

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

**SERVICIO DE ESTUDIO TOPOGRÁFICO MEDIANTE
VUELOS LIDAR, GEODESIA Y BATIMETRÍA.**

PROYECTO

**LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA CON
TECNOLOGÍA LIDAR, LA TOMA DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS,
LAS SECCIONES TRANSVERSALES Y LA BATIMETRÍA,
PARA LA GENERACIÓN DE INSUMOS GEOGRÁFICOS
REQUERIDOS EN LA FORMULACIÓN DE INSTRUMENTOS DE
PLANIFICACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL QUE DEBE
ADOPTAR LA CORPORACIÓN EN EL MARCO DE SUS
COMPETENCIAS EN EL DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL
CAUCA**

PRESENTADO PARA



ELABORADO POR



ABRIL 01 2026

BOGOTÁ – COLOMBIA

ÍNDICE

1	ASPECTOS GENERALES.....	7
1.1	Introducción.....	7
1.2	Localización de la zona del proyecto.....	7
1.3	Terminología Geodésica y Topografía LiDAR.....	8
2	DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	10
2.1	Extensión de la zona de levantamiento topográfico.....	10
2.2	Hidrología y geomorfología.....	10
2.3	Limitaciones operativas y logísticas.....	10
3	METODOLOGIA.....	10
3.1	Marco conceptual.....	10
3.1.1	Georreferenciación.....	10
3.1.2	Levantamiento LiDAR y Fotogrametría RGB.....	11
3.1.3	Batimetría de cauces.....	11
3.2	Recursos utilizados.....	12
3.2.1	Recursos humanos:.....	12
3.2.2	Recursos materiales y tecnológicos:.....	12
3.3	Errores máximos tolerables.....	12
3.3.1	Red Orden 3 - Estaciones base.....	12
3.3.2	Puntos de fotocontrol.....	12
3.3.3	Red orden cuatro.....	12
3.3.4	LiDAR.....	12
3.3.5	Ortoimágenes.....	12
3.3.6	Batimetría.....	12
3.4	Certificación de calibración de equipos.....	12
3.5	Escalas de trabajo.....	13
4	DESARROLLO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO.....	13
4.1	Planificación y Ejecución.....	13
4.1.1	Georreferenciación.....	13
4.1.2	Sistema de referencia.....	13
4.1.3	Planificación de la georreferenciación.....	13
4.1.4	Base de Estación de Rastreo Permanente – ERP.....	14
4.1.5	Red de Tercer Orden.....	15
4.1.5.1	Monumentación – Red Tercer Orden.....	15
4.1.5.2	Materialización de los mojones Red de tercer orden.....	17

4.1.5.3	Observación GNSS – Red tercer orden	18
4.1.6	Red de cuarto orden	19
4.1.6.1	Monumentación - Red de cuarto orden	19
4.1.6.2	Materialización - Red Cuarto Orden	21
4.1.6.3	Observación GNSS - Red cuarto orden	22
4.1.7	Puntos de Apoyo Fotogramétrico y LiDAR	22
4.1.7.1	Marcado de los Puntos de Apoyo	22
4.1.7.2	Observación GNSS de los puntos de fotocontrol	24
4.1.7.3	Vinculación a las Redes Geodésicas de los puntos de fotocontrol	25
4.1.7.4	Puntos de chequeo	25
4.1.7.5	Entregables de la georreferenciación	25
4.2	Batimetrías y secciones transversales	25
4.2.1	Equipos	27
4.2.2	Software de levantamiento batimétrico	27
4.2.3	Georreferenciación de las trayectorias	28
4.2.4	Entregables de los trabajos Batimétricos y Secciones transversales	31
5	PLANIFICACIÓN DEL VUELO EN BASE A LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS EXIGIDAS Y LA ZONA DE TRABAJO	31
5.1	Componentes Del Sistema	31
5.2	Parámetros De Vuelo Combinado LiDAR/Cámara	32
5.3	Control De Calidad Del Vuelo Planificado	34
5.4	Selección De La Aeronave A Utilizar	36
5.5	Envío De La Planificación A La Unidad De Vuelos Y Solicitud De Los Permisos De Vuelo	37
5.6	Montaje E Instalación Del Sistema	39
6	CERTIFICADOS DE CALIBRACION CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR	39
6.1	Sensor LiDAR	39
6.2	Cámara Fotogramétrica	42
6.3	Otros Equipos	43
7	TRABAJOS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA INERCIAL – CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR	43
8	EJECUCIÓN DEL VUELO	45
8.1	Recepción De Planificación Departamentos De Vuelos	45
8.2	Información Meteorológica	45
8.3	Comprobación De La Información Y Sistemas	46
8.4	Realización Del Vuelo	47
8.5	Volcado De La Información	47
8.6	Envío De Información A Oficina	47
8.7	Control De Calidad De Cada Misión De Vuelo Ejecutado	48
9	CALCULO DE AJUSTES DE LINEAS DE VUELO	48

10	METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE PRODUCTOS LIDAR.....	49
10.1	Características	49
10.2	Clasificación LiDAR.....	49
10.3	Edición LiDAR	49
10.4	Integración de batimetrías para generación de modelo MDTi.....	50
10.4.1	Depuración manual de datos LIDAR	51
10.4.2	Integración batimetría monohaz	53
10.5	Cálculo del modelo de ajuste local de ondulación.....	54
10.6	Sistema de coordenadas.....	55
11	METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE PRODUCTOS FOTOGRAMÉTRICOS.....	55
11.1	Características	55
11.2	Post-Proceso de la información fotogramétrica.....	56
11.3	Reporte de Calidad en las Orto imágenes.	57
12	METADATOS.....	57
12.1	APLICACIÓN DE ESTÁNDARES	57
12.2	PERFILES DE METADATOS.....	57
12.3	ESTRUCTURA Y CONTENIDO	58
12.4	PROCESO OPERATIVO.....	58
12.5	GARANTÍA DE CALIDAD Y ACTUALIZACIÓN.....	58
13	CONTROL DE CALIDAD	58
13.1	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE TOPOBATIMÉTRICO...58	
13.1.1	Calidad de los Datos.....	58
13.1.2	Calibración de los equipos.....	58
13.1.3	Configuración de los equipos.	58
13.1.4	Redundancia y Consistencia.	59
13.1.5	Análisis de Errores y Ajuste de Redes	59
13.1.6	Corrección de Errores y Documentación.....	59
13.2	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO.....	59
13.2.1	Exactitud Vertical	59
13.2.2	Exactitud Horizontal.....	59
13.2.3	Edición.....	59
13.2.4	Método de Interpolación	59
13.2.5	Corrección de Errores y Documentación.....	59
13.3	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE ORTOIMAGEN.....	59
13.3.1	Exactitud Geométrica:	60
13.3.2	Precisión Radiométrica.....	60
13.3.3	Consistencia Espacial.....	60

14	GESTION DE RIESGOS.....	60
14.1	Orden Público.....	60
14.2	Condiciones climáticas.....	61
14.3	Ingresos a predios a la rivera del Río Cauca y afluentes	62
15	ORGANIZACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO	63
15.1	Estructura organizacional.....	63
16	PLAN DE COMUNICACIÓN	64
16.1	Partes Interesadas (Stakeholders).....	64
16.2	Estrategia de Comunicación.....	64
16.3	Canales de Comunicación	65
16.4	Matriz de comunicación.....	65
16.5	Frecuencia de reuniones.....	65
16.6	Gestión de la Información	65

ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1.	AOI del Proyecto.	8
Ilustración 4-1	ERP (Estaciones de Rastreo Permanente).	14
Ilustración 4-2	Cobertura Red Río Cauca – Análisis para selección de puntos de Red Tercer Orden.	15
Ilustración 4-3.	Bases de vuelos - Red Tercer Orden.	17
Ilustración 4-4	Monumentación Tipo mojón. Fuente: resolución 1468 de 2021 IGAC.	18
Ilustración 4-5	Monumentación Tipo incrustación. Fuente: Propia.	18
Ilustración 4-6	Red de Cuarto Orden. Fuente: Propia.....	20
Ilustración 4-7	Monumentación Tipo mojón. Fuente: resolución 1468 de 2021 IGAC.	21
Ilustración 4-8	Monumentación Tipo incrustación. Fuente: Propia.	22
Ilustración 4-9	Tipos de marcación de puntos de fotocontrol Fuente: Elaboración propia.....	23
Ilustración 4-10	Bloques propuestos y distribución de GCP. Fuente: Elaboración propia.	24
Ilustración 4-11	Batimetría Vuelta de Las Córdoba. Fuente: Elaboración propia.....	26
Ilustración 4-12	Batimetría sector Río Morales. Fuente: Elaboración propia.	26
Ilustración 4-13	Secciones transversales Río Cauca Fuente: Elaboración propia.....	29
Ilustración 4-14	Secciones transversales totales de afluentes. Fuente: Elaboración propia.	30
Ilustración 5-1.	Sistema Combinado de Captura LiDAR- Cámara Alta resolución.....	32
Ilustración 5-2.	Plan de vuelo Fotogrametría	33
Ilustración 5-3.	Plan de vuelo LiDAR	33
Ilustración 5-4.	Plan de vuelo.....	35
Ilustración 5-5.	Análisis de Plan de vuelo en un Modelo Digital de Elevaciones	36
Ilustración 5-6.	Montaje Avión Cessna 180.....	36
Ilustración 5-7.	Montaje Helicóptero Eurocopter AS350 B2.....	37
Ilustración 5-8.	Montaje Helicóptero Hughes 369D.....	37
Ilustración 5-9.	Permiso de vuelo FAC No.58516 Valle del Cauca.....	38
Ilustración 5-10.	Permiso de vuelo FAC No.58374 Cauca y Risaralda.....	38
Ilustración 6-1.	Certificado verificación del Integrador Aerolaser RIEGL VQ580II / Phase One 180	40
Ilustración 6-2.	Certificado verificación del Integrador Aerolaser RIEGL VQ580II / Phase One 150	41
Ilustración 6-3.	Certificado verificación del Integrador Aerolaser RIEGL VQ580IIS / Phase One 150.....	42
Tabla 6-1.	Listado De Equipos 1 Utilizados En Vuelo.....	43
Tabla 6-2.	Listado De Equipos 2 Utilizados En Vuelo.....	43



Ilustración 7-1. Diagrama giros de la aeronave	44
Ilustración 7-2. Ejemplo de Vuelo Calibración	45
Ilustración 8-1. Integración de planificaciones al sistema de navegación de la aeronave	45
Ilustración 8-2. Sistema de control en vuelo	46
Ilustración 10-1. Ejemplo edición nube de puntos LiDAR	52
Ilustración 10-2. Ejemplo clasificación lámina de agua.....	52
Ilustración 10-3. Ejemplo generación break lines.	53
Ilustración 10-4. Ejemplo integración modelo Topobatimétrico.	54
Ilustración 10-5. Ejemplo modelo Topobatimétrico.	54
Ilustración 10-6. Magna-Sirgas (EPSG:9377).....	55
Ilustración 11-1 Ejemplo de Ortoimagen a generar Fuente: Elaboración propia	56

TABLAS

Tabla 4-1. Parámetros de Observación GNSS, Red de tercer orden. Fuente: Elaboración propia.	19
Tabla 4-2. Parámetros de Observación GNSS, Red Cuarto Orden. Fuente: Elaboración propia.....	22
Tabla 4-3. Parámetros de Observación puntos fotocontrol. Fuente: Elaboración propia.....	25
Tabla 4-4. Equipos para batimetrías. Fuente: Elaboración propia.	27
Tabla 4-5. Cantidades de secciones transversales por afluente. Fuente: Elaboración propia.	30
Tabla 5-1. Características generales del vuelo fotogramétrico	32
Tabla 6-1. Listado De Equipos 1 Utilizados En Vuelo.....	43
Tabla 6-2. Listado De Equipos 2 Utilizados En Vuelo.....	43



1 ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

El presente **Plan de Implementación de Proyecto** contiene los lineamientos a seguir en la adquisición y generación de insumos geográficos de alta precisión mediante el levantamiento de información topográfica utilizando tecnología LiDAR, la toma de fotografías aéreas, la obtención de secciones transversales y la ejecución de estudios batimétricos en áreas priorizadas del departamento del Valle del Cauca. El objetivo principal es proveer información detallada y actualizada que sirva de base para la formulación de instrumentos de planificación y manejo ambiental que debe adoptar la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) en el marco de sus competencias legales y misionales.

La intervención comprende un área total de 189114 hectáreas, distribuidas en 17 ríos priorizados del Valle del Cauca. Las actividades incluyen:

- Levantamiento topográfico LiDAR y captura de fotografías aéreas en las áreas señaladas.
- Levantamiento de secciones transversales entre los bordes a banca llena de los ríos priorizados.
- Realización de batimetría en tramos específicos del río Cauca, generando modelos continuos del fondo fluvial.
- Procesamiento y entrega de ortoimágenes, modelos digitales de terreno (MDT), modelos digitales de superficie (MDS) y modelos digitales de terreno integrados (MDTi), todos georreferenciados bajo el sistema MAGNA-SIRGAS y el modelo geoidal local GeoValle.
- Entrega de todos los datos crudos y procesados, informes de avance, reportes de calidad y metadatos conforme a la norma ISO 19115.

1.2 Localización de la zona del proyecto

El área del proyecto se encuentra ubicado principalmente en el departamento del Valle del Cauca y limita con los departamentos de Risaralda, Quindío y Cauca.



Ilustración 1-1. AOI del Proyecto.
Fuente: SIGLA-SAS

1.3 Terminología Geodésica y Topografía LiDAR

- **ERP (Estación de Rastreo Permanente):** Puntos fijos GNSS de referencia geodésica, con operación continua de registros satelitales administrados por el IGAC, utilizados como base para los trabajos de posicionamiento.
- **GNSS (Global Navigation Satellite System):** Sistema global de navegación satelital que integra varias constelaciones de satélites (GPS, GLONASS, GALILEO, BeiDou, QZSS).
- **GPS (Global Positioning System):** Sistema de posicionamiento global estadounidense.
- **NAVSTAR:** Nombre Técnico del Sistema GPS (Navigation System with Time and Ranging).
- **RINEX (Receiver Independent Exchange):** Formato estandarizado de archivos GNSS, independiente del fabricante de receptores.
- **UTM (Universal Transverse Mercator):** Sistema de proyección cartográfica basado en la proyección transversal de Mercator, utilizado para posicionamiento geográfico planimétrico.
- **WGS 84 (World Geodetic System 1984):** Sistema de referencia geodésico global.

- **Red Geodésica Primaria (RP):** Conjunto de puntos geodésicos de alta precisión, materializados cada 25–30 km, observados bajo ocupación GNSS prolongada (mínimo 8 horas).
- **Red Geodésica Secundaria (RS):** Puntos de control intermedio establecidos a partir de la red primaria, utilizados para control geométrico de ingeniería.
- **Puntos de Apoyo Fotogramétrico y LiDAR:** Señales físicas implantadas en campo utilizadas para el control tridimensional de los modelos digitales generados mediante fotogrametría y LiDAR.
- **BMS (Bench Mark Station):** Estaciones de referencia altimétrica permanente, generalmente asociadas a los puntos de nivelación.
- **LiDAR (Light Detection And Ranging):** Tecnología de teledetección activa mediante pulsos láser para capturar mediciones de distancia tridimensionales sobre el terreno y objetos.
- **LiDAR Aerotransportado:** Sistema LiDAR montado en aeronaves (avión, helicóptero, dron), utilizado para levantamientos topográficos de alta densidad y cobertura amplia.
- **Nube de Puntos LiDAR:** Conjunto masivo de millones de puntos tridimensionales registrados por el sensor LiDAR, representando el relieve del terreno y objetos existentes.
- **Densidad de Puntos LiDAR:** Cantidad de puntos capturados por metro cuadrado, fundamental para establecer la resolución del levantamiento.
- **Clasificación LiDAR:** Proceso de etiquetado de los puntos de la nube según su tipo: terreno, vegetación, edificaciones, etc.
- **DTM (Digital Terrain Model):** Modelo digital del terreno limpio, representando la superficie natural del suelo.
- **DSM (Digital Surface Model):** Modelo digital de superficie incluyendo elementos sobre el terreno como edificaciones, árboles y estructuras.
- **DEM (Digital Elevation Model):** Modelo general de elevación, puede referirse tanto a DTM como a DSM.
- **Curvas de Nivel:** Líneas de igual altitud generadas a partir de los modelos digitales de terreno.
- **Restitución Fotogramétrica:** Proceso de modelado tridimensional del terreno a partir de imágenes aéreas estereoscópicas.
- **True Ortho (Ortofoto Verdadera):** Ortoimagen generada sin desplazamientos laterales, donde todos los elementos están correctamente posicionados planimétricamente.
- **ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing):** Sociedad internacional que establece los estándares de precisión y calidad para levantamientos LiDAR y fotogrametría. En este proyecto se aplicaron los estándares vigentes ASPRS 2024.
- **.LAS:** Formato estándar internacional de almacenamiento de datos de nubes de puntos LiDAR.
- **XML:** Formato de intercambio de datos estructurados, utilizado en geoprocesamiento y documentación de metadatos geoespaciales.
- **Digitalización Cartográfica:** Proceso de conversión de datos gráficos analógicos en formatos vectoriales digitales.

2 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 Extensión de la zona de levantamiento topográfico

La toma de fotografías aéreas, el levantamiento topográfico con tecnología LiDAR, las secciones transversales y la batimetría, se realizará en un total de 17 ríos priorizados para un área de 189114 hectáreas en el Valle del Cauca

2.2 Hidrología y geomorfología

Los ríos priorizados presentan una amplia variedad de condiciones geomorfológicas, desde zonas de alta pendiente hasta planicies aluviales, con presencia de humedales, bosques inundables y áreas de alta biodiversidad.

2.3 Limitaciones operativas y logísticas

Algunas zonas pueden presentar accesibilidad restringida, dificultades por orden público y condiciones de clima adversas para la ejecución de trabajos de campo y de vuelos.

3 METODOLOGIA

La metodología propuesta para el desarrollo del **Estudio Topográfico mediante vuelos LiDAR, geodesia y batimetría** se estructurará en fases sucesivas que garantizarán el cumplimiento de los objetivos del servicio. Cada fase integrará actividades de campo y gabinete, bajo normas técnicas nacionales e internacionales, asegurando precisión y confiabilidad en los resultados.

