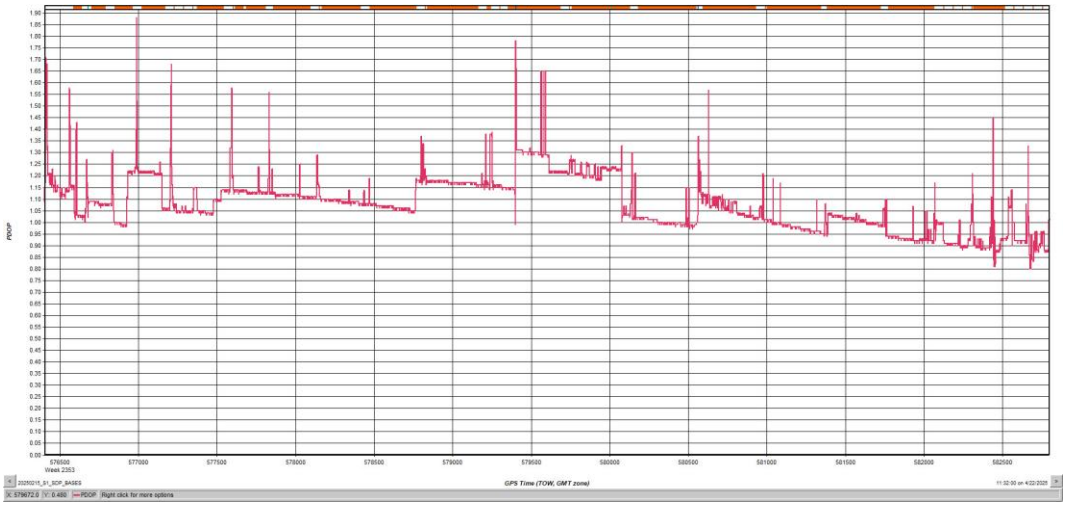


*Figura 27. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20250215 Sesión 1*

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.

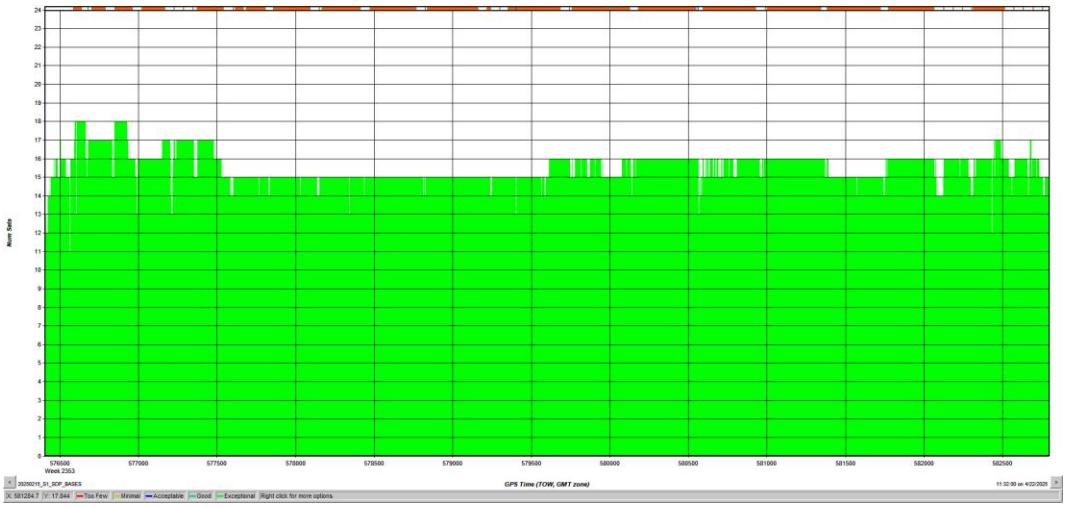


*Figura 28.Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20250215 Sesión 1*

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.