3.1 Marco conceptual

El levantamiento topográfico se ejecutará bajo un enfoque integral, considerando tres componentes:

3.1.1 Georreferenciación

- **Estaciones base temporales de apoyo al vuelo:** El contratista deberá establecer estaciones base temporales GNSS de multifrecuencia, localizadas de modo que la distancia al sensor durante el vuelo no supere los 30 km, con ángulos de elevación adecuados y $PDOP \leq 4$. Estas estaciones deben ser posicionadas y procesadas como una red de orden tres, y se deben incluir los puntos de referencia existentes en las estaciones del río Cauca para el amarre de cerros de mira. Las mediciones deben realizarse de manera simultánea, con tiempos de observación continua de 8 a 24 horas, empleando equipos registrados ante la IGS y la NOAA y procesando los datos con software científico y efemérides precisas.
- **Puntos de fotocontrol:** Los puntos de fotocontrol se distribuirán homogéneamente en toda el área de levantamiento aéreo, con una densidad mínima de 5 puntos por bloque de vuelo, incrementándose en zonas de mayor complejidad geomorfológica. La georreferenciación se realizará mediante GNSS diferencial (RTK o PPK), con precisión horizontal ≤ 5 cm y vertical ≤ 7 cm. Los puntos deben ser materializados con marcas visibles desde el aire y cumplir con los requisitos de visibilidad y redundancia. Se entregará la ficha de localización y archivos en formato .shp y .kml. Para el área del proyecto se planificarán 38 puntos de chequeo los cuales se tomarán una vez se cuente con la ortofoto para que sean marcados en este producto y así realizar el control posicional del mismo.
- **Red geodésica de orden cuatro:** Para el apoyo topográfico, se instalará una red geodésica de orden cuatro, con precisiones absolutas de 0,070 m (horizontal) y 0,085 m (vertical), y relativas de 0,065 m y 0,070 m respectivamente. Las observaciones serán simultáneas, con tiempos de medición entre 1 y 8 horas. Se entregará ficha de localización de cada punto, coordenadas y archivos en .shp y .kml

3.1.2 Levantamiento LiDAR y Fotogrametría RGB

Levantamiento de Datos LiDAR

- El levantamiento topográfico LiDAR se realizará con aeronave tripulada conforme a la RAC 4, capítulo 7, sección 8, numeral 4.7.8.2, y equipos especificados en los pliegos. Los vuelos acoplados permitirán la captura simultánea de datos LiDAR y fotografías aéreas. Se debe garantizar una densidad mínima de 8 puntos/m² y precisión altimétrica de ± 15 cm en toda el área de estudio. El procesamiento incluirá ajuste entre fajas, generación de archivos LAS por faja de vuelo, depuración, filtrado y clasificación de la nube de puntos en al menos cinco categorías: terreno, vegetación baja, media y alta, edificaciones y ruido.

La nube de puntos LiDAR, ajustada y clasificada, será entregada en formato LAS, dividida en tiles, georreferenciada en MAGNA-SIRGAS Origen Nacional y alturas ortométricas reducidas con GeoValle.

Ortoimágenes (ORTO10)

- La generación de Ortoimágenes deberá cumplir los lineamientos del IGAC y la Resolución 197 de 2022, garantizando resolución espacial máxima de 10 cm, error medio cuadrático $\leq 0,3$ m y exactitud posicional $\leq 0,52$ m. Las imágenes serán ortorectificadas utilizando MDT y parámetros de calibración del sensor, y entregadas en formato TIFF (GeoTIFF, sin compresión) y ECW, con cubrimiento estereoscópico del 100% del área y buffer de 200 m. Se entregarán también índices de fotografías, vistas rápidas en JPG, certificados de calibración y reportes de condiciones climáticas.

Modelos Digitales (MDT, MDS, MDTi)

Se generarán tres modelos digitales:

- Modelo Digital de Terreno (MDT): Generado a partir del procesamiento de la nube de puntos LiDAR filtrada y clasificada, con resolución de 1 m, exactitud vertical $\leq 0,60$ m, RMSEz $\leq 0,30$ m, formato GeoTIFF 32 bits y ECW, georreferenciado y con metadatos completos.
- Modelo Digital de Superficie (MDS): Mismas especificaciones que el MDT, pero derivado de la nube de puntos sin clasificar.
- Modelo Digital de Terreno Integrado (MDTi): Integración del MDT con datos de secciones transversales y batimetría, cumpliendo los mismos estándares de calidad y entregado en los mismos formatos.

3.1.3 Batimetría de cauces

- **Secciones transversales:** Deben levantarse perpendiculares al eje del cauce, documentando taludes, márgenes y planicies de inundación, de tal manera que puedan ser empalmadas con los datos LiDAR. La ubicación se georreferenciará con precisión centimétrica y se documentará el proceso de levantamiento, condiciones de caudal y observaciones de campo. Se entregarán tablas Excel (.xlsx) con abscisa, norte, este, cota y observaciones, así como nubes de puntos y polilíneas 3D en formato SIG (.shp).
- **Batimetría:** Se realizará en los tramos señalados de río, utilizando ecosonda o vadeo con GNSS según profundidad y condiciones del cauce. Los datos se entregarán en formato Excel y como nube de puntos SIG, acompañados de la documentación metodológica completa.

3.2 Recursos utilizados

3.2.1 Recursos humanos:

El proyecto contará con:

- Director de Proyecto
- Coordinador Fotogrametría
- Coordinador de Geodesia
- Coordinador de Calidad
- Operador de sensor
- Piloto

3.2.2 Recursos materiales y tecnológicos:

- Aeronave tripulada con autonomía mínima de 3 horas.
- 02 sensores LiDAR con frecuencia ≥ 2000 kHz y precisión vertical < 5 cm.
- 02 cámaras métricas RGB de 150 MP con integración GNSS/INS.
- 06 receptores GNSS de doble frecuencia.
- 02 ecosondas monohaz para batimetría.
- 06 estaciones de trabajo de alto rendimiento para procesamiento de datos.

3.3 Errores máximos tolerables

Se garantizará que los productos cumplan con los siguientes estándares de exactitud, de la normativa del IGAC:

3.3.1 Red Orden 3 - Estaciones base

- Precisión horizontal: ± 0.025 m.
- Precisión vertical: ± 0.040 m.

3.3.2 Puntos de fotocontrol

- Precisión horizontal: ± 0.050 m.
- Precisión vertical: ± 0.070 m.

3.3.3 Red orden cuatro

- Precisión horizontal: ± 0.070 m.
- Precisión vertical: ± 0.085 m.

3.3.4 LiDAR

- Precisión vertical absoluta: $\leq \pm 15$ cm.
- Precisión horizontal: $\leq \pm 10$ cm.

3.3.5 Ortoimágenes

- Resolución: 10 cm GSD.
- Error posicional: error medio cuadrático $\leq 0,3$ m y exactitud posicional $\leq 0,52$ m.

3.3.6 Batimetría

- Precisión horizontal y vertical referida al vértice de amarre, sea red tercer o cuarto orden.

3.4 Certificación de calibración de equipos

Previo al inicio de los trabajos, todos los equipos (LiDAR, cámaras, GNSS, ecosondas), tendrán los **certificados de verificación y/u operatividad** (según aplique) emitidos por laboratorios acreditados.

Estos documentos serán compartidos previo al inicio de los trabajos para validación por parte de la Entidad. En el anexo Equipos se pueden consultar los documentos de los equipos con los que se atendería de manera inicial el proyecto.

3.5 Escalas de trabajo

Conforme a lo establecido en el anexo técnico LP 008-2025

La densidad de puntos LiDAR, la resolución de ortofotos y la planificación de vuelos se diseñarán para garantizar estas escalas.

4 DESARROLLO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

4.1 Planificación y Ejecución

4.1.1 Georreferenciación

El trabajo de campo se desarrollará en varias fases, iniciando con la georreferenciación y el establecimiento de redes de control geodésico, como base fundamental para los vuelos LiDAR, el vuelo fotogramétrico y la batimetría. Estas actividades permitirán asegurar la precisión absoluta y relativa de los productos finales.

Una vez se cuente con la red de tercer orden identificada se dará inicio a la monumentación de la red de cuarto orden y la determinación con métodos de posicionamiento satelital en estático diferencial para cada uno de los puntos que compondrán la red robusta del proyecto.

Todas las tareas se ejecutarán bajo protocolos de control de calidad, con procedimientos preestablecidos que serán supervisados en coordinación con la Entidad. En el anexo Georreferenciación se encuentran los archivos gráficos de la planificación de las actividades de Red de tercer orden, Red de cuarto Orden y fotocontrol. Se consultará la normatividad vigente para trabajos de georreferenciación, así como la que indican los TdR resolución 1468 de 2021 del IGAC.

La información colectada durante los diferentes trabajos una vez sea revisada, calculada y aprobada por SIGLA SAS, será compartida a la interventoría. Este proceso se realizará una vez se cuente con productos completos y previo a la entrega de los bloques establecidos de entregas.

4.1.2 Sistema de referencia

Los datos geoespaciales originales y los productos derivados, debe hacer uso del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia para Colombia, MAGNA-SIRGAS con los parámetros de proyección cartográfica "Origen Nacional" (EPSG:9377). El sistema de referencia vertical empleado será el que tiene origen en el mareógrafo de Buenaventura. Para realizar la transformación de alturas elipsoidales a ortométricas, se utilizará el modelo geoidal local GeoValle.

Todo el procesamiento de la información se hará en el sistema Magna Oeste y al final se realizará una copia de los productos a Origen Nacional.

4.1.3 Planificación de la georreferenciación

La red de Tercer orden estará compuesta por los 29 vértices de las estaciones de monitoreo del Río Cauca, y adicional los puntos que se requieran nuevos (Bases de vuelo) para dar apoyo a los vuelos. Por análisis espacial se evidencia que la red de estaciones de monitoreo da cobertura a la mayoría del proyecto mas no a todo, por lo que se hace necesario instalar algunos puntos nuevos para zonas en las cuales no hay puntos de la red de monitoreo y otras zonas en las cuales no se logra la cobertura de 30Km para el apoyo a los vuelos.

La red de Cuarto orden redensificará la red de tercer orden buscando tener puntos a lo largo de todas las áreas del proyecto para el amarre de las actividades de batimetrías y secciones

transversales. Se instalará un punto cada 5 kilómetros con el fin de tener apoyo en RTK para las batimetrías y vectores cortos desde la red de tercer orden para su determinación.

Los puntos de apoyo fotogramétrico serán distribuidos en cantidad mínima de 5 por cada bloque fotogramétrico, homogéneamente en toda el área del levantamiento aéreo, abarcando las zonas centrales, intermedias y los bordes del área de vuelo.

4.1.4 Base de Estación de Rastreo Permanente – ERP

Para el desarrollo del Estudio Topográfico mediante vuelos LiDAR, geodesia y batimetría, se implementará un sistema de control geodésico basado en la Red Geodésica Nacional de Referencia, tomando como puntos de enlace las Estaciones de Rastreo Permanente (ERP): CALI, VTUL, ZARZ, BUEN, INRI, POPA y PERA. La disponibilidad y estado de actividad de las ERP será verificado previo al inicio de los trabajos de posicionamiento con el fin de garantizar un mínimo de dos vectores por cada punto de red de tercer orden.

A partir de estas estaciones oficiales se materializará la Red de tercer orden del proyecto, mediante observaciones GNSS con metodología de posicionamiento estático, las cuales serán procesadas y ajustadas conforme a los lineamientos técnicos del proyecto.



Ilustración 4-1 ERP (Estaciones de Rastreo Permanente).
Fuente: <https://www.colombiaenmapas.gov.co/>

Posteriormente, se establecerá la Red de cuarto orden, la cual permitirá densificar el control en el área de estudio. Con base en las redes de tercer y cuarto orden, se generarán los puntos de apoyo de control fotogramétrico y LiDAR, necesarios para garantizar la correcta georreferenciación de los productos topográficos

4.1.5 Red de Tercer Orden

4.1.5.1 Monumentación – Red Tercer Orden

La red de tercer orden estará conformada por 29 puntos de amarre de cerros de mira de las estaciones del Río Cauca, adicionalmente en donde no se tengan estos puntos se establecerán vértices nuevos, siendo 6 los necesarios para completar la red de Tercer orden, distribuidos estratégicamente dentro del área del proyecto, cubriendo un radio operativo de 30km. El total de puntos de Red de tercer Orden es de 35. La selección considerará estabilidad del terreno, seguridad, cielo abierto/visibilidad GNSS y facilidad de acceso para futuras campañas de observación.

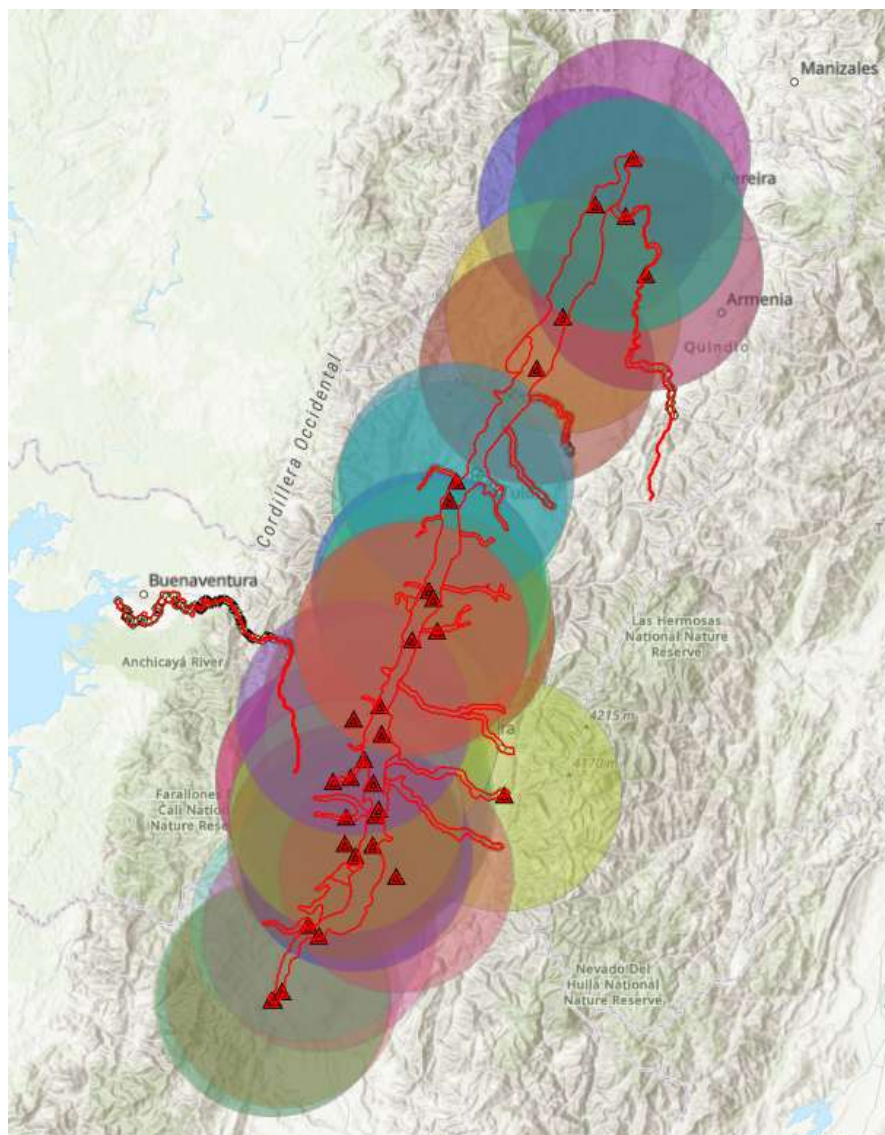


Ilustración 4-2 Cobertura Red Río Cauca – Análisis para selección de puntos de Red Tercer Orden.
Fuente: SIGLA-SAS

Puntos en estaciones de monitoreo Río Cauca: De la visita realizada a cada uno de los puntos que se encuentran definidos en las estaciones de monitoreo de Río Cauca, se evidencia que en su mayoría no cuentan con una buena ubicación para realizar su posicionamiento y asignar coordenadas precisas. Entendiendo la importancia que estos puntos tienen se plantea la siguiente metodología para la determinación de estos puntos.

1. Evaluación de calidad de señal que se puede recibir en los receptores GNSS: Se realizará acercamiento a cada punto y se analizará la calidad de la ubicación que se tiene para cada punto, revisando horizonte, obstáculos y posibilidad de armado del equipo para realizar la sesión de posicionamiento.
2. Si el punto actual no tiene condiciones para ser posicionado, se buscará lo más cerca posible un lugar en el cual realizar la materialización (mojón o incrustación) y posicionamiento ligado a las bases del vuelo las cuales ya han sido determinadas desde las estaciones de rastreo permanente oficiales del IGAC.
Para este posicionamiento se calculará el tiempo mínimo para cada punto basado en la distancia a cada base y así realizar la triangulación que permita garantizar la calidad de cada punto. Desde el nuevo punto se darán coordenadas al punto existente de la red de monitoreo de la CVC.

En la figura 4-3 se aprecian las bases de vuelo, las cuales hacen parte de la red de tercer orden. De estas bases las que se nombran SIGLA1 a SIGLA6 corresponde a mojones nuevos construidos para dar cobertura a los vuelos.

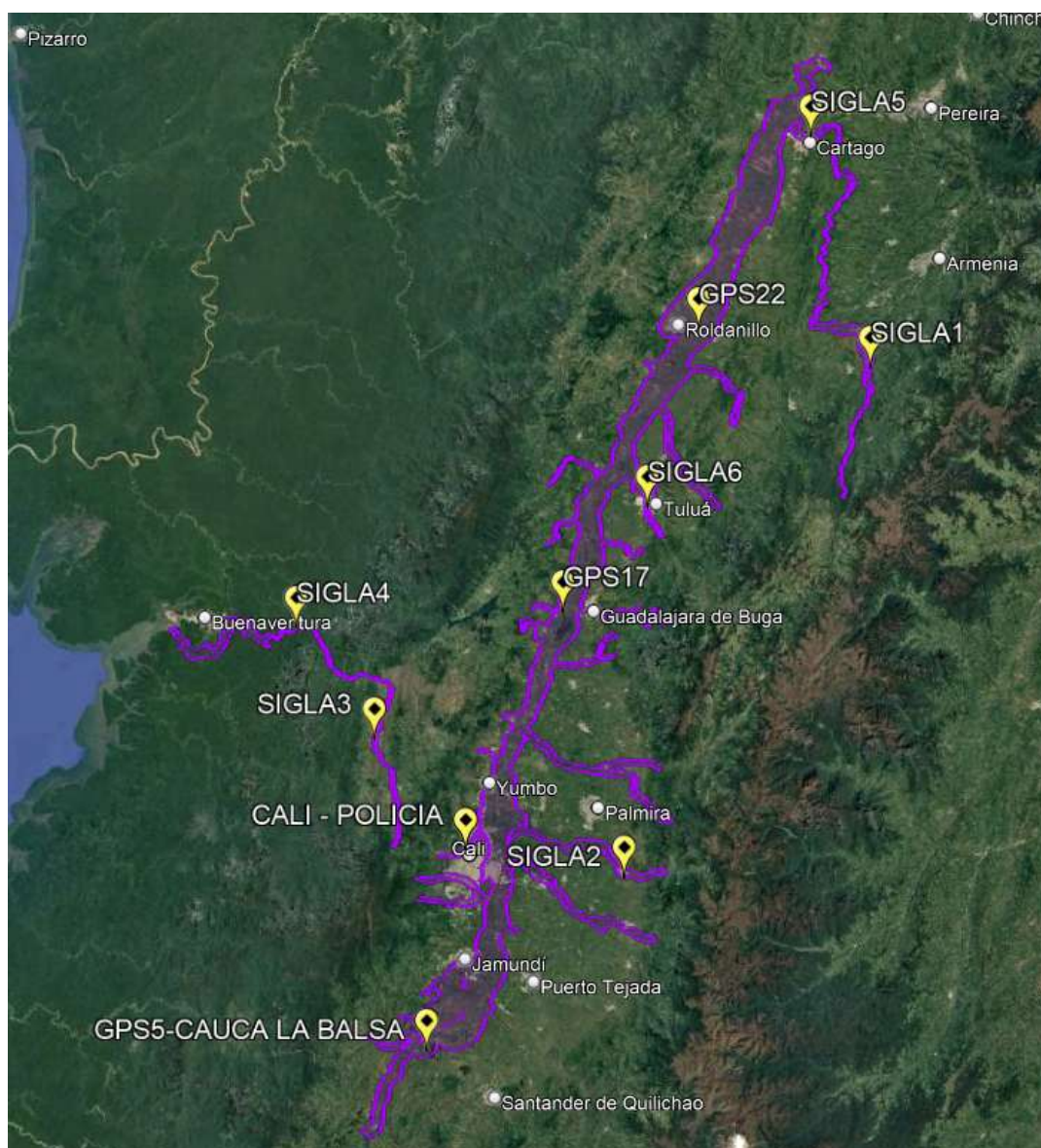


Ilustración 4-3. Bases de vuelos - Red Tercer Orden.
Fuente: SIGLA-SAS

4.1.5.2 Materialización de los mojones Red de tercer orden

La materialización de los hitos geodésicos puede ser de mojón o incrustación, conforme a las especificaciones de la Resolución No. 1468 de 2021 del IGAC, empleando según las condiciones de campo.

Hitos tipo mojón: Los hitos serán construidos mediante monolitos de concreto ciclópeo con dimensiones de 0.30 m x 0.30 m de base y 0.80 m de profundidad y a los 0,6 metros de excavación se realiza una base en forma de pata de elefante de 0,18 m de profundidad por 0,47 m de ancho.

Una vez terminada la excavación se debe colocar la varilla de acero, mientras se deposita y rellena la excavación con la mezcla de concreto. Proceder a colocar la formaleta sobre el suelo cuyas dimensiones deben ser 0,30 m de ancho (interna) x 0,30 m de largo (interna) x 0,20 m de alto, luego continuar relleno la formaleta con la mezcla hasta el borde superior, quedando a ras. Una vez esté el concreto endurecido se debe poner la placa en aluminio que lo identifica.

Respecto a la altura que sugiere la norma debe tener de altura el mojón del suelo, la cual es de 20cm, esta se garantizará en los sitios que sea posible hacerlo. En diversos proyectos se han

presentado inconvenientes para garantizar esta altura por negativas de propietarios al dejar un elemento de estas características como obstáculo dentro del predio, en otros casos se ha tenido inconveniente en derechos de vía al ser este un elemento que causa distracción y es un riesgo para los vehículos.

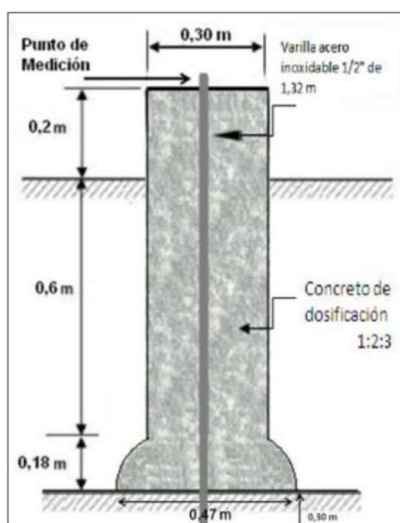


*Ilustración 4-4 Monumentación Tipo mojón.
Fuente: resolución 1468 de 2021 IGAC.*

Hitos incrustados: Se realizarán las incrustaciones sobre estructuras estables o roca dura, si se realiza sobre un puente vehicular constrúyalo en los extremos de este (rampas de acceso), al inicio o al final del puente y no en una de las secciones centrales, puesto que no garantiza la estabilidad para las mediciones, asegúrese de que la placa de concreto tenga un grosor mayor a 50 cm. Para realizar la perforación del orificio, utilice el puntero o cincel (de ser necesario), para perforar y posteriormente incrustar la varilla de acero y fijarla con la mezcla. La placa debe estar orientada de manera que facilite una cómoda lectura de la nomenclatura.



*Ilustración 4-5 Monumentación Tipo incrustación.
Fuente: Propia.*

4.1.5.3 Observación GNSS – Red tercer orden

Las observaciones GNSS de la red de tercer orden se realizará en dos etapas. La primera abarcará las bases de vuelo compuesta por 10 puntos serán el apoyo a los vuelos se realizarán aplicando la

metodología de Posicionamiento Geodésico Estático Relativo, siguiendo los lineamientos técnicos del Instituto Geográfico IGAC.

Se programarán sesiones con tiempos de ocupación adecuados a la longitud de las líneas base en tiempo mínimo de 8 horas, garantizando redundancia de datos y condiciones de visibilidad óptimas. Los datos recolectados se procesarán utilizando como referencia las ERP activas los días de los posicionamientos.

La segunda etapa de posicionamiento consistirá en que a partir de las bases de vuelo ya determinadas se tendrán un mínimo de dos bases simultáneas para los puntos a determinar, adicional se dará apoyo con la estación de rastreo permanente mas cercana a los puntos y así tener un mejor ajuste y robustez en la red. Los tiempos mínimos de rastreo de esta segunda etapa será de cuatro horas. Con este tiempo se garantizará el cumplimiento de la calidad posicional de los puntos que conforman la red de tercer orden.

Parámetros Técnicos de Observación:

Parámetro	Descripción
Método de Observación	Estático Relativo GNSS
Constelaciones utilizadas	GPS, GLONASS
Frecuencia de muestreo	1 Hz (1 dato por segundo)
Número mínimo de épocas	900 épocas (mínimo)
Tiempo de observación	≥ 8 horas por punto
Máscara de elevación	13°
PDOP máximo permitido	≤ 4.0
Equipos utilizados	Receptores GNSS multifrecuencia
Antenas	Antenas GNSS en NOAA
Registro de datos	Nativo + Conversión a RINEX
Altura de antena	Medida en campo, registrada en ficha de observación GNSS

Tabla 4-1. Parámetros de Observación GNSS, Red de tercer orden.
Fuente: Elaboración propia.

Los puntos de la red de estaciones de monitoreo que no cumplan con un mínimo de horizonte para ser posicionados tendrán el siguiente tratamiento: Se buscará un lugar cercano con mejor horizonte para poder recibir señal satelital, una vez escogido el lugar se realizará la monumentación de punto “auxiliar” como se indicó en el apartado 4.1.5.2 del presente documento. Desde el punto “auxiliar” se realizará el traslado de las coordenadas al punto original que requiere la CVC para asignarle las coordenadas y cota precisa.

4.1.6 Red de cuarto orden

4.1.6.1 Monumentación - Red de cuarto orden

La Red Geodésica Secundaria se establecerá con el propósito de proporcionar el control geodésico de apoyo necesario para los trabajos de campo y futuro replanteo durante la ejecución del proyecto.

El prediseño de la red de cuarto orden da como total 101 pares de vértices a ser construidos, distribuidos estratégicamente a lo largo del área del proyecto, con una separación promedio de 5 km entre sí o según se requieran ser instalados para dar las bases para los levantamientos convencionales. En la ilustración 5 se aprecian en amarillo los pares a construir.

La red de cuarto orden contará con las siguientes funciones:

En trabajos con estación total, utilizar el punto base como estación y el azimut como vista atrás, garantizando control angular y orientación inmediata.

En posicionamiento GNSS RTK, disponer de dos referencias próximas para observaciones simultáneas o redundantes; en caso de pérdida o inaccesibilidad de un punto, el segundo asegura continuidad de las mediciones.

En futuras etapas de ejecución, contar con referencias confiables para levantamientos topográficos, replanteos y control de calidad de las campañas de LiDAR, fotogrametría y batimetría.

Este esquema de pares cada 5 km asegura el amarre geométrico robusto, la redundancia necesaria y la trazabilidad de los trabajos topográficos, aportando confiabilidad y soporte directo a todas las fases del proyecto.

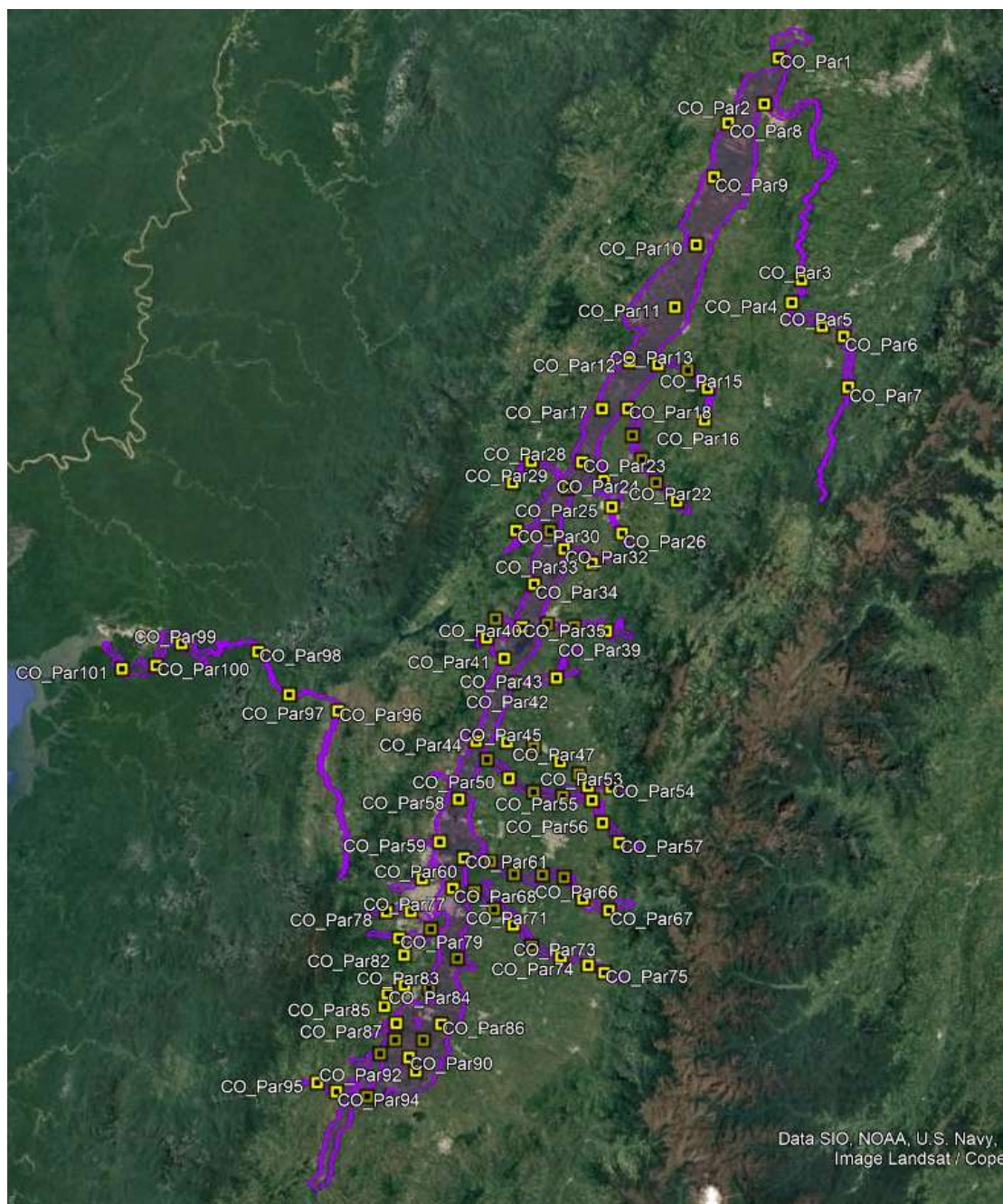


Ilustración 4-6 Red de Cuarto Orden.
Fuente: Propia.

4.1.6.2 Materialización - Red Cuarto Orden

La cantidad de puntos planificados corresponde a 101 pares de mojones distribuidos a lo largo de todos los afluentes objeto de trabajos de secciones batimétricas.

La materialización de los hitos geodésicos puede ser de mojón o incrustación, conforme a las especificaciones de la Resolución No. 1468 de 2021 del IGAC, empleando según las condiciones de campo.

Hitos tipo mojón: Los hitos serán construidos mediante monolitos de concreto ciclópeo con dimensiones de 0.30 m x 0.30 m de base y 0.80 m de profundidad y a los 0,6 metros de excavación se realiza una base en forma de pata de elefante de 0,18 m de profundidad por 0,47 m de ancho.

Una vez terminada la excavación se debe colocar la varilla de acero, mientras se deposita y rellena la excavación con la mezcla de concreto. Proceder a colocar la formaleta sobre el suelo cuyas dimensiones deben ser 0,30 m de ancho (interna) x 0,30 m de largo (interna) x 0,20 m de alto, luego continuar relleno la formaleta con la mezcla hasta el borde superior, quedando a ras. Una vez esté el concreto endurecido se debe poner la placa en aluminio que lo identifica.

Respecto a la altura que sugiere la norma debe tener de altura el mojón del suelo, la cual es de 20cm, esta se garantizará en los sitios que sea posible hacerlo. En diversos proyectos se han presentado inconvenientes para garantizar esta altura por negativas de propietarios al dejar un elemento de estas características como obstáculo dentro del predio, en otros casos se ha tenido inconveniente en derechos de vía al ser este un elemento que causa distracción y es un riesgo para los vehículos.

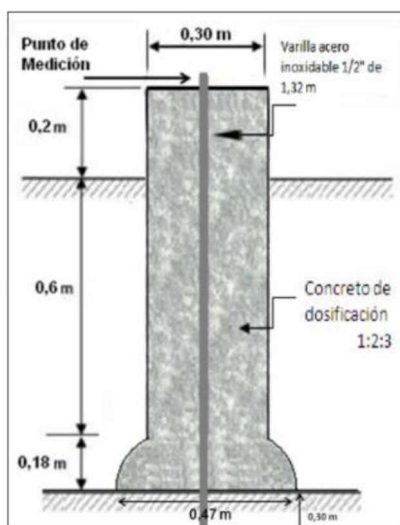


*Ilustración 4-7 Monumentación Tipo mojón.
Fuente: resolución 1468 de 2021 IGAC.*

Hitos incrustados: Se realizarán las incrustaciones sobre estructuras estables o roca dura, si se realiza sobre un puente vehicular constrúyalo en los extremos de este (rampas de acceso), al inicio o al final del puente y no en una de las secciones centrales, puesto que no garantiza la estabilidad para las mediciones, asegúrese de que la placa de concreto tenga un grosor mayor a 50 cm. Para realizar la perforación del orificio, utilice el puntero o cincel (de ser necesario), para perforar y posteriormente incrustar la varilla de acero y fijarla con la mezcla. La placa debe estar orientada de manera que facilite una cómoda lectura de la nomenclatura.



Ilustración 4-8 Monumentación Tipo incrustación.
Fuente: Propia.

4.1.6.3 Observación GNSS - Red cuarto orden

Las observaciones GNSS de los puntos de red de cuarto orden se realizarán aplicando la metodología de Posicionamiento Geodésico Estático Diferencial, siguiendo los lineamientos técnicos del Instituto Geográfico IGAC.

Se programarán sesiones con tiempos de ocupación adecuados a la longitud de las líneas base, garantizando redundancia de datos y condiciones de visibilidad óptimas. Los datos recolectados se procesarán utilizando como referencia los puntos de Red de Tercer Orden o las ERP.

Parámetros Técnicos de Observación:

Parámetro	Descripción
Método de Observación	Estático Relativo GNSS
Constelaciones utilizadas	GPS, GLONASS
Frecuencia de muestreo	1 Hz (1 dato por segundo)
Número mínimo de épocas	900 épocas (mínimo)
Tiempo de observación	1 hora mínimo por punto
Máscara de elevación	13°
PDOP máximo permitido	≤ 4.0
Equipos utilizados	Receptores GNSS multifrecuencia
Antenas	Antenas GNSS en NOAA
Registro de datos	Nativo + Conversión a RINEX
Altura de antena	Medida en campo, registrada en ficha de observación GNSS

Tabla 4-2. Parámetros de Observación GNSS, Red Cuarto Orden.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.7 Puntos de Apoyo Fotogramétrico y LiDAR

4.1.7.1 Marcado de los Puntos de Apoyo

Los puntos de fotocontrol se marcarán y distribuirán en cantidad mínima de 5 puntos por bloque fotogramétrico. Se han definido 10 bloques fotogramétricos para realizar la distribución de los puntos GCP (Ground control points) para ajuste de productos, en los anexos se adjunta el KMZ para esta distribución.

Cantidad y uso

- Se marcarán 55 puntos para control operativo del bloque (aerotriangulación / ajuste de trayectoria LiDAR).

Criterio espacial y de accesibilidad

- Relación con el polígono y líneas de vuelo: los puntos de fotocontrol se ubicarán en el exterior, interior y franja intermedia del polígono, tomando como base el trazado de líneas de vuelo GNSS/INS y el acceso seguro a los puntos.
- Cadencia a lo largo del bloque: espaciado variable entre 1 y 5 km, ajustado a la longitud de líneas, solapes y geometría del bloque.
- Refuerzo en zonas clave: vértices del bloque, extremos de líneas de vuelo, cambios de rumbo y sectores con relieve complejo.
- Señalización y visibilidad: marcas de alto contraste y centro definido, tamaño acorde al GSD.



Ilustración 4-9 Tipos de marcación de puntos de fotocontrol
Fuente: Elaboración propia.

La ilustración 7, muestra los 10 bloques fotogramétricos y la distribución de los puntos GCP dentro de las áreas del proyecto.