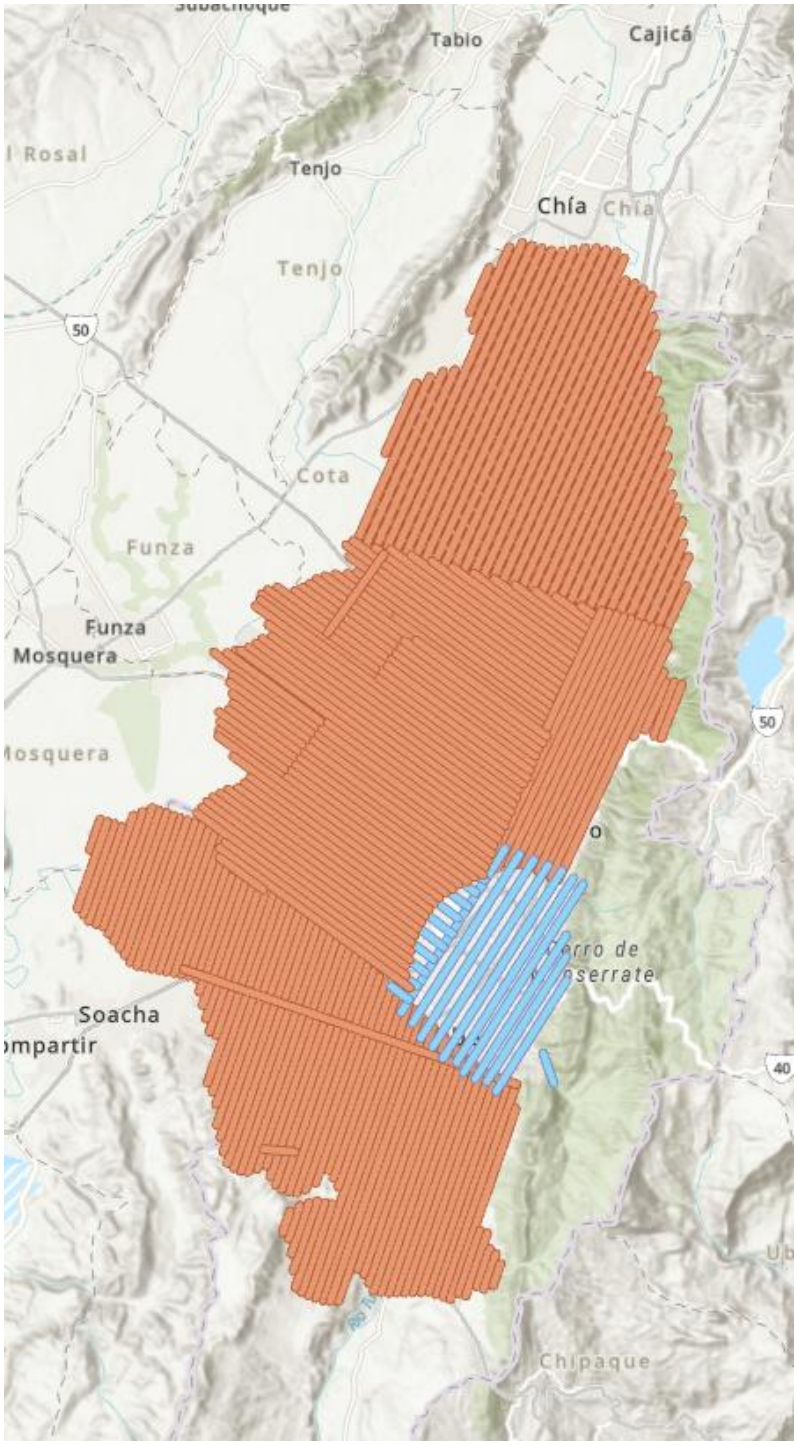



**Figura 29. Avance de los vuelos Bogotá**

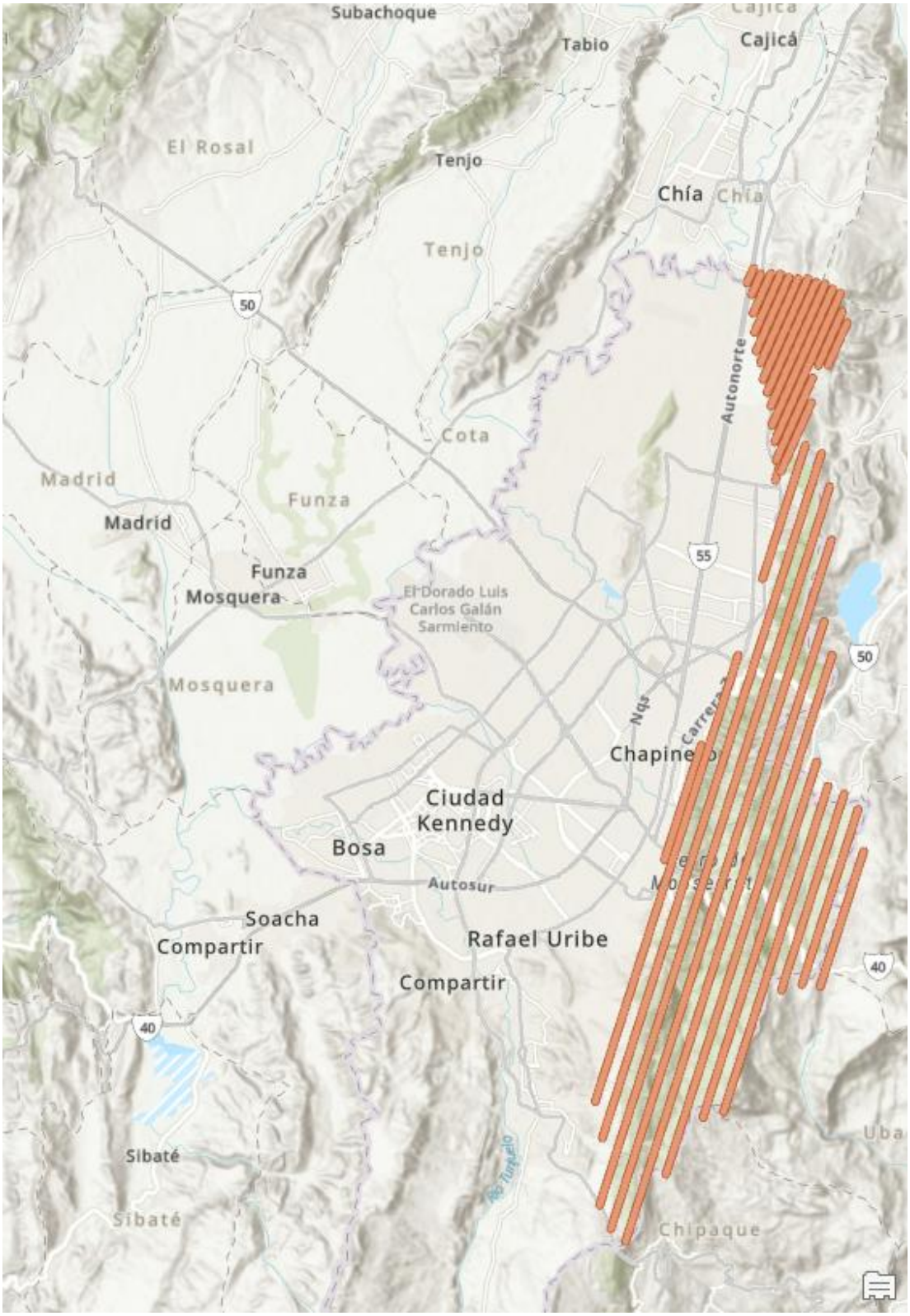