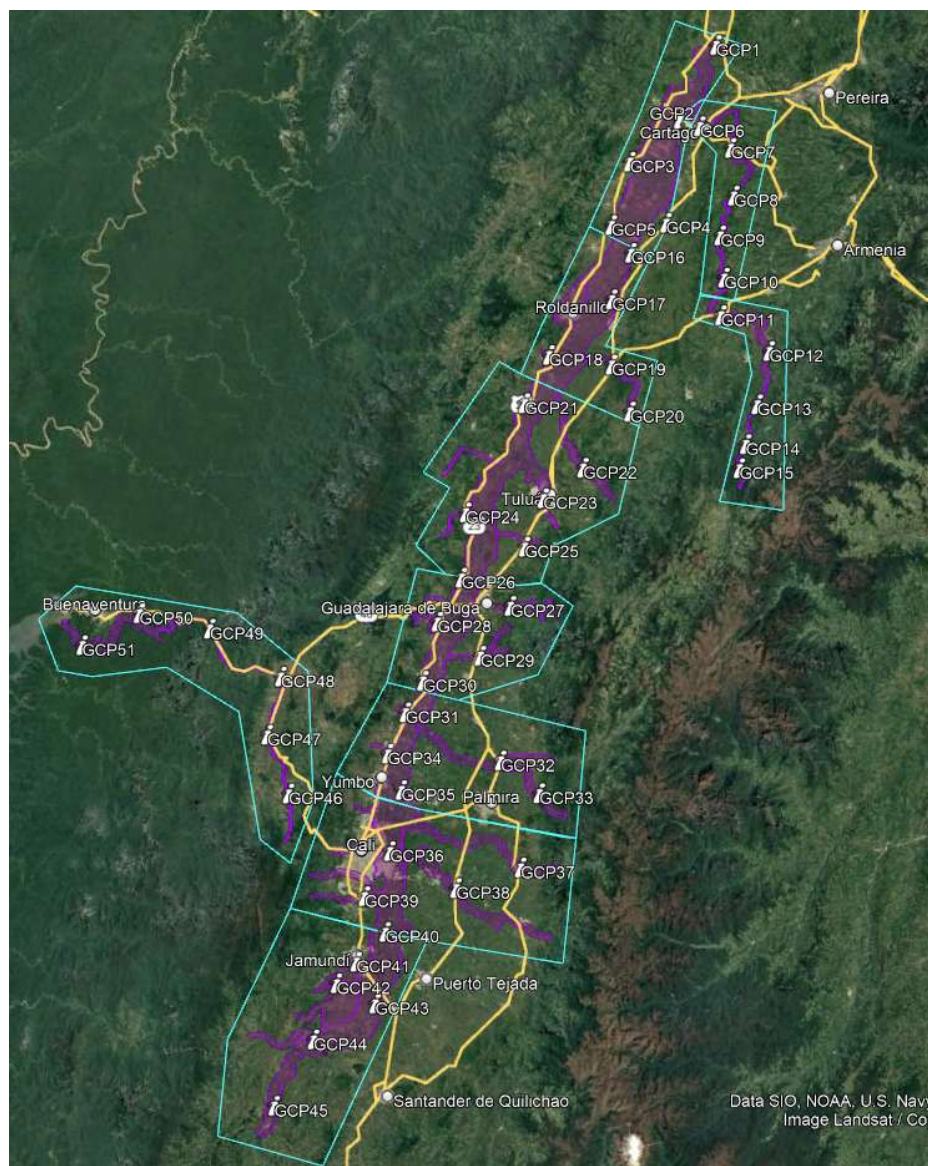


Ilustración 4-10 Bloques propuestos y distribución de GCP.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.7.2 Observación GNSS de los puntos de fotocontrol

Cada uno será posicionado mediante observación GNSS de alta precisión, bajo el siguiente esquema técnico:

Parámetros Técnicos de Observación:

Parámetro	Descripción
Método de Observación	Estático Relativo GNSS
Constelaciones utilizadas	GPS, GLONASS
Frecuencia de muestreo	1 Hz (1 dato por segundo)
Número mínimo de épocas	900 épocas (mínimo)
Tiempo de observación	1 hora mínimo por punto
Máscara de elevación	13°
PDOP máximo permitido	≤ 4.0
Equipos utilizados	Receptores GNSS multifrecuencia

Antenas	Antenas GNSS en NOAA
Registro de datos	Nativo + Conversión a RINEX
Altura de antena	Medida en campo, registrada en ficha de observación GNSS

Tabla 4-3. Parámetros de Observación puntos fotocontrol.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.7.3 Vinculación a las Redes Geodésicas de los puntos de fotocontrol

Se medirán tomando como referencia del proyecto los vértices de las redes de tercer y cuarto orden, así como las ERP cercanas.

4.1.7.4 Puntos de chequeo

Los puntos de chequeo serán marcados sobre la ortofoto del proyecto para ser posicionados en cantidad de 38 puntos según lo indica la resolución 197 de 2022 del IGAC para esta área de proyecto, y así validar la precisión posicional de este producto. Una vez se cuente con las ortofotos se realizará la marcación y posterior posicionamiento, siendo entregado el kmz para la validación por parte de la interventoría.

4.1.7.5 Entregables de la georreferenciación

Se entregarán los datos crudos y procesados, archivos binarios y RINEX, carteras y cálculos de radiaciones, informes, subproductos y demás documentos o información que soporten la metodología, procedimientos, resultados y calidad final de los productos. Cada punto de la red de tercer y cuarto orden será resumido en una ficha de descripción.

4.2 Batimetrías y secciones transversales

Batimetrías: Se realizarán las batimetrías (levantamiento detallado del fondo del Río Cauca), generando una nube de puntos representativos del fondo, que permita obtener un modelo de terreno continuo de la superficie bajo agua, para seguimiento de las obras de protección y comportamiento de la erosión de orilla, de tal manera que la distancia a lo largo del muestreo no supere los 20 metros. Lo anterior se realizará a lo largo de dos tramos del Río Cauca, denominados Sector Vuelta de las Córdoba 2.6 km y Sector Río Morales 2.8 km.

La metodología para la toma de las batimetrías en el Río Cauca será con ecosonda monohaz y sistema RTK, a partir de las coordenadas de los puntos que componen la red de cuarto orden, para la georreferenciación de las trayectorias de la embarcación.

La planificación de las secciones en Vuelta Las Córdobas, separadas cada 20m, da una cantidad de 251 secciones a tomar.

La cantidad de secciones para el sector Río Morales es de 216 unidades.



Ilustración 4-11 Batimetría Vuelta de Las Córdoba.
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 4-12 Batimetría sector Río Morales.
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Equipos

Para la ejecución de los trabajos se emplearán equipos de alta precisión y de avanzada tecnología, a continuación, se detalla la relación de estos:

Marca	Modelo
Teledyne	Echotrac E20
Bathylogger	BL200

Tabla 4-4. Equipos para batimetrías.

Fuente: Elaboración propia.

Esta metodología con Ecosonda monohaz se estima será empleada en el Río Cauca y Río Dagua dadas las características de los dos. Las embarcaciones en las cuales se realizará el montaje serán buscadas en las poblaciones rivereñas al Río Cauca y Río Dagua.

4.2.2 Software de levantamiento batimétrico

Se empleará el software nativo de los equipos o en su defecto el Hypac en su módulo para levantamientos con monohaz.

Las principales funciones del software son las siguientes:

- Diseño: HYPACK® 2023, contiene herramientas poderosas para planificar velozmente el levantamiento y exponer los resultados.
- Levantamiento HYPACK® 2023, posee una interfaz amigable para poder configurar rápidamente el sistema para el levantamiento, lo que permite una mayor flexibilidad y eficiencia e información para realizar el trabajo.
- Importación de ficheros de fondo como DXF, DGN, GeoTIF, ARCS, S-57, etc.
- Creación Líneas de Navegación simples o de múltiples segmentos.
- Visualización del progreso de la batimetría. Visualización del estado de los sensores.
- Visualización del perfil en tiempo real y ventanas con información gráfica.
- Edición: La rutina de edición de gráficos de HYPACK® 2023 brinda una rápida edición para los datos del levantamiento, visualización gráfica de los resultados obtenidos con los diferentes sensores (GPS, ecosonda, sensor de movimiento, etc.).
- Rápida edición y revisión de puntos individuales o bloques de datos.
- Aplicación de filtrados de datos para eliminar picos de datos obtenidos con el ecosonda.
- Edición de datos, módulo de Cálculo de Volúmenes y Secciones, modelado de superficies, aplicación de correcciones de la velocidad del sonido.
- Productos finales: Lo que realmente pone a HYPACK® 2023 sobre otros paquetes hidrográficos es la variedad de programas para el producto final.

A continuación, se muestran las secciones planificadas en cada uno de los sectores:



4.2.3 Georreferenciación de las trayectorias

La georreferenciación de las trayectorias se realizará en modo GNSS RTK, amarradas a las coordenadas y cota del proyecto en los puntos que componen la red de cuarto orden.

Esta metodología es ampliamente usada para realizar levantamientos en los que se desee fijar las coordenadas que usa el proyecto, con esto las coordenadas que se obtendrán estarán referidas a la época, proyección de coordenadas y cota de los puntos que se empleen para los levantamientos.

Secciones transversales: Se levantarán perpendiculares al eje del cauce, documentando taludes, márgenes y planicies de inundación, de tal manera que puedan ser empalmadas con los datos LiDAR. La ubicación se georreferenciará con precisión centimétrica y se documentará el proceso de levantamiento, condiciones de caudal y observaciones de campo. Se entregarán tablas Excel (.xlsx) con abscisa, norte, este, cota y observaciones, así como nubes de puntos y polilíneas 3D en formato SIG (shp).

La georreferenciación de las secciones se realizará con metodología RTK y/o con estación total, esto dependiendo de la seguridad de la zona, el acceso, y la cobertura de vegetación.

La cantidad de secciones para el Río Cauca es de 539, a continuación, se ilustran.

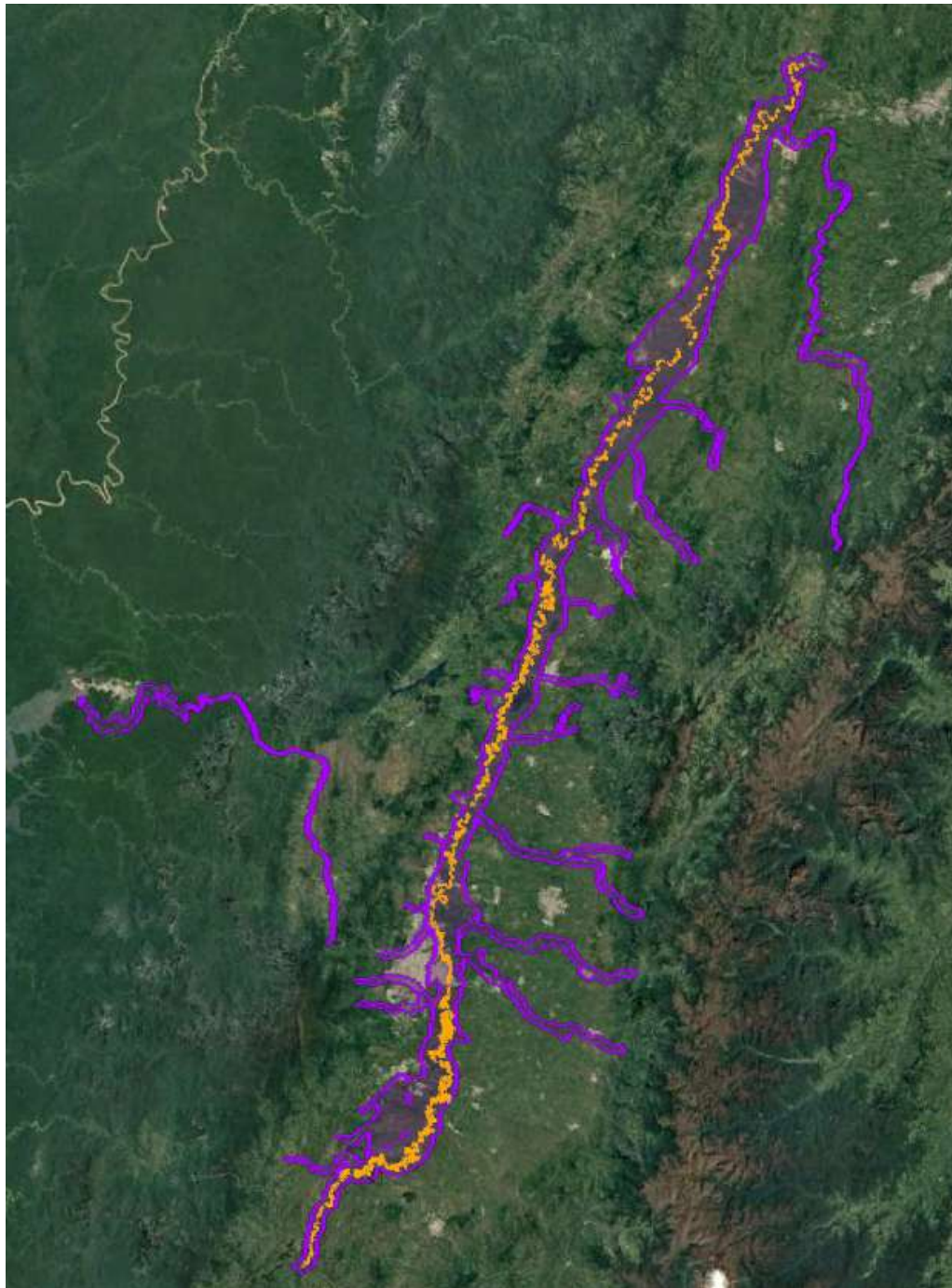


Ilustración 4-13 Secciones transversales Río Cauca
Fuente: Elaboración propia.

Las secciones transversales para los afluentes del proyecto suman en total 1782 unidades.

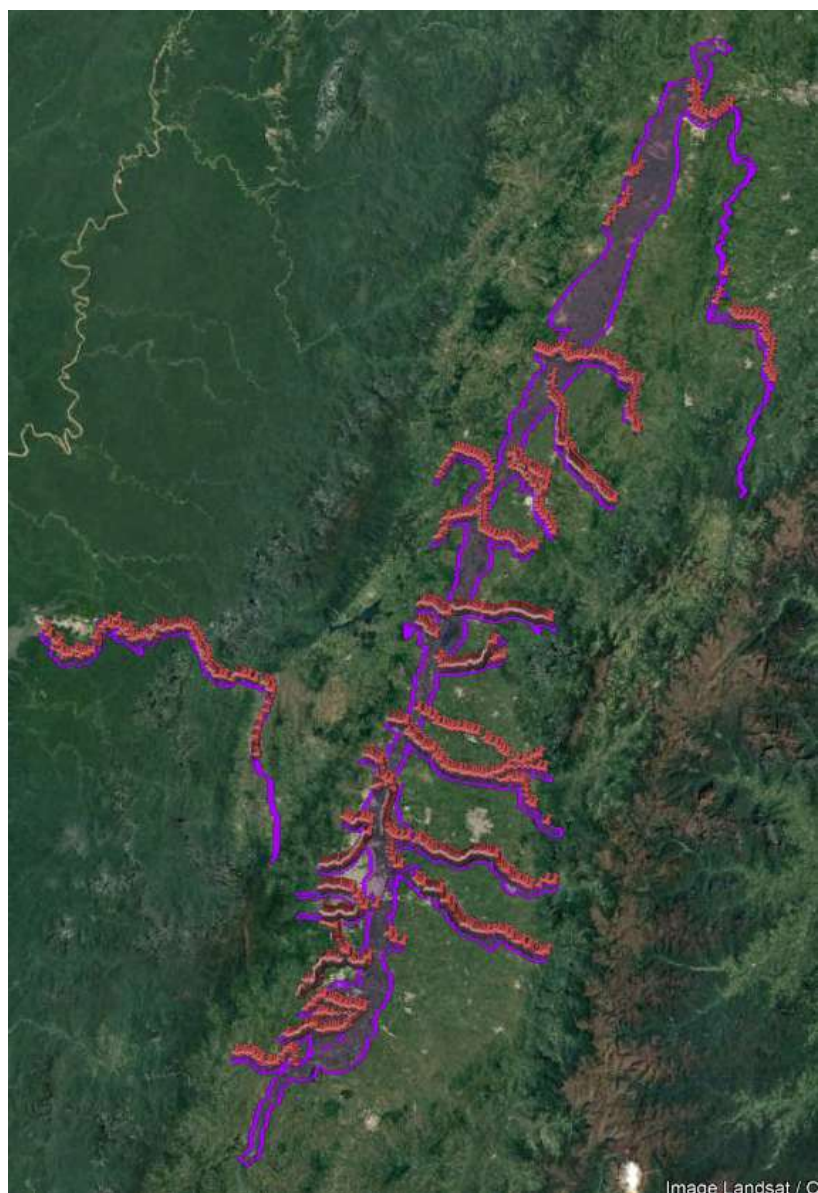


Ilustración 4-14 Secciones transversales totales de afluentes.
Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla resume las cantidades de secciones transversales por afluente:

Nombre	Secciones	Nombre	Secciones	Nombre	Secciones	Nombre	Secciones
Qda. Las Piedras	9	Río Mulaló	20	Río Cali	63	Río Pescador	10
Qda. El Rincón	6	Río Riofrio	19	Río Cañaverelejo	35	Río Piedras	20
Qda. San Pacho	6	Río San Pedro	38	Río Claro	24	Río Tuluá	30
Río Amaime	79	Río Sonso	86	Río Guadalajara	111	Río Vijes	13
Río Arroyohondo	20	Río Sonso-Tapias	7	Río Jamundí	125	Río Yotoco	20
Río La Vieja	52	Río Timba	24	Río Jamundí-Jordan	8	Río Yumbo	8
Río Lili	75	Río Bolo	140	Río La Paila	61	Río Guachinte	48
Río Mediacanoa	24	Río Bugalagrande	107	Río Nima	18	Río Dagua	163
Río Morales	29	Río El Cerrito	26	Río Pance	36	Río Desbaratado	5
Río Fraile	217						

Tabla 4-5. Cantidades de secciones transversales por afluente.
Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Entregables de los trabajos Batimétricos y Secciones transversales

Para los levantamientos de batimetrías con Ecosonda se realizará la entrega de los archivos de planificación, datos crudos de las trayectorias y mediciones de profundidad, datos procesados como listas de coordenadas y profundidades, y demás que soporten la calidad y completitud de los levantamientos.

En el caso de los trabajos convencionales de las secciones transversales, se entregarán las libretas de coordenadas en Excel, archivos crudos de estación total y/o de equipos RTK, y demás archivos que se considere soporten los trabajos ejecutados.

5 PLANIFICACIÓN DEL VUELO EN BASE A LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS EXIGIDAS Y LA ZONA DE TRABAJO.

Dada la delimitación de la zona a sobrevolar y apoyándonos en la cartografía existente, así como en datos de campo, se realiza la planificación inicial del vuelo fotogramétrico, teniendo presente las condiciones geométricas proporcionadas por el cliente. En el anexo PlanVuelo se presentan los archivos que soportan la planificación de la actividad para cumplir las especificaciones contratadas.