**Figura 30. Avance de los vuelos Cerros Orientales**

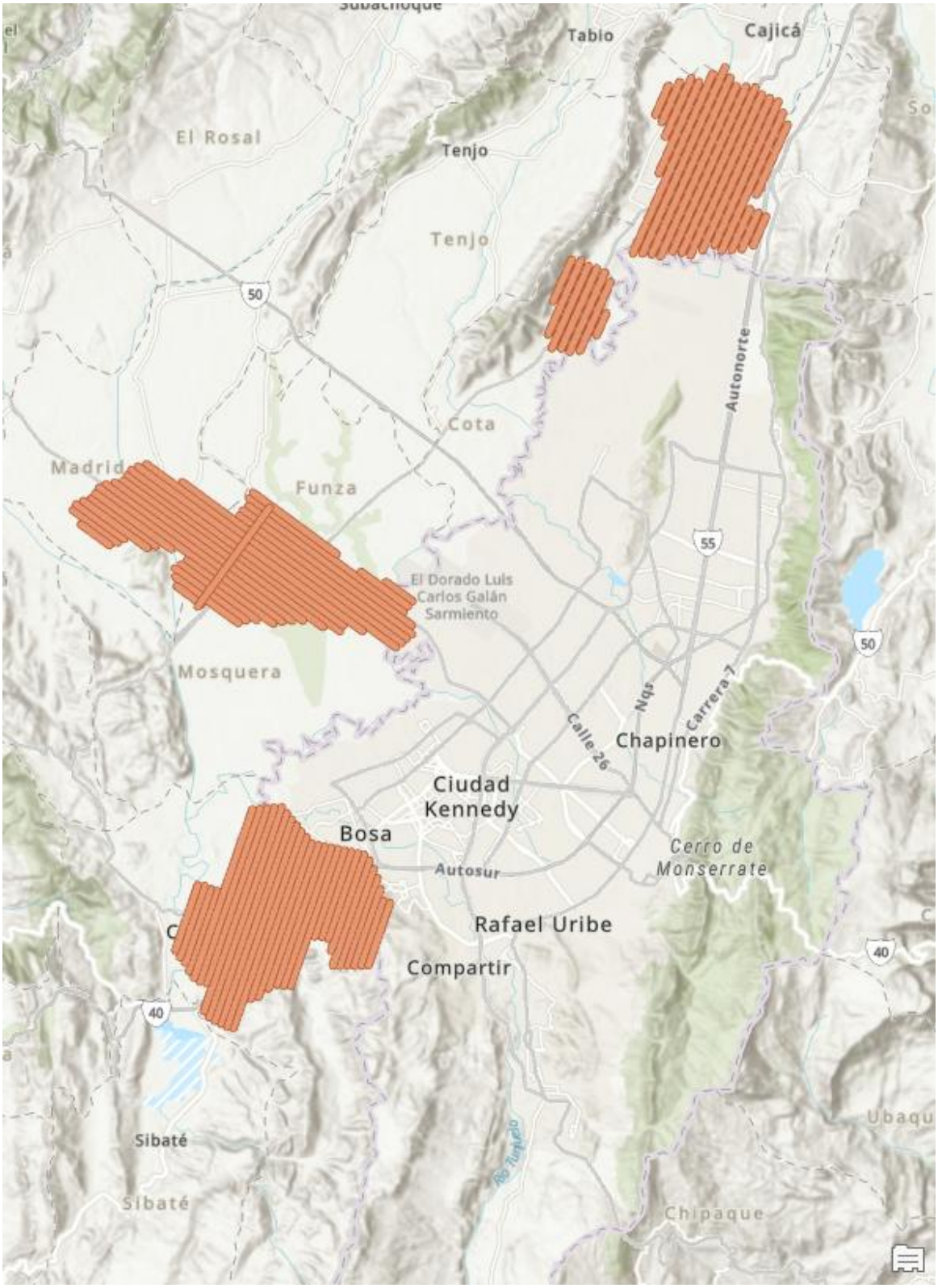



**Figura 31. Avance de los vuelos Municipios**

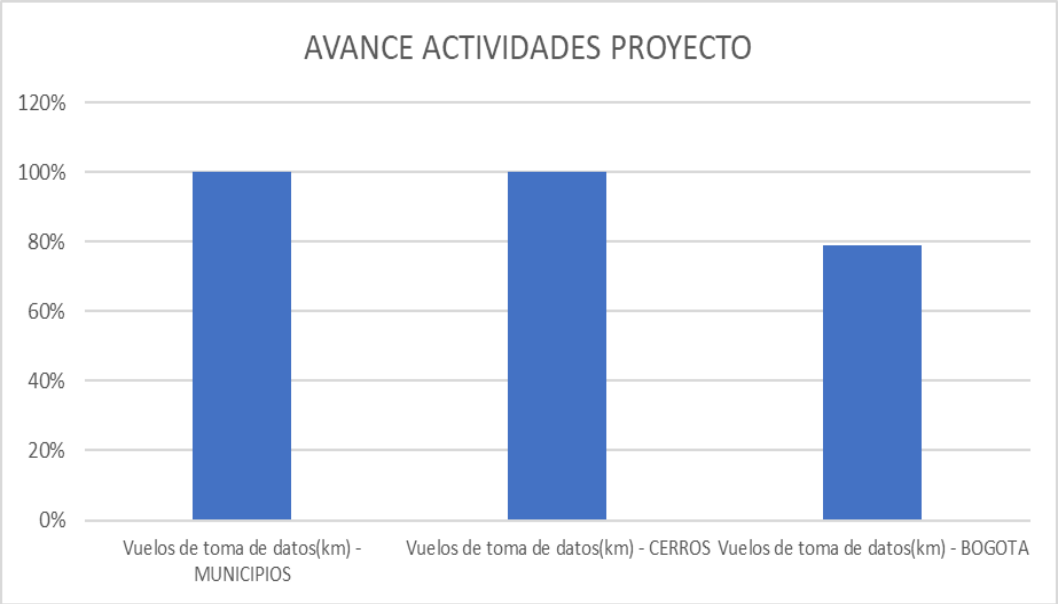