5.1 Componentes Del Sistema

Para el proyecto se cuenta con la opción de dos sistemas combinados de cámara fotogramétrica y sistema LiDAR

- Cámara:
 - Phase One iXM-RS 150F (Serial: MM011127)
 - Phase One iXA-R 180 (Serial: XJ000032)
- LiDAR
 - Riegl VQ 580II (Serial: H2224640)
 - Riegl VQ 580II (Serial: H2224632)
 - Riegl VQ 580IIS (Serial: H2229300)

Estos sistemas están siendo utilizados tanto en proyectos LiDAR que implican estudios de corredores, como en estudios que abarcan áreas extensas y entre sus ventajas respecto a otros equipos podemos citar la posibilidad de instalación en diversas aeronaves, para este proyecto se tienen disponibles dos aeronaves que cuentan con certificaciones disponibles:

- Avión Cessna 180 con matrícula HK877
- Helicóptero Hughes 369D Matrícula HK1934
- Helicóptero Eurocopter AS350 B2 Matrículas HK 4249 / HK5210

Para la realización del proyecto garantizando la calidad y como margen de seguridad sobre las condiciones técnicas establecidas se diseñó el plan de vuelo diferenciando las necesidades del proyecto, son mínimo 8 puntos/m² y el tamaño máximo de Píxel es de 0.10mt GSD.

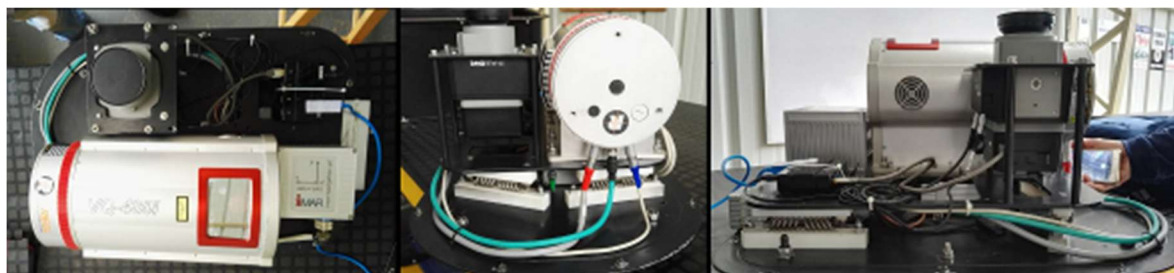


Ilustración 5-1. Sistema Combinado de Captura LiDAR- Cámara Alta resolución
Fuente: SIGLA-SAS

5.2 Parámetros De Vuelo Combinado LiDAR/Cámara

Los parámetros generales del vuelo fotogramétrico se observan en la Ilustración 5-2 y los de LiDAR en la Ilustración 5-3 la Tabla 5-1 presenta un resumen de los parámetros de vuelo a ejecutar.

PARAMETRO	VALOR
Altura de vuelo	638 m sobre el terreno
Velocidad del vuelo	110 nudos (204 km/h)
Ángulo de visión	75°
Densidad de la nube LiDAR	>8 pts. / m ²
Ancho de faja	554 m
GSD (Tamaño de píxel)	<10 cm
Recubrimiento Longitudinal	80%
Recubrimiento Transversal	40%

Tabla 5-1. Características generales del vuelo fotogramétrico
Fuente: Elaboración Propia

PLAN DE VUELO: FOTOGRAMETRÍA

Proyecto: **403 CVC Lidar_Batimetrias_SI-2025-1356**
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) 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: **753** m Para evitar el arrastre de píxel (desenfoque)
- Velocidad aeronave: **110** nudos **204** km/h **57** m/s
- Recubrimientos: Longitudinal: **80%** Transversal: **40%**
- Margen seguridad ancho: **5%**
- Ancho pasada segura: **810** m Ancho de pasada a dibujar
- Altura de vuelo ancho seguro: **606** m Límite inferior de la AGL

CONDICIONES RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA:
- Para zoom 1:2. Diferencial de paralaje: **0,5** píxeles
- Apreciación planimétrica: **0,030** m
- Apreciación altimétrica: **0,075** m (Con pares de fotos alternas)
- Relación B/H: **0,40** (Con pares de fotos alternas)

PARÁMETROS:

GSD	AGL	M	Imagen terreno		Superficie cubierta	Base aérea	Intervalo pasadas	Intervalo disparo
			Avance	Lateral				
0,060	638	15 957	639	852	54	128	511	2,259

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: **28165**

EQUIVALENCIA VUELO ANALÓGICO:

M	μ
2 500	24
5 000	12
8 000	8
18 000	3



Eje
001
002
Total

Ilustración 5-2. Plan de vuelo Fotogrametría
Fuente: Elaboración Propia

PLAN DE VUELO: LIDAR

Proyecto: **403 CVC Lidar_Batimetrias_SI-2025-1356**
Lugar: **Colombia**

SGR: **WGS84** **EPSG**
Proyección: **UTM 18N** **0**

ESCÁNER: **RIEGL VQ-580II**

PRR kHz	Alcance máximo		Máx. AGL		Dist. sin ambigüed.
	p ≥ 20%	p ≥ 60%	p ≥ 20%	p ≥ 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

- AGL: **638** m
- Dist. extremo: **805** m
- Vel. aeronave: **110** nudos **204** km/h
- FOV: **75 °** (+37,5° / -37,5°)
- PRR: **1200** kHz
- Increm. ángulo: **0,025 °** Dif. Res.: **0,000 °**
- Ancho barrido: **980** m
- Solape ejes: **48%**

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



Densidad: **12,7** puntos/m²
Ancho efectivo barrido: **511** m
Prec. est. roll, pitch: **0,15 °**
Prec. est. heading: **0,40 °**
Errores LIDAR (1σ):
Borde de pasada Eh: **1,26** m
Borde pas. efectiva Eh: **0,48** m
Centro de pasada Eh: **0,04** m
Ev: **0,02** m
- Puntos por línea: **2 977** puntos
- Intervalo extremo: **0,35** m
- Intervalo nadir: **0,28** m
- Velocidad barrido: **202** líneas/s
- Distancia líneas: **0,28** m
- Divergencia rayo: **0,3** mrad
- Huella nadir: **0,19** m
- Máxima AGL: **750** m

Ilustración 5-3. Plan de vuelo LIDAR
Fuente: Elaboración Propia



5.3 Control De Calidad Del Vuelo Planificado

Tras realizar la planificación, ésta se someterá a un exhaustivo control de calidad para garantizar que se cumplan las características geométricas exigidas. En este proceso, las líneas de vuelo planificadas serán proyectadas sobre un Modelo Digital de Elevaciones Global (SRTM Shuttle Radar Topography Mission), obteniéndose una base de datos con información alfanumérica y un gráfico CAD que permitirá realizar un análisis visual de la planificación. La base de datos ofrecerá, además, información de las escalas o resoluciones máximas, media y mínima de cada fotograma y pasada, los recubrimientos reales entre fotogramas consecutivos y de los recubrimientos entre pasadas consecutivas. De igual forma, se proyectarán las pasadas LiDAR para garantizar los recubrimientos laterales y que no se excedan los límites de variación de cota, a fin de asegurar 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 determinará el grado de aptitud de la planificación, procediendo, en su caso, a realizar las modificaciones necesarias.

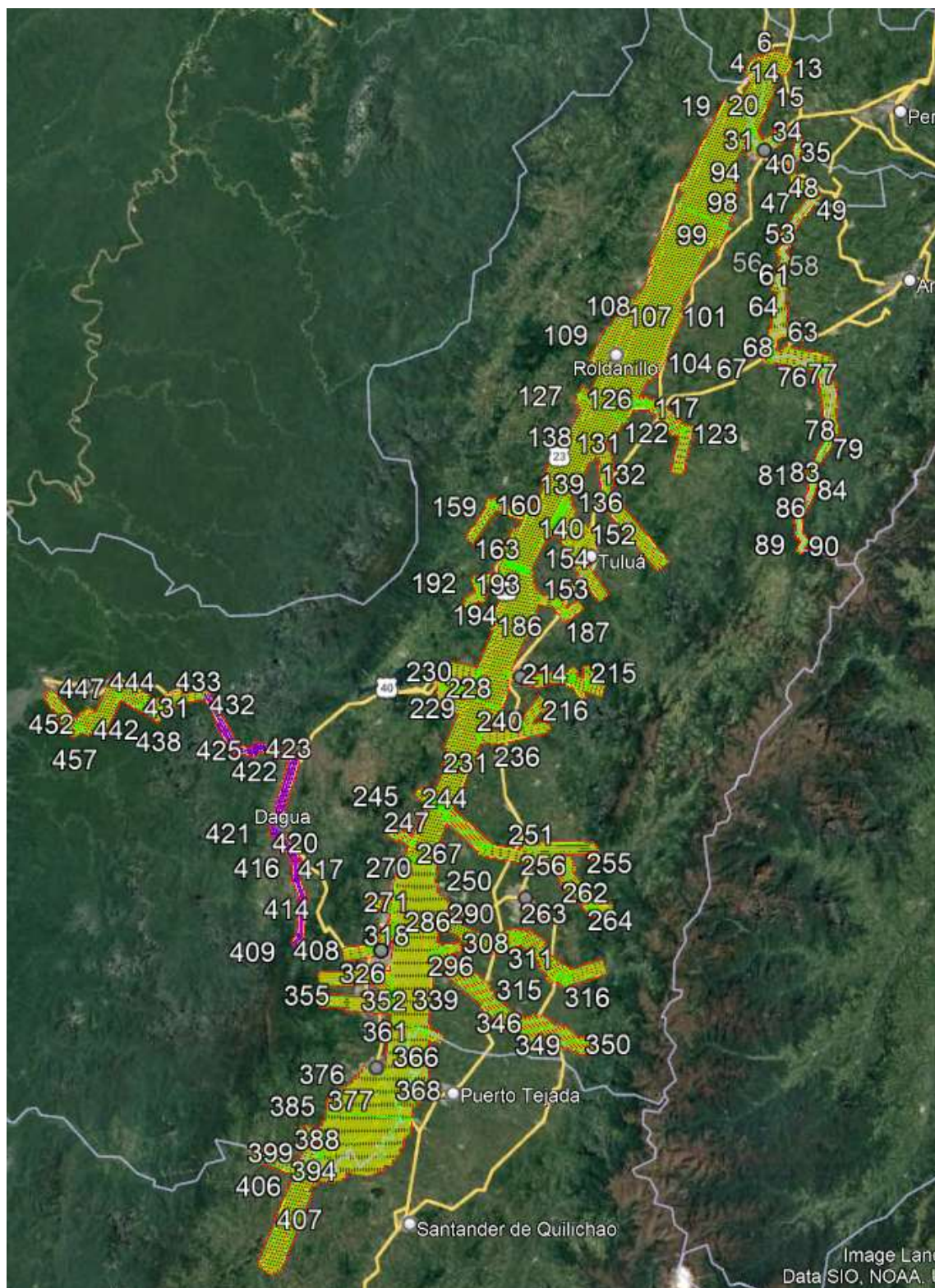


Ilustración 5-4. Plan de vuelo
 Fuente: Elaboración Propia

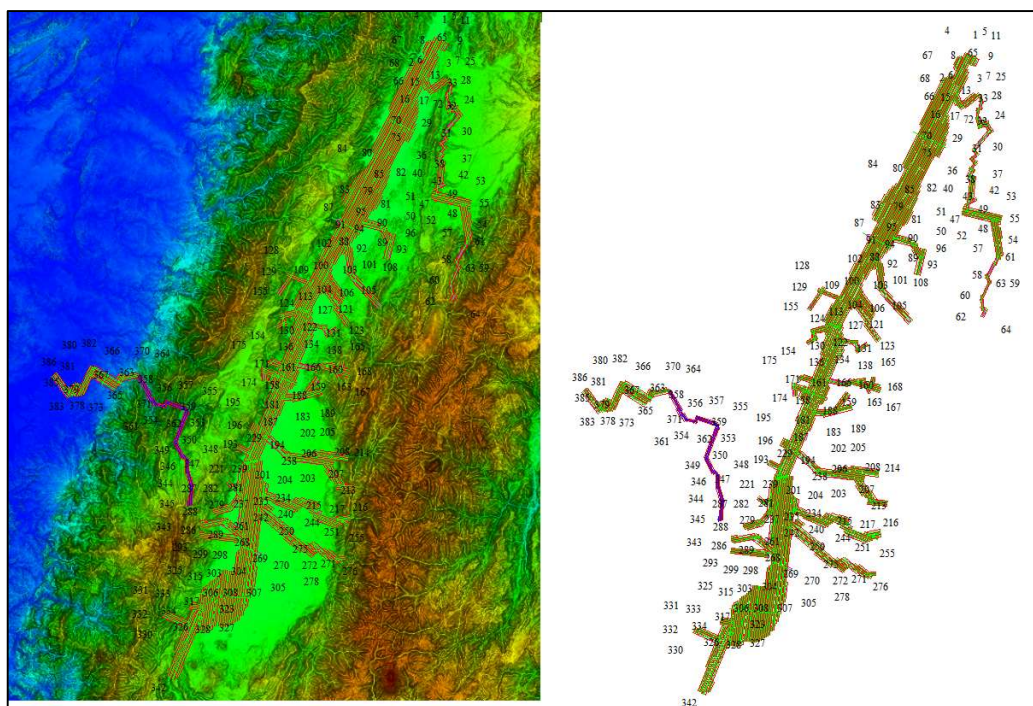


Ilustración 5-5. Análisis de Plan de vuelo en un Modelo Digital de Elevaciones
Fuente: Elaboración Propia

5.4 Selección De La Aeronave A Utilizar

Debido a la orografía y condiciones de relieve encontradas en la zona del proyecto se tienen dos opciones de aeronaves para la captura de la información:

- Avión Cessna 180 con matrícula HK877
- Helicóptero Hughes 369D Matrícula HK1934
- Helicópteros Eurocopter AS350 B2 Matrículas HK 4249 / HK5210

Las aeronaves cuentan con todos los requisitos exigidos para el montaje de Sensores Remotos debidamente aprobadas.



Ilustración 5-6. Montaje Avión Cessna 180
Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 5-7. Montaje Helicóptero Eurocopter AS350 B2
Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 5-8. Montaje Helicóptero Hughes 369D
Fuente: Elaboración Propia

5.5 Envío De La Planificación A La Unidad De Vuelos Y Solicitud De Los Permisos De Vuelo

Una vez sea aceptada la planificación, las trayectorias de las pasadas y las coordenadas de los centros de proyección obtenidas, estas quedan almacenadas en un fichero que se transfiere a la unidad de vuelo e integrado en el sistema de navegación de la Aeronave. Así mismo, en este instante se realizará la gestión para la obtención de los permisos de vuelo, teniendo en cuenta las restricciones civiles y militares aplicables en la zona. Los permisos para la realización de los vuelos fotogramétricos serán solicitados, enviando la delimitación de la zona de trabajo, fechas de actividad, aeropuertos de despegue y aterrizaje, aeronaves participantes y datos de la compañía de vuelo.

La solicitud de los permisos de vuelo se realizó el día 7 de noviembre siendo recibidos por correo en fecha 17 de diciembre de 2025. En el momento de la solicitud de los permisos, estos se tramitaron con los polígonos iniciales de la licitación, una vez se reciben las nuevas áreas en fecha 9 de diciembre se realiza la revisión de coberturas de los permisos solicita

 REPÚBLICA DE COLOMBIA FUERZA AÉREA AUTORIDAD AERONÁUTICA DE LA AVIACIÓN DE ESTADO 	
Bogotá D.C. 29/12/2025	
AUTORIZACIÓN SOBREVUELO, ATERRIZAJE ESPECIAL EN EL TERRITORIO COLOMBIANO	
No: 58516 / 25	-MDN-CGFM-COFAC-COES-JEMOV-DINAV-SUNAT-
DATOS GENERALES	
EMPRESA SOLICITANTE	<u>FOTO RUDOLF SAS</u>
COMPAÑÍA FLETADORA	<u>SIGLA S.A.S</u>
NOMBRE DEL FLETADOR	<u>SEBASTIAN DAVID SCHRIMPFF CARDALE</u>
NIT O CÉDULA FLETADOR	<u>8600011859</u>
OBJETO DEL VUELO	<u>AEROFOTOGRAFIA</u>
INFORMACIÓN DEL	
LAPSO DEL VUELO AUTORIZADO	<u>30-12-2025 06:00</u> HASTA: <u>22-02-2026 17:00</u> HORA LOCAL
AERONAVE TIPO	<u>C180 /</u>
ITINERARIO	
<u>SOBREVUELO AEROFOTOGRAFÍA POLÍGONO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE VALLE DEL CAUCA EN LAS COORDENADAS 1)N 3 54 05.62 W 77 06 33.32 2)N 3 51 42.98 W 76 44 31.73 3)N 3 45 32.77 W 76 37 53.70 4)N 3 26 46.35 W 76 37 25.94 5)N 3 27 01.79 W 76 42 01.57 6)N 3 42 25.92 W 76 44 12.57 7)N 3 46 53.65 W 76 52 59.05 8)N 3 47 02.24 W 77 06 25.77</u>	
TRIPULACIÓN	
1 PILOTO PCA10972 SILVA PARALES JUAN CAM.	2 PILOTO PCA6799 SCHRIMPFF CARDALE SEBAS.
MATRÍCULAS	
HK877	

Ilustración 5-9. Permiso de vuelo FAC No.58516 Valle del Cauca
Fuente: Elaboración Propia

 REPÚBLICA DE COLOMBIA FUERZA AÉREA AUTORIDAD AERONÁUTICA DE LA AVIACIÓN DE ESTADO 	
Bogotá D.C. 15/12/2025	
AUTORIZACIÓN SOBREVUELO, ATERRIZAJE ESPECIAL EN EL TERRITORIO COLOMBIANO	
No: 58374 / 25	-MDN-CGFM-COFAC-COES-JEMOV-DINAV-SUNAT-
DATOS GENERALES	
EMPRESA SOLICITANTE	<u>FOTO RUDOLF SAS</u>
COMPAÑÍA FLETADORA	<u>SIGLA S.A.S</u>
NOMBRE DEL FLETADOR	<u>SEBASTIAN DAVID SCHRIMPFF CARDALE</u>
NIT O CÉDULA FLETADOR	<u>8600011859</u>
OBJETO DEL VUELO	<u>AEROFOTOGRAFIA</u>
INFORMACIÓN DEL	
LAPSO DEL VUELO AUTORIZADO	<u>16-12-2025 06:00</u> HASTA: <u>22-02-2026 17:00</u> HORA LOCAL
AERONAVE TIPO	<u>C180 /</u>
ITINERARIO	
<u>SOBREVUELO SKR5//AEROFOTOGRAFÍA POLÍGONO UBICADO EN LOS DEPARTAMENTOS DE RISARALDA, QUINDIO, VALLE DEL CAUCA Y CAUCA COORDENADAS 1)N 4 57 22.82 W 76 0 24.21 2)N 4 53 41.46 W 75 46 1.77 3)N 4 16 45.93 W 75 45 6.11 4)N 3 12 42.34 W 76 9 29.96 5)N 2 50 14.77 W 76 32 59.54 6)N 2 55 7.51 W 76 51 19.67 7)N 3 24 26.14 W 76 40 8.51 8)N 3 20 12.91 W 76 27 36.99 9)N 3 30 18.20 W 76 24 40.01 10)N 3 35 15.63 W 76 36 5.16 11)N 4 3 57.97 W 76 25 15.51//PROHIBIDO INGRESAR Y SOBREVOLAR SKP32</u>	
TRIPULACIÓN	
1 PILOTO PCA10972 SILVA PARALES JUAN CAM. 3 PILOTO PCA6799 SCHRIMPFF CARDALE SEBAS.	2 PILOTO PCA6522 CASTELLANOS SANCHEZ URI.
MATRÍCULAS	
HK877	
OBSERVACIONES	
VERIFICACIÓN FAC-S-2025-224524-CI	

Ilustración 5-10. Permiso de vuelo FAC No.58374 Cauca y Risaralda
Fuente: Elaboración Propia



5.6 Montaje E Instalación Del Sistema

Se llevará a cabo el montaje e instalación del sistema. Esta actividad será realizada por personal técnico de la empresa en instalaciones localizadas en el aeropuerto.