**Figura 32. Porcentaje de avance por área de los vuelos**

**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.

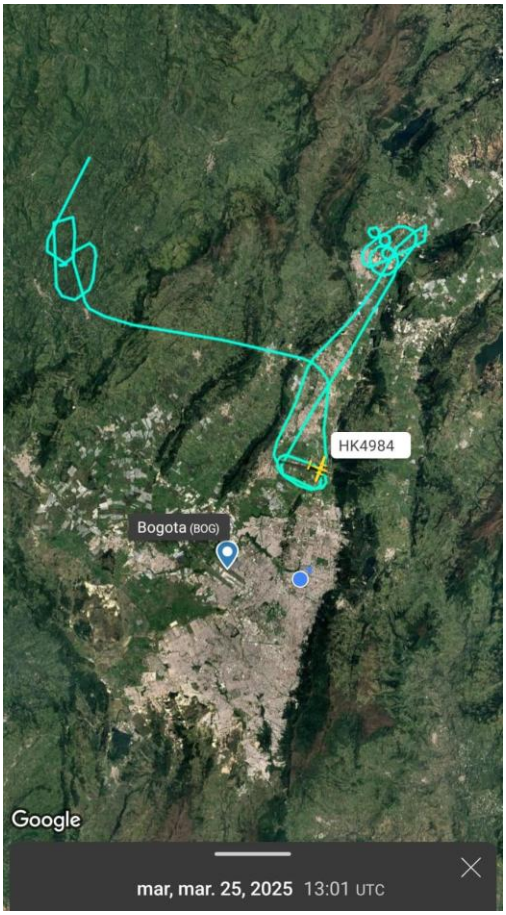



**Figura 33. Porcentaje de avance por área de los vuelos**

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:

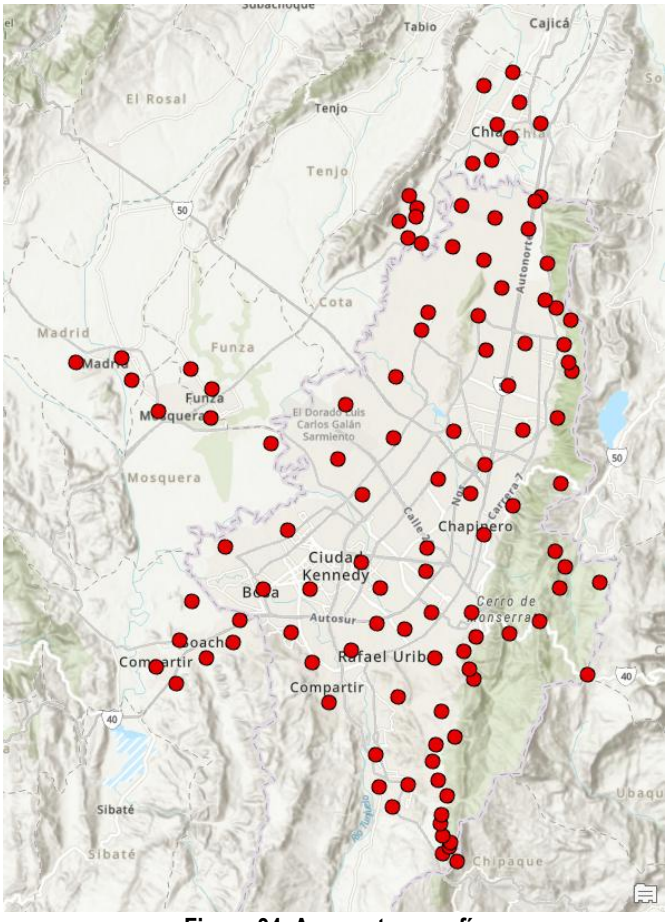



**Figura 34. Avance topografía**

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**

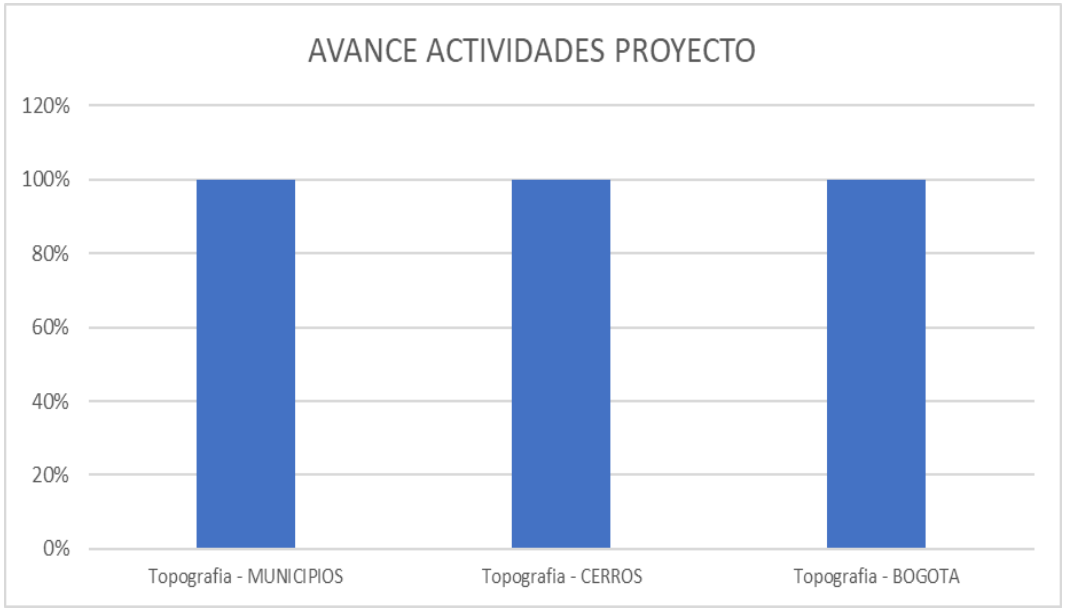



**Figura 36. Porcentaje de avance por