6 CERTIFICADOS DE CALIBRACION CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR

6.1 Sensor LiDAR

El certificado de verificación de los sensores es emitido por la empresa fabricante RIEGL. Los sensores VQ580II y VQ580IIS se encuentran clasificados como "Producto Laser Clase 3B".

La clasificación se realiza según la norma internacional IEC60825-1:2014 y la norma europea EN60825-1: 2014/A11:2011, "Safety Of Laser Products - Part1: Clasificación De Equipos, Requisitos". La norma establece las condiciones de los ensayos que deben realizarse (Sección 5.2, "Medición De La Radiación Láser").

La verificación por parte del fabricante solo se realiza en casos de que el equipo presente fallas en su funcionamiento (No se capturan los datos, disminución de retornos, falta de potencia), sin embargo, el integrador de los equipos AEROLASER realiza una calibración periódica cada 2 años en el cual certifica el correcto funcionamiento de todos los equipos en simultaneo.

Durante el proceso de certificación del sensor LiDAR se evalúan los siguientes parámetros:

- Rendimiento de la medición del alcance
- Precisión y exactitud de la medición
- Tasa de medición
- Velocidad de escaneado
- Temperatura de prueba

A continuación, se presentan las certificaciones de los sistemas integrados por la casa AEROLASER.



AEROLASER
ADVANCED LIDAR TECHNOLOGIES

Nº de Informe: 2025004
Fecha: 23/05/2025

SISTEMA AEROLASER

Certificado de Verificación y Control – Calibración de equipos según fabricante

Emitido por el Laboratorio de Aerolaser System S.L.

Cliente: SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA DE LATINO AMERICA – SIGLA SAS

Nº Cliente: 430015
Nº de Técnico: 120001

Equipos componentes:

Nº	Equipo	Marca/Modelo	Nº serie
1	Unidad de control	AEROLASER AeCU22	SN0602/SGLSN1002
2	Escáner láser	RIEGL VQ-580II	H2224640
3	Cámara fotogramétrica	PHASE ONE iXA-R 180	Body: XJ000032
4	Cámara fotogramétrica	PHASE ONE iXA-R 180 IR	Body: FT010120
5	Lente	Rodenstock 50 mm f/4.0	12318929
6	Lente	Rodenstock 50 mm f/4.0	12239519
7	Unidad inercial	iMAR iIMU-FSAS-SI	00179-00006-002
8	Receptor GNSS	JAVAD TRE-G3T	1465685

*Ilustración 6-1. Certificado verificación del Integrador Aerolaser RIEGL VQ580II / Phase One 180
Fuente: Elaboración Propia*



SISTEMA AEROLASER

Nº de Informe: 2025008

Fecha: 28/08/2025

Certificado de Verificación y Control – Calibración de equipos según fabricante

Emitido por el Laboratorio de Aerolaser System S.L.

Ciente: SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA DE LATINO AMERICA – SIGLA SAS

Nº Cliente: 430015

Nº de Técnico: 120003

NºEquipo: SN016

Nº	Equipo	Marca/Modelo	Nº serie
1	Unidad de control	AEROLASER AeCU2.3	001
2	Receptor GNSS	JAVAD TR-G3T	4033320
3	Escáner láser	RIEGL VQ-580II	H2224632
4	Cámara fotogramétrica	PHASE ONE iXM-RS150	MM000111
5	Sensor Inercial	IMU FSAS SI	002
7	Pantalla	INELMATIC XF700HB	160226700001
8	Pantalla	INELMATIC XF 1000HB-USNN4-NB-R-DSUB-DVI	140422104167
9	Ordenador industrial	AEROLASER AePC	001
10	Programa gestor de vuelo	AEROLASER Mission	

*Ilustración 6-2. Certificado verificación del Integrador Aerolaser RIEGL VQ580II / Phase One 150
Fuente: Elaboración Propia*



SISTEMA AEROLASER

Nº de Informe: 2025007

Fecha: 26/08/2025

Certificado de Verificación y Control – Calibración de equipos según fabricante

Emitido por el Laboratorio de Aerolaser System S.L.

Cliente: SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA DE LATINO AMERICA – SIGLA SAS

Nº Cliente: 430015

Nº de Técnico: 120003

Equipos componentes:

Nº	Equipo	Marca/Modelo	Nº serie
1	Unidad de control	AEROLASER AeCU22	002
2	Escáner láser	RIEGL VQ-580IIS	H2229300
3	Cámara fotogramétrica	PHASE ONE IXM-RS150	MM011127
7	Unidad inercial	iMAR iIMU-FSAS-SI	003
8	Receptor GNSS	JAVAD TRE-G3T	1465685
9	Antena GNSS	JAVAD Air-Ant	0567
10	Ordenador industrial	AEROLASER AePC	003
11	Pantalla	INELMATIC XF1000HB -USVA-NB-R-SCSI	140227104098
12	Pantalla	INELMATIC XF800HB-USVAO-NB-RDSUB-HDMI	231129673001
13	Programa gestor de vuelo	AEROLASER Mission	

Ilustración 6-3. Certificado verificación del Integrador Aerolaser RIEGL VQ580IIS / Phase One 150
Fuente: Elaboración Propia

6.2 Cámara Fotogramétrica

Los certificados de verificación emitidos por el integrador AEROLASER de las cámaras PhaseOne para las referencias Phase One iXM-RS 150F (Serial: MM011127) y Phase One iXA-R 180 (Serial: XJ000032) evalúan los siguientes parámetros:

- Distancia Principal
- Desplazamiento del punto principal X y Y.
- Corrección de la distorsión radial 3er, 5º y 7º Orden
- Coeficiente de distorsión de descentramiento

Estos parámetros medidos se encuentran dentro de los rangos definidos por el fabricante. A partir de estos valores se calcula la ecuación corrección estándar que permite mejorar la calidad de una imagen digital, eliminando o minimizando diferentes tipos de distorsiones o errores.

También esto permite realizar el cálculo del perfil de corrección de distorsión radial gaussiana, el cual es una de las distorsiones más comunes en las lentes de las cámaras, especialmente en las lentes de gran angular. Esta distorsión provoca que las líneas rectas se curven hacia el centro (distorsión de barril) o hacia afuera (distorsión de cojín).

El integrador de los equipos AEROLASER realiza una verificación periódica cada 2 años en el cual certifica el correcto funcionamiento de todos los equipos en simultaneo.

6.3 Otros Equipos

Otros equipos utilizados durante la captura de datos LiDAR y Fotogramétricos no requieren de verificaciones por fabricante periódicas, ya que estos se encargan de recibir lecturas o visualizar datos provenientes de otras fuentes. Sin embargo, el integrador de los equipos AEROLASER realiza pruebas periódicas en el cual evalúa el correcto funcionamiento de todos los equipos.

Los otros equipos utilizados durante los vuelos son:

EQUIPO	MARCA	MODELO	No SERIE
Receptor GNSS	JAVAD	TR-G3T	1465685
Sensor Inercial	IMAR	IMU-FSAS-SI	00179-00006-002
Unidad de control	AEROLASER	AeCU22	SN0602/SGLSN1002
Pantalla	INELMATIC	XF 1000HB-USVA-NB- R-SCSI	140422104167
Ordenador industrial	AEROLASER	AePC	008
Programa gestor de vuelo	AEROLASER	Mission	

Tabla 6-1. Listado De Equipos 1 Utilizados En Vuelo
Fuente: Elaboración Propia

EQUIPO	MARCA	MODELO	No SERIE
Receptor GNSS	JAVAD	TR-G3T	4033320
Sensor Inercial	IMAR	IMU-FSAS SI	003
Unidad de control	AEROLASER	AeCU2.3	002
Pantalla	INELMATIC	XF 1000HB-USVA-NB- R-SCSI	140227104098
Ordenador industrial	AEROLASER	AePC	009
Programa gestor de vuelo	AEROLASER	Mission	

Tabla 6-2. Listado De Equipos 2 Utilizados En Vuelo
Fuente: Elaboración Propia

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

Los parámetros de calibración del sistema inercial se determinarán 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, con el fin de corregir la desalineación entre el sensor y el sistema inercial, ya que esta desalineación provocaría 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 realizará siguiendo el procedimiento establecido por el fabricante del sistema (RIEGL).

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

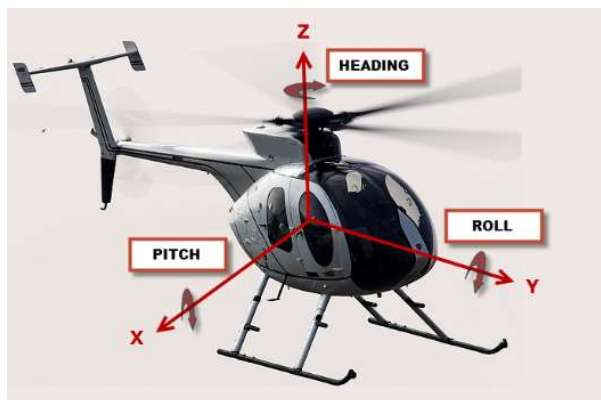


Ilustración 7-1. Diagrama giros de la aeronave
Fuente: Elaboración Propia

Mediante el vuelo de calibración se calculará la desalineación entre el sistema de coordenadas de la IMU y los ejes de cada sistema. Estos parámetros se obtendrán 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 realizará la calibración del sistema inercial para cada combinación cámara/aeronave en los siguientes momentos.

- 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.

La calibración contará con dos vuelos para este fin, siendo uno previo al inicio de la operación y otro al final de la misma, el procedimiento contará con la realización de dos ejes de vuelo en ambos sentidos de vuelo con el fin de generar correctamente los ajustes.

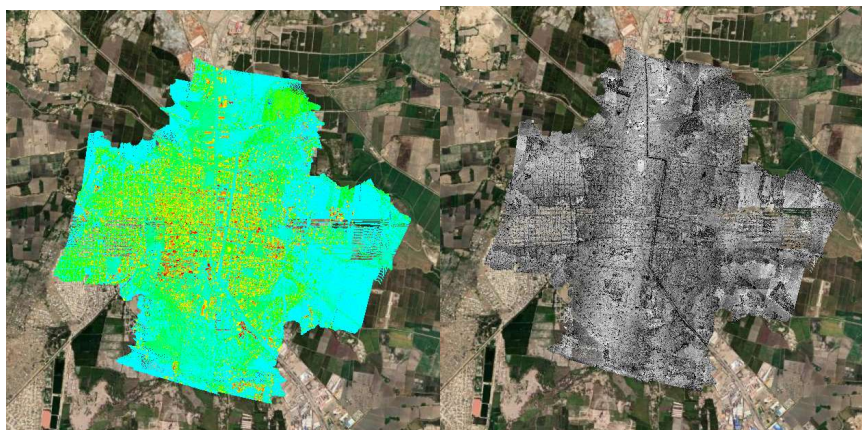


Ilustración 7-2. Ejemplo de Vuelo Calibración
Fuente: Elaboración Propia

8 EJECUCIÓN DEL VUELO

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

8.1 Recepción De Planificación Departamentos De Vuelos

El jefe de proyectos enviará la planificación y los permisos necesarios al departamento de vuelos, allí los planes de vuelo serán 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.

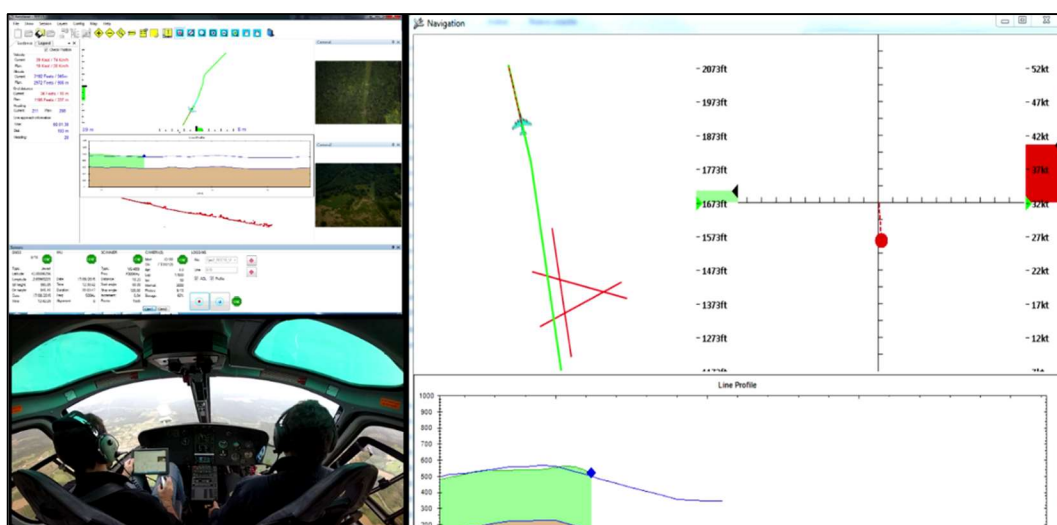


Ilustración 8-1. Integración de planificaciones al sistema de navegación de la aeronave
Fuente: Elaboración Propia

8.2 Información Meteorológica

Dado que la meteorología constituye un factor crítico y condicionante en las operaciones de vuelo, se llevará a cabo un análisis constante y detallado de las condiciones climáticas. Este análisis será esencial para garantizar que las operaciones se desarrollen en condiciones meteorológicas óptimas, especialmente en vuelos fotogramétricos, donde la calidad de las imágenes es primordial. En este contexto, los vuelos se planificarán y ejecutaran bajo condiciones específicas que incluyen un cielo despejado, ausencia de vientos fuertes, y una atmósfera libre de elementos perturbadores como

nubes, brumas, sombras, humo o cualquier otro factor que pudiera comprometer la calidad radiométrica de las fotografías aéreas.

Durante las misiones de vuelo, cualquier incidencia meteorológica que se presente será inmediatamente reportada al jefe de proyectos. Este se encargará de evaluar la situación y de tomar las medidas correctivas necesarias, lo que podría incluir la reprogramación de los vuelos o la modificación de las rutas previstas. Para asegurar una comunicación fluida y constante, las condiciones climáticas de la zona de estudio se reportarán diariamente al equipo técnico y al coordinador del proyecto. Este reporte se realizará a través de correos electrónicos y/o chats dedicados a esta función, permitiendo una rápida y eficaz respuesta a cualquier cambio meteorológico que pudiera afectar las operaciones.

8.3 Comprobación De La Información Y Sistemas

Antes de comenzar cada misión de vuelo se realizarán una serie de comprobaciones para garantizar la exitosa ejecución de los trabajos de captura. Será 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 efectuar el vuelo fotogramétrico se ejecutará una revisión del buen funcionamiento de los sistemas aeronáuticos previa a cada misión de vuelo.

Durante el vuelo fotogramétrico la tripulación de la aeronave está conformada por un piloto y un operador. El operador será 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.



Ilustración 8-2. Sistema de control en vuelo
Fuente: Elaboración Propia

8.4 Realización Del Vuelo

Una vez sea verificado el correcto funcionamiento de los sistemas en la aeronave y el correcto funcionamiento de las estaciones GNSS terrestres, que para el caso del proyecto corresponden a red de tercer orden, se procederá 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 encargará de poner en común las informaciones provenientes tanto de la cámara digital-Laser y los sensores GNSS e IMU.

En vuelos combinados (LiDAR-Cámara fotogramétrica), la aeronave dispone sobre el fuselaje de dos antenas GNSS bifrecuencia, uno de los sistemas GNSS 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 GNSS 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 postproceso, se conocerán las posiciones de los centros de proyección de las imágenes con gran precisión, en poco tiempo tras el vuelo, del mismo modo se calculará la posición sobre el terreno de cada punto de la nube de puntos LiDAR.

Para garantizar la estabilidad del sistema inercial, la aeronave permanecerá parado al menos cinco minutos antes de despegar y después de aterrizar, durante este tiempo el sistema GPS/IMU almacenará 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.

8.5 Volcado De La Información

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

8.6 Envío De Información A Oficina

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

- Rawdatas. Datos brutos en formato IIQ captados por la cámara digital.
- RawLaser. Datos brutos captados con el sistema LiDAR en sistema UTM Zona 17 Sur
- 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).

8.7 Control De Calidad De Cada Misión De Vuelo Ejecutado

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

- 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 realizará una comparación entre el vuelo ejecutado contra la planificación, a partir del fichero *.txt generado por la unidad de control.
 - Se analizará la correcta estructura de almacenamiento de datos: una carpeta por cada una de las sesiones registradas secuencialmente.
 - Se hará 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 20°)
 - Continuidad en la captura GPS/IMU

Al recibir de conformidad esta información, el jefe de proyecto realizará 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.

Toda la información detallada sobre los avances de vuelo, incluyendo las fechas de inicio y fin de cada ventana, así como los informes semanales de progreso, se encuentran documentados en el ANEXO - 02_PROCESAMIENTO DATOS/05_Reporte_Semanal_Vuelo. Estos reportes proporcionan un registro exhaustivo de las actividades realizadas y sirven como referencia para la evaluación del impacto que tuvieron las condiciones meteorológicas en el desarrollo del proyecto.

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

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

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 considerará un dato confiable.

9 CALCULO DE AJUSTES DE LINEAS DE VUELO

El proceso de ajuste de las pasadas LiDAR se realizará mediante el programa BayesMap - Strip Alignment. El programa Strip Alignment es una herramienta que permite realizar el ajuste de las pasadas LiDAR, comparando las zonas con traslape de información y corrigiendo las diferencias encontradas haciendo uso de una parametrización rigurosa basado en el tiempo de captura.

En el proceso de ajuste se corregirán errores geométricos relativos y absolutos, así como las discrepancias entre las fajas debido a la posición de la IMU y errores posicionales. Las correcciones individuales se combinarán de manera óptima minimizando los errores relativos como absolutos.

El algoritmo de corrección hace uso de todos los retornos, filtrando valores atípicos permitiendo hacer uso de la mayor cantidad de información disponible que permita comparar y corregir los errores. La trayectoria y la posición se ajustan para cada una de las líneas de vuelo compensando las ambigüedades de la IMU, siendo posible a través de la comparación de nubes de puntos densas en las zonas de solape.

10 METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE PRODUCTOS LIDAR

10.1 Características

Un Modelo Digital del Terreno (MDT) es un conjunto de datos digitales que representan la altitud de la superficie terrestre desnuda en un sistema de coordenadas tridimensional. Los Modelos Digitales del Terreno (MDT) generados a partir de datos LiDAR son productos cartográficos ráster que representan la superficie terrestre, excluyendo elementos como la vegetación y las edificaciones, con una alta precisión y resolución global. La tecnología LIDAR es una tecnología avanzada que permite mediante pulsos laser obtener la información del terreno, destacando que debido a su potencia y nivel de frecuencia permiten tener datos de terreno en lugares en dónde otras tecnologías no permitirían obtener.

Un Modelo Digital del Terreno (MDT) es una representación tridimensional de la superficie terrestre que muestra únicamente la altitud del terreno desnudo, sin incluir elementos superficiales como árboles, edificios o cualquier otra estructura artificial. El MDT se genera mediante la eliminación de estos elementos para reflejar el relieve del terreno de manera precisa.

10.2 Clasificación LiDAR

La tecnología LIDAR permite obtener puntos vectoriales de escala real a una alta precisión, los puntos LIDAR contienen información de posición (XYZ) y otras características como nivel de reflectancia. La tecnología LIDAR permite realizar una clasificación de los diferentes elementos separándolos por categorías que permiten generar modelos digitales de acuerdo a las necesidades.

Para el proyecto se realizará la clasificación de 5 clases para la generación del MDT, las clases se describen a continuación:

- Terreno
- Vegetación baja, media y alta
- Edificaciones
- Ruido

10.3 Edición LiDAR

A partir de la clasificación del terreno realizado en los datos LiDAR, se realizará un exhaustivo proceso de verificación para identificar y eliminar elementos que no corresponden al suelo desnudo, garantizando así la precisión y utilidad del modelo final. esta verificación se realizará en todos los polígonos del terreno mediante una grilla de 500mt que permitirá llevar un control de la información y una manipulación más efectiva de los datos.

Durante esta fase, se aplicarán diversas técnicas de filtrado y clasificación de datos para detectar características no deseadas, tales como vegetación, edificaciones y otras estructuras que podrían interferir con la representación precisa de la superficie terrestre. se utilizarán métodos de análisis

espacial y herramientas de procesamiento de datos geospaciales para asegurar que únicamente los puntos correspondientes al suelo desnudo sean retenidos en el MDT.

La importancia de esta verificación radica en que un modelo digital que represente con exactitud el terreno es crucial para diversas aplicaciones, como la planificación territorial, la gestión de recursos naturales, y la realización de estudios ambientales. La precisión en la representación del suelo desnudo no solo mejora la calidad del modelo, sino que también contribuye a la fiabilidad de las decisiones basadas en estos datos, asegurando que los análisis posteriores sean sólidos y válidos.

Como método de interpolación, se utilizará el enfoque de binning, el cual será fundamental para interpolar las alturas entre puntos y así generar un modelo digital del terreno (MDT) de la mejor calidad posible. El binning es un proceso que agrupa los puntos de datos cercanos en celdas o "bins" para calcular valores representativos, como la media, en cada celda. Este método permitirá suavizar la variabilidad de las alturas y minimizar el impacto de las anomalías o valores atípicos.

La elección del método de binning se debe a su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos, proporcionando una representación más coherente y continua del terreno. Al aplicar este método, se logrará obtener una estimación precisa de las alturas en las áreas intermedias entre los puntos de medición, lo que resultará en una superficie digital más uniforme y realista. Este proceso no solo optimizará la calidad del MDT, sino que también mejorará su utilidad en diversas aplicaciones geospaciales.

Además, el binning es particularmente efectivo en terrenos con variabilidad topográfica, ya que permite ajustar el tamaño de las celdas según la densidad de los puntos de datos disponibles, garantizando que las áreas con mayor concentración de información se representen con mayor precisión. Esto resulta esencial para estudios que requieren un alto grado de exactitud, como la planificación de obras civiles, el análisis de cuencas hidrográficas y la evaluación de riesgos naturales.

En resumen, el uso del método de binning para la interpolación de alturas no solo optimizará la generación del MDT, sino que también contribuirá a la robustez y fiabilidad de los análisis posteriores basados en este modelo.

Con el fin de garantizar la precisión del modelo digital del terreno (MDT) se utilizarán los puntos de control obtenidos mediante topografía convencional para el ajuste del proyecto.

10.4 Integración de batimetrías para generación de modelo MDTi

Una vez que se establezcan los parámetros idóneos para cada una de las zonas del proyecto (zonas llanas, zonas de montaña, zonas urbanas, entre otras), diferenciadas de acuerdo con sus características orográficas, se procederá a realizar la clasificación automática de la nube de puntos LiDAR.

Esta clasificación permitirá obtener una categorización preliminar de los puntos, distinguiendo aquellos que correspondan al terreno (Ground) de los que pertenezcan a la superficie u otros elementos (Default).

La actividad se desarrollará mediante la ejecución de macros que integrarán algoritmos de búsqueda y filtrado, implementados en el software MicroStation y en el módulo TerraScan de la extensión TerraSolid. Estos procesos permitirán optimizar la clasificación inicial de los datos LiDAR conforme a los criterios técnicos definidos para cada zona del proyecto.

A continuación, se describirán las clases que se definirán para la clasificación de la nube de puntos LiDAR, las cuales se asignarán conforme a los criterios técnicos establecidos para el proyecto:

- Superficie – Default: Esta clase se asignará a los puntos que formen parte de la superficie general del modelo, incluyendo aquellos que no correspondan al terreno desnudo ni a clases específicas adicionales.
- Terreno – Ground: En esta categoría se agruparán todos los puntos que representen el terreno desnudo, es decir, aquellos que no incluyan obras de fábrica ni elementos superficiales ajenos a la topografía natural.
- Low Point – Puntos bajos: Esta clase comprenderá los puntos que no formen parte ni del terreno ni de la superficie válida del modelo. Incluirá, por ejemplo, puntos registrados sobre vehículos, puntos fugados, retornos anómalos, puntos bajos aislados y ruido generado durante la captura de datos.
- Vegetación: Corresponderá a los puntos clasificados dentro de la nube LiDAR que representen retornos asociados a cobertura vegetal. Esta clase se subdividirá en las siguientes categorías:
 - Vegetación baja: Se asignará a los puntos con alturas reducidas respecto al terreno, comúnmente asociados a pastos, herbazales, cultivos bajos o matorral incipiente.
 - Vegetación media: Incluirá los puntos correspondientes a arbustos, matorrales densos o vegetación de porte intermedio.
 - Vegetación alta: Comprenderá los puntos que representen copas de árboles y cobertura arbórea de mayor altura y desarrollo.

10.4.1 Depuración manual de datos LIDAR

Dado que la clasificación automática inicial no garantizará resultados válidos en el 100 % del área cubierta con datos LiDAR, se hará necesaria una etapa de depuración detallada tanto del terreno como de los elementos de la superficie.

A partir de los puntos clasificados como terreno, se generarán superficies y mapas de sombras con el fin de visualizar pequeñas anomalías presentes en el modelo, derivadas del proceso de clasificación automática. Estas anomalías podrán deberse a errores asociados a la inclusión o exclusión indebida de puntos dentro de la clase Terreno, es decir, puntos que podrán pertenecer o no a dicha categoría.

En los casos en que se identifiquen inconsistencias, se trazarán perfiles transversales en las zonas problemáticas especialmente en taludes, áreas con vegetación densa y sectores con construcciones. Con el apoyo de las herramientas del módulo TerraScan, se procederá a reclasificar los puntos en la capa correspondiente. Como resultado de este proceso, la superficie final presentará una apariencia más suave, continua y homogénea.

La depuración de los datos se realizará para cada bloque o tile de 500 x 500 metros en los que se dividirá la nube de puntos. En cada unidad se clasificarán los puntos en la capa correspondiente, tanto si el producto final a generar corresponde a un Modelo Digital de Terreno (MDT), un Modelo Digital de Superficie (MDS) o un Modelo topobatimétrico (MDTI).

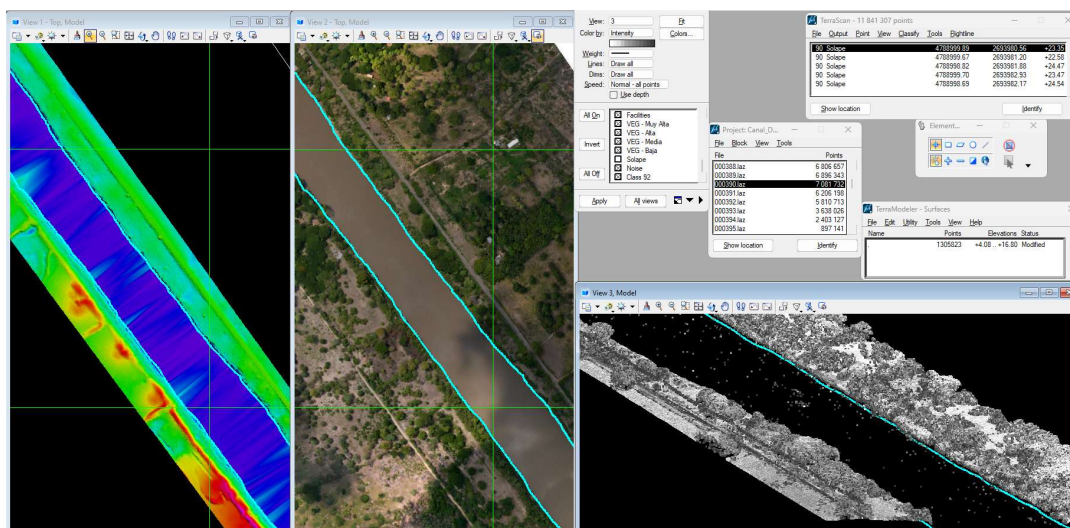


Ilustración 10-1. Ejemplo edición nube de puntos LiDAR.
Fuente: Elaboración Propia

Una vez sea editada y clasificada la nube de puntos LiDAR en las clases Ground y Default, se procederá al trazado y generación de un archivo vectorial denominado “lámina de agua”.

Este archivo permitirá delimitar e inundar digitalmente aquellas zonas donde la nube de puntos LiDAR evidencie una superficie plana correspondiente al espejo de agua a lo largo del canal. La delimitación se realizará mediante la digitalización de un polígono que representará con precisión la extensión del cuerpo de agua identificada en los datos.

Todos los puntos que se encuentren dentro del polígono definido como lámina de agua se reclasificarán en la clase Agua, garantizando así una correcta representación y diferenciación de este elemento dentro del modelo final.

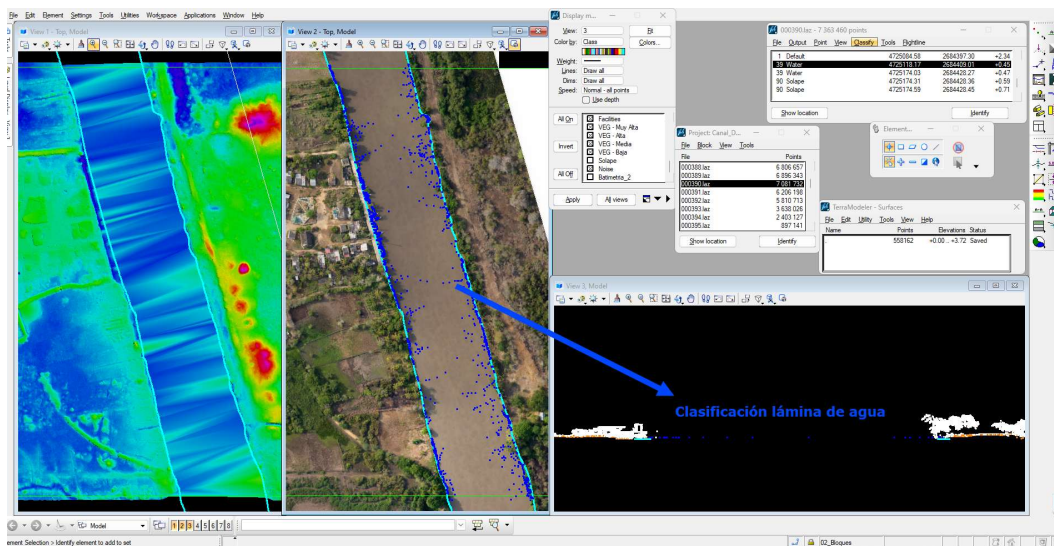


Ilustración 10-2. Ejemplo clasificación lámina de agua.
Fuente: Elaboración Propia

La lista de clases que intervienen durante la clasificación Manual es:

- Terreno - Ground

- Superficies – Default
- Puentes - Bridges
- Ruido – Air points – Low Points
- Lámina de agua -Water

10.4.2 Integración batimetría monohaz

Una vez que se disponga del archivo final en formato XYZ, previamente depurado y organizado mediante el proceso de Sort, se procederá al trazado de breaklines con el propósito de densificar y definir con mayor precisión la geometría del fondo del canal.

Estas líneas de quiebre permitirán reforzar las discontinuidades morfológicas y los cambios abruptos de pendiente presentes en el lecho, mejorando la representación del modelo digital generado. La incorporación de las breaklines contribuirá a optimizar la interpolación del terreno sumergido y a garantizar una modelación más fiel a las condiciones reales del río.

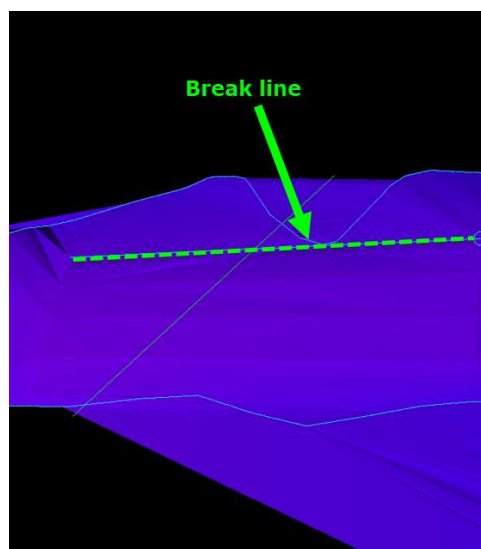


*Ilustración 10-3. Ejemplo generación break lines.
Fuente: Elaboración Propia*

Una vez que se generen todas las breaklines, se procederá a su integración e importación conjunta con la nube de puntos LiDAR. Este proceso permitirá unificar la información batimétrica y topográfica en un mismo entorno de trabajo, asegurando la coherencia geométrica entre las líneas de quiebre y la nube de puntos. La integración facilitará la generación de un modelo digital continuo (MDTI), en el cual se representarán de manera precisa tanto las condiciones del terreno emergido como del fondo del río, garantizando consistencia y calidad en el producto final.

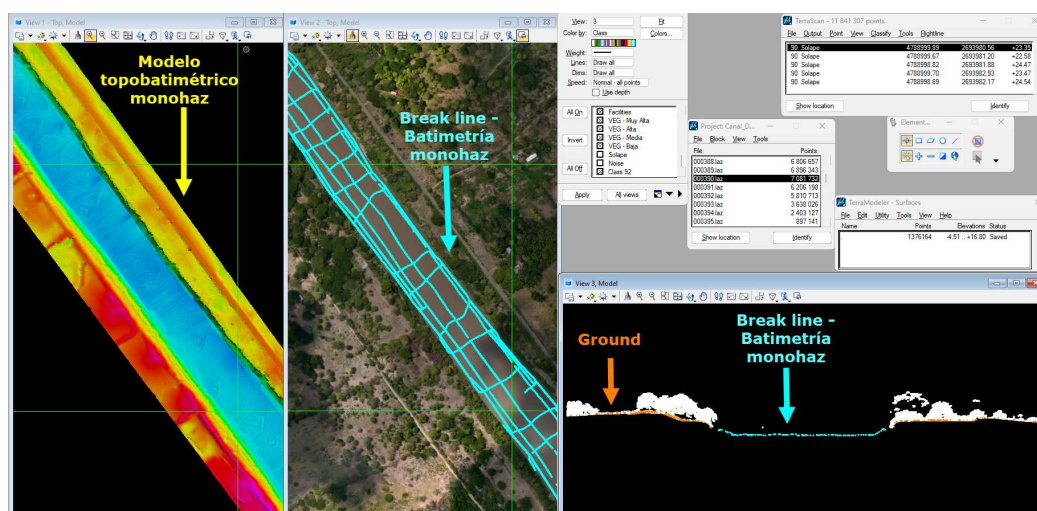


Ilustración 10-4. Ejemplo integración modelo Topobatómico.
Fuente: Elaboración Propia

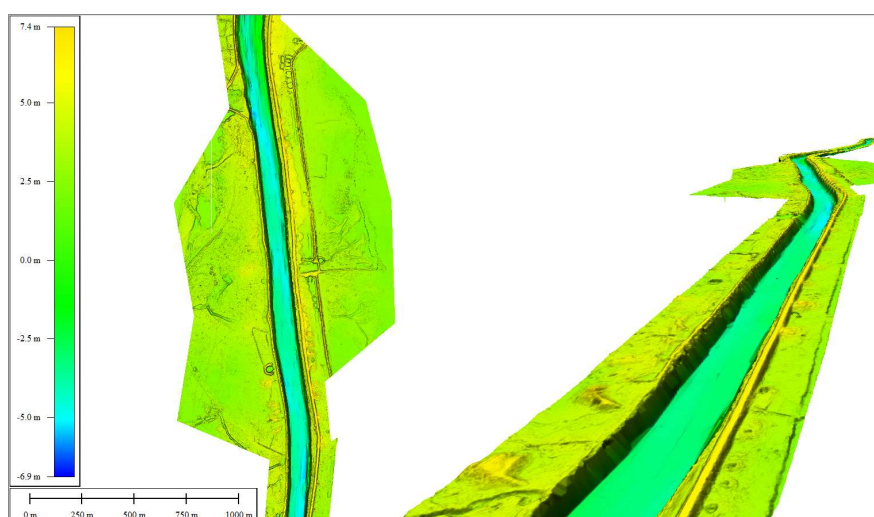


Ilustración 10-5. Ejemplo modelo Topobatómico.
Fuente: Elaboración Propia

10.5 Cálculo del modelo de ajuste local de ondulación.

Posterior al análisis de la información y de realizar el Control de Cotas de la nube de puntos en cota elipsoidal vs la cota ortométrica, se realizará el cálculo de la ondulación (diferencias entre la altura Elipsoidal y Local) a partir de las mediciones realizadas por las actividades de topografía convencional.