área topografía**

**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.

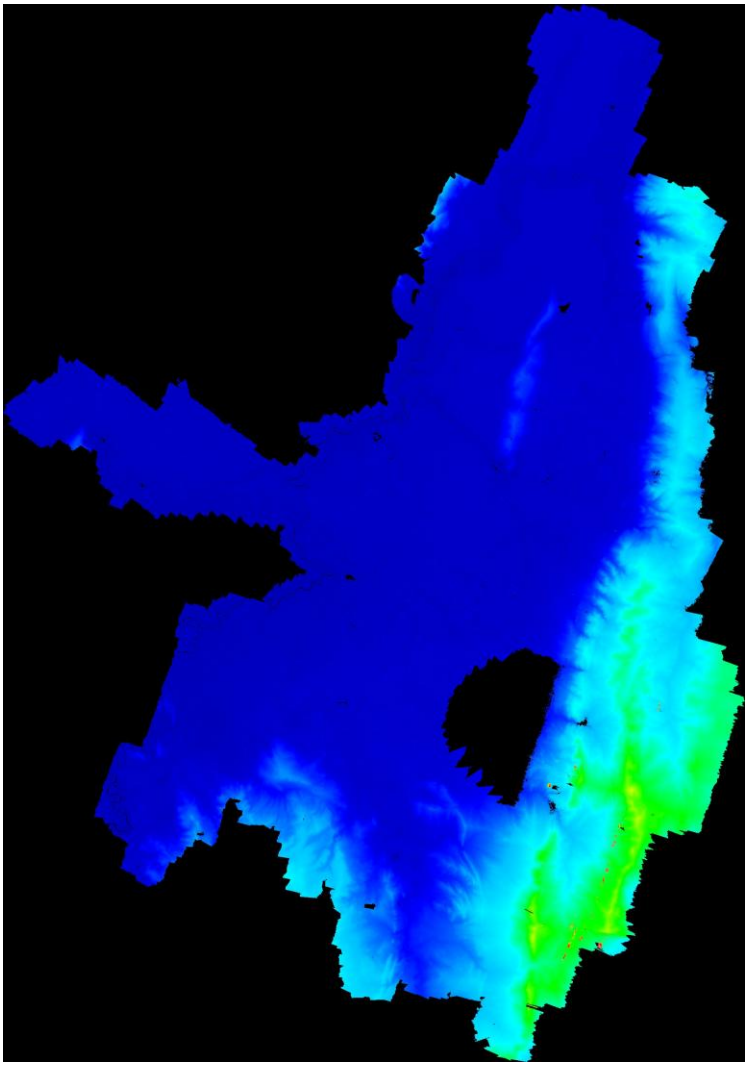


**Figura 37. Datos LiDAR procesados**

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.

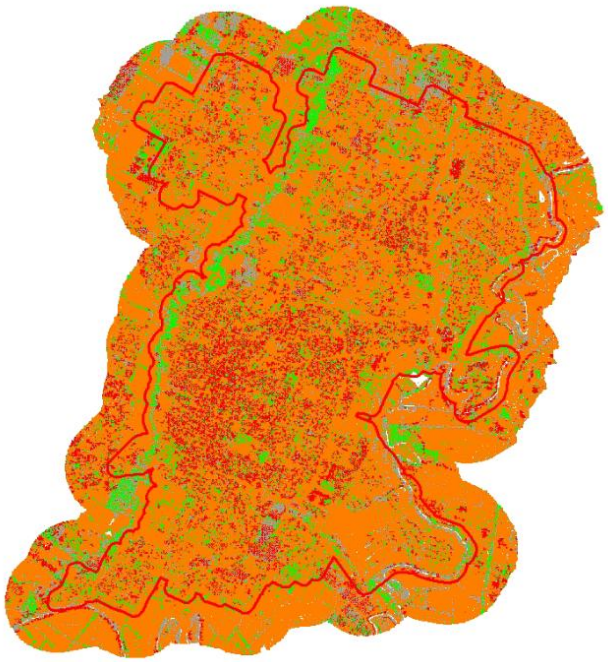


**Figura 38. Datos LiDAR clasificados Chía**

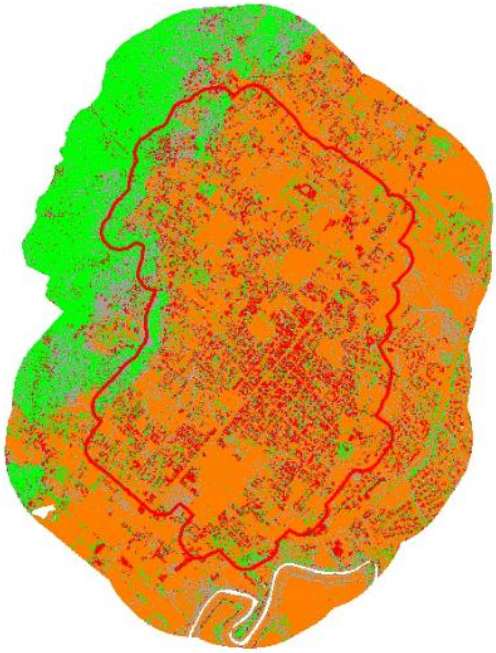


**Figura 39. Datos LiDAR clasificados Cota**

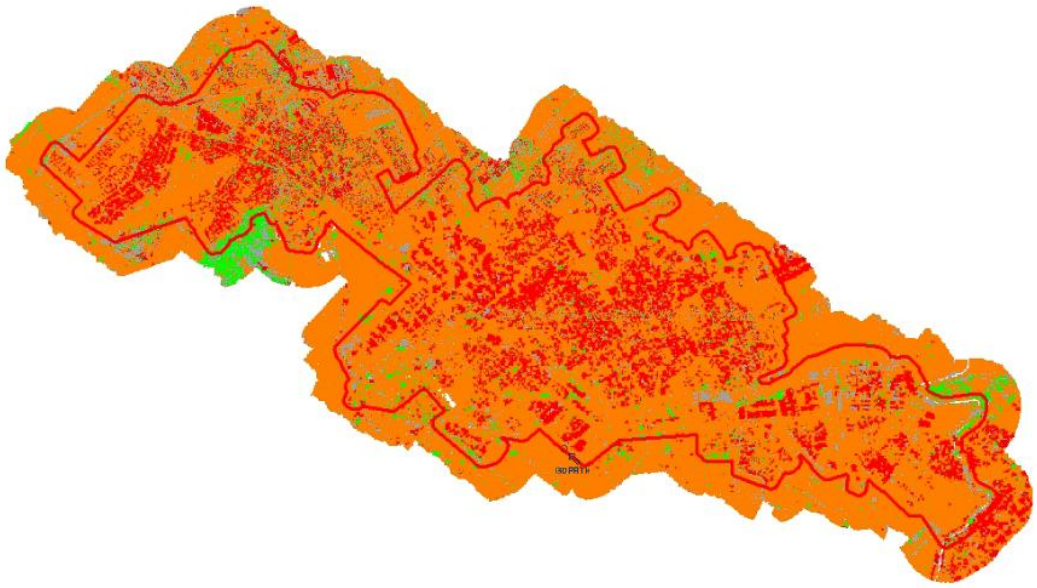


**Figura 40. Datos LiDAR clasificados Funza-Madrid-Mosquera**

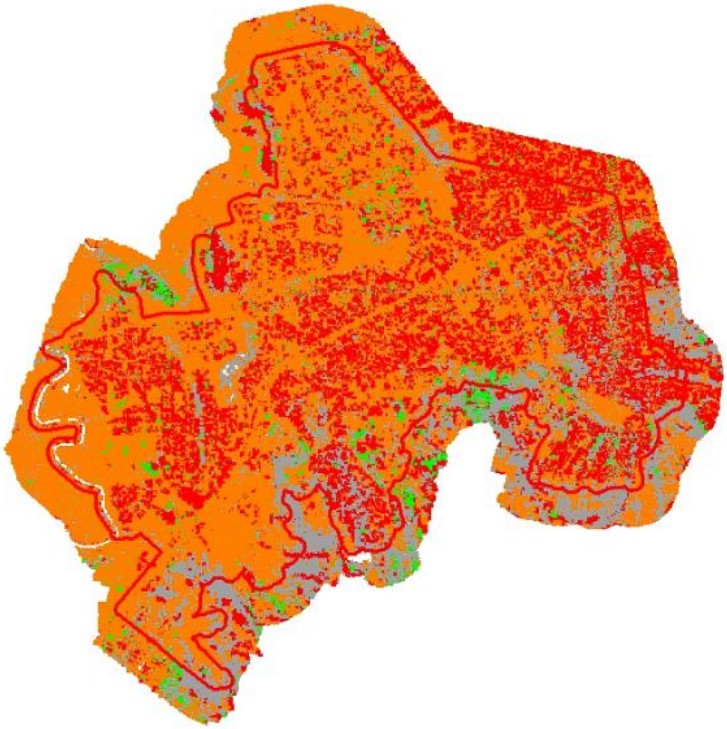


**Figura 41. Datos LiDAR clasificados Soacha**

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**