A partir de estas diferencias, se realizará un modelo de ajuste local a cota. La metodología de ajuste a cota local se basa en aplicar el modelo de ajuste a cota local con las alturas procesadas en la red topográfica, obteniendo de esta manera un modelo Digital del Terreno (MDT) en altura local consistente con la red levantada en campo.

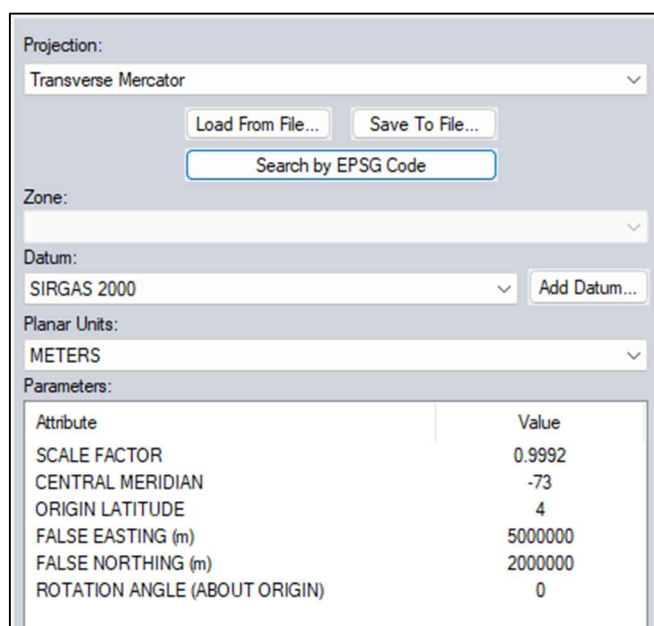
Tras realizar el modelo de ajuste a cota local según la topografía levantada en campo y con el objetivo de determinar la bondad del modelo de ajuste local realizado, se ejecutará el control de cotas ortométrico, comparando la nube de puntos LiDAR ajustada al modelo de alturas local con las coordenadas de la Red. Entre los parámetros que se revisarán se encuentran la diferencia promedio,

distancias mínimas y máximas de separación, desviación estándar de los puntos, así como el error medio cuadrático.

10.6 Sistema de coordenadas.

Como sistema de coordenadas para la información se define con el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS ITRF2014 época 2018.0 como datum horizontal oficial para el año de ejecución y con origen único denominado “Origen Nacional CTM 12” que coincide con el área del proyecto. Las alturas se presentan en metros, lo que facilita su uso en aplicaciones geográficas y sistemas de información geográfica (SIG).

Las características de este sistema de información se muestran a continuación:



Attribute	Value
SCALE FACTOR	0.9992
CENTRAL MERIDIAN	-73
ORIGIN LATITUDE	4
FALSE EASTING (m)	5000000
FALSE NORTHING (m)	2000000
ROTATION ANGLE (ABOUT ORIGIN)	0

Ilustración 10-6. Magna-Sirgas (EPSG:9377)
Fuente: SIGLA-SAS

El datum vertical para referir todo tipo de mediciones de alturas sobre el nivel del mar es BUENAVENTURA. Las alturas elipsoidales obtenidas con mediciones GNSS serán entregadas en alturas ortométricas con las ondulaciones geoidales del modelo geoidal GeoValle disponible en GeoCVC.

Todo el procesamiento de la información se hará en el sistema Magna Oeste y al final se realizará una copia de los productos a Origen Nacional.

11 METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE PRODUCTOS FOTOGRAMÉTRICOS

11.1 Características

Para el proyecto se generará el postproceso de información fotogramétrica, el cual, consiste en la ejecución de todos los pasos necesarios para la construcción de las ortoimágenes del proyecto, mediante técnicas de ortorectificación y/o correlación de imágenes digitales.

11.2 Post-Proceso de la información fotogramétrica

Posterior al análisis de la información y verificación de coberturas, se realiza el postproceso de imágenes que consiste en la normalización y corrección de las imágenes crudas captadas por el sensor aerotransportado. Mediante el postproceso, las imágenes se hacen útiles para su utilización.

Los procesos que se siguen para tal fin engloban:

- Correcciones radiométricas: Consiste en la corrección de píxeles defectuosos y en la posterior ecualización del histograma de frecuencias, balanceado y contraste de la imagen.
- Correcciones geométricas: Se basan en la corrección de las distorsiones de imagen de cada sensor óptico y la corrección entre el centro geométrico y el centro óptico de cada CCD.
- Mosaicado de imágenes: Apoyándose en la búsqueda de puntos homólogos entre imágenes, se consiguen ensamblar las mismas de manera que se obtiene la imagen virtual. Esta imagen virtual es sometida a un nuevo proceso de corrección radiométrica que iguala el brillo y el contraste entre imágenes.

También se realizará el proceso de la aerotriangulación tras la finalización del post-procesado y validación de datos GPS/IMU e imágenes. La aerotriangulación se realizará por métodos completamente digitales y empleando parámetros de apoyo aerotransportado GPS y/o GPS/IMU, para ello se utilizarán los más modernos equipos y software de aerotriangulación.

Para las zonas objeto de estudio del levantamiento, se generarán archivos de ortoimagen en formatos .tif y .ecw, con su respectivo archivo auxiliar correspondiente. La resolución espacial (GSD) del producto será para el proyecto será de mínimo 10 cm/pixel. La resolución espectral será de 3 bandas RGB.

Las ortoimágenes representarán el estado real y a escala del área levantada a la fecha del levantamiento.

Adicionalmente se entregarán los insumos asociados a las ortoimágenes así:

- Fotogramas crudos en formato TIF.
- Límite del proyecto en formatos KMZ Y SHP.
- Demás información requerida en el contrato.



Ilustración 11-1 Ejemplo de Ortoimagen a generar
Fuente: Elaboración propia

11.3 Reporte de Calidad en las Orto imágenes.

Conforme a los productos mencionados anteriormente, se incluirá el control de Calidad de la información, según lo evalúa la normativa del proyecto. De la siguiente manera:

- Componente a evaluar: Posición espacial (X, Y).
- Factor evaluado: Exactitud horizontal confianza 95% (m), de los Puntos de Control Terrestre Vs Ortoimagen procesada.
- Nivel de evaluación: para escalas 1:1000.
- Formato de entrega: Archivo de cálculo XLSX.

Lo anterior, será incluido en el Informe Final y/o anexos correspondientes.

12 METADATOS

La elaboración de metadatos geospaciales es un proceso sistemático que asegura la descripción, gestión y uso adecuado de los datos geográficos producidos por una organización. En el caso del **Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)**, la metodología de generación de metadatos está definida en la *Guía de Gestión de Metadatos* (Código GI-IDE-PL01-01), la cual articula un proceso estructurado basado en estándares internacionales, principalmente la norma **ISO 19115 “Información Geográfica — Metadatos”** y su modelo de implementación en **ISO 19139 (XML Schema)** para facilitar interoperabilidad, calidad, accesibilidad y disponibilidad de los datos.

12.1 APLICACIÓN DE ESTÁNDARES

El núcleo metodológico se basa en el cumplimiento de normas técnicas internacionales. La norma ISO 19115 provee la estructura de los elementos de metadatos y define los componentes obligatorios, condicionales y opcionales. Esta estructura estandarizada es fundamental para asegurar que los metadatos sean comprensibles, reutilizables y compatibles con sistemas de intercambio internacionales. ISO 19139, por su parte, especifica los esquemas XML que se utilizan para la codificación técnica de los metadatos, permitiendo su validación y transmisión interoperable entre sistemas y catálogos.

12.2 PERFILES DE METADATOS

De acuerdo con las características del producto geoespacial, se debe seleccionar un perfil de metadatos adecuado. Los perfiles son subconjuntos de elementos extraídos de la norma que responden a las necesidades específicas de un tipo de recurso. La guía distingue los siguientes perfiles:

- Vectorial: orientado a datos representados como puntos, líneas y polígonos.
- Ráster: orientado a imágenes y grillas de datos espaciales.
- Servicios geográficos: para servicios OGC como WMS, WFS, etc.
- Documentos y/o alfanuméricos: para informes, estudios o documentos asociados a datos espaciales.

Cada perfil contiene elementos obligatorios que deben ser diligenciados en todos los casos (por ejemplo, título, identificador, resumen), campos condicionales que se completan según el contexto (por ejemplo, resolución espacial o banda espectral) y elementos opcionales que enriquecen el metadato sin ser estrictamente necesarios para su interoperabilidad.

12.3 ESTRUCTURA Y CONTENIDO

La metodología para la elaboración de metadatos contempla una estructura jerárquica dividida en secciones, tales como identificación, distribución, calidad, contacto y referencia espacial. Cada sección agrupa campos relacionados:

- Identificación: atributos básicos como título, descripción, palabras clave, cobertura espacial y temporal.
- Calidad: información sobre precisión, completitud, consistencia, errores conocidos y métodos de evaluación.
- Contactos: entidades responsables de creación, mantenimiento y custodia de los datos.
- Distribución y uso: formatos de entrega, restricciones de acceso y condiciones de uso.

12.4 PROCESO OPERATIVO

Operativamente, la metodología establece que:

- El productor de datos debe identificar la tipología del recurso y seleccionar el perfil de metadatos correspondiente.
- Se realiza el diligenciamiento de los campos obligatorios, condicionales y opcionales según las características del conjunto de datos geoespaciales.
- El metadato debe ser codificado en XML conforme a ISO 19139, garantizando compatibilidad con herramientas de gestión de catálogos.
- El resultado final debe ser almacenado y publicado en formato XML y PDF.

12.5 GARANTÍA DE CALIDAD Y ACTUALIZACIÓN

Para garantizar la calidad se utilizará la validación automatizada de estructuras XML, revisión de campos obligatorios y evaluación de consistencia con los datos.

13 CONTROL DE CALIDAD

13.1 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE TOPOBATIMÉTRICO

Para garantizar la precisión y fiabilidad de los datos geoespaciales como ortoimágenes y modelos digitales del terreno los cuales se ajustarán en base a la información topografía y la información batimétrica levantada en campo es necesario realizar un control de calidad a la información obtenida:

13.1.1 Calidad de los Datos

Se realizará la verificación de la precisión requerida por el proyecto para los puntos materializados y/o capturados en campo. Así como la correcta distribución de los puntos a lo largo y ancho del área de interés.

13.1.2 Calibración de los equipos.

Verificar la correcta documentación de los equipos utilizados para la obtención de la información. Con el fin de evitar posibles errores debido a la mala calibración de los equipos.

13.1.3 Configuración de los equipos.

Revisión de la configuración del equipo GNSS, incluyendo la constelación de satélites utilizada, la frecuencia, y la duración de las observaciones.

13.1.4 Redundancia y Consistencia.

Se efectuará un análisis de las diferencias entre las mediciones GNSS y los puntos de control existentes. Con el fin de verificar la consistencia interna de la red de puntos de control mediante el ajuste de redes, si es necesario.

13.1.5 Análisis de Errores y Ajuste de Redes

Para detectar analizar y corregir posibles errores sistemáticos o aleatorios en las mediciones se realizará la comparación de los datos levantados con otros levantamientos o datos de referencia y se realizará el ajuste de la red de puntos de control utilizando técnicas de mínimos cuadrados para minimizar errores.

13.1.6 Corrección de Errores y Documentación

Mediante el control de calidad se podrán evidenciar aspectos a mejorar los cuales serán corregidos y se redactará un documento final donde se describan los productos finales y los controles de calidad realizados.

13.2 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO

Con el fin de verificar que el MDT cumple con las especificaciones técnicas requeridas como resolución, precisión vertical y formato se realizará la validación de la siguiente información:

13.2.1 Exactitud Vertical

Para garantizar la precisión vertical del MDT se realizará la verificación de los puntos de control conocidos (GCP), con base en esto se realizará el cálculo del error medio cuadrático vertical.

13.2.2 Exactitud Horizontal

Con el fin de identificar posibles desplazamientos o distorsiones se realizará la validación con las ortoimágenes mediante elementos identificables y comparables y se realizará el cálculo del error medio cuadrático horizontal.

13.2.3 Edición

Para garantizar que el Modelo Digital del Terreno no contenga elementos ajenos como edificios, vegetación, ruido, entre otros se realizará la validación de la edición mediante la comparación de la ortoimagen para detectar estos elementos.

13.2.4 Método de Interpolación

Con el objetivo de certificar que el método de interpolación utilizado para la generación del MDT sea correcto y no introduzca errores se realizará prueba con varias metodologías disponibles como (Triangulación o Binning)

13.2.5 Corrección de Errores y Documentación

Mediante el control de calidad se podrán evidenciar aspectos a mejorar los cuales serán corregidos y se redactará un documento final donde se describan los productos finales y los controles de calidad realizados.

13.3 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE ORTOIMAGEN

El ortofotomosaico debe cumplir las especificaciones técnicas requeridas dentro de la normatividad y los documentos técnicos del proyecto, por este motivo se aplicarán los siguientes controles de calidad a la información:

13.3.1 Exactitud Geométrica:

Para garantizar que los elementos se encuentren correctamente localizados se realizará la comparación con los puntos de control conocidos (GCP), y mediante elementos identificables y comparables y se realizará el cálculo del error medio cuadrático horizontal.

13.3.2 Precisión Radiométrica.

Se verificará la homogeneidad radiométrica en todo el mosaico con el fin de evitar que se presenten cambios bruscos en los tonos o ausencia de bandas se realizará la verificación radiométrica de las ortoimágenes generadas.

13.3.3 Consistencia Espacial.

Con el fin de que las ortoimágenes generadas cumplan con la resolución requerida para el proyecto.

14 GESTION DE RIESGOS

Para el proyecto se han identificado los siguientes riesgos:

- Orden público
- Condiciones climáticas adversas tanto para el vuelo como para la ejecución de los trabajos de campo.
- Ingresos a predios a la rivera del Río Cauca y afluentes.

14.1 Orden Público

La seguridad en el Valle del Cauca en los últimos meses se encuentra en permanente asedio por organizaciones que imparten inseguridad. Esto puede afectar la ejecución de los trabajos principalmente los de las comisiones de campo. Este riesgo no es posible anticiparlo, medirlo ni controlarlo, por lo que para que no impacte el proyecto desde el inicio se prevé comenzar los trabajos de campo de Norte a Sur, siendo las poblaciones de La Virginia y Cartago la primera e ir progresivamente yendo hacia el sur. Se mantendrá reporte diario de la información que se vaya capturando y del avance seguro de las comisiones.

Campo	Contenido
ID Riesgo	R-OP-001
Nombre del Riesgo	Riesgo de orden público en trabajos de campo
Tipo de Riesgo	Operativo / Seguridad
Proceso / Actividad	Ejecución de trabajos de campo
Activo Afectado	Personal de campo, cronograma del proyecto
Descripción del Riesgo	Posibles incidentes de orden público que afecten la seguridad de las comisiones de campo debido a la presencia de organizaciones que generan inseguridad, lo cual puede ocasionar retrasos, suspensión de actividades o riesgos al personal.
Causa	Presencia activa de grupos generadores de inseguridad en zonas de intervención
Consecuencia	Afectación a la integridad del personal, retrasos en la ejecución del proyecto, suspensión temporal de actividades
Probabilidad (Inherente)	Alta (3)
Impacto (Inherente)	Alto (3)

Nivel de Riesgo Inherente	9 – Alto
Controles Existentes	Planeación de ejecución de Norte a Sur, priorizando zonas con mejores condiciones de seguridad; reporte diario del avance y estado de las comisiones
Efectividad del Control	Parcial
Probabilidad Residual	Media (2)
Impacto Residual	Alto (3)
Nivel de Riesgo Residual	6 – Medio/Alto
Tratamiento del Riesgo	Mitigar
Plan de Acción	Ajustar la secuencia de trabajos de campo según condiciones de seguridad y realizar seguimiento diario al avance y estado del personal
Responsable	Coordinador del Proyecto / Líder de Campo
Estado del Riesgo	En monitoreo
Fecha de Revisión	Durante la ejecución de trabajos de campo

14.2 Condiciones climáticas

En los últimos meses se vienen presentando incremento en lluvias en el Valle del Cauca, con crecientes en ríos y quebradas.

Las malas condiciones de clima impactan de manera directa y ajena la programación de los vuelos, así como la ejecución de los trabajos de campo.

Se mantendrán los permisos de vuelos activos y en constante renovación por posibles demoras en la captura de los datos en vuelo. En cuanto a las comisiones de campo estas pueden avanzar en trabajos de monumentación y marcación de puntos de fotocontrol a la espera que las condiciones de seguridad sean las ideales para poder iniciar la toma de datos de secciones batimétricas.

Campo	Contenido
ID Riesgo	R-OP-002
Nombre del Riesgo	Condiciones climáticas adversas
Tipo de Riesgo	Operativo / Ambiental
Proceso / Actividad	Vuelos de captura de datos y trabajos de campo
Activo Afectado	Operaciones aéreas, comisiones de campo, cronograma del proyecto
Descripción del Riesgo	Condiciones climáticas adversas asociadas al incremento de lluvias y crecientes en ríos y quebradas, que pueden afectar la programación de los vuelos y la ejecución de los trabajos de campo, generando retrasos en la captura de información.
Causa	Incremento sostenido de lluvias y niveles elevados en ríos y quebradas

Consecuencia	Reprogramación de vuelos, demoras en captura de datos, extensión del cronograma del proyecto
Probabilidad (Inherente)	Media (2)
Impacto (Inherente)	Alto (3)
Nivel de Riesgo Inherente	6 – Medio/Alto
Controles Existentes	Mantenimiento y renovación permanente de permisos de vuelo; ejecución de actividades de campo alternativas como monumentación y marcación de puntos de fotocontrol mientras mejoran las condiciones climáticas
Efectividad del Control	Parcial
Probabilidad Residual	Media (2)
Impacto Residual	Media (2)
Nivel de Riesgo Residual	4 – Medio
Tratamiento del Riesgo	Prevenir
Plan de Acción	Reprogramar vuelos según ventanas climáticas favorables, mantener permisos activos y adelantar labores de campo que no dependan de condiciones hidrometeorológicas óptimas
Responsable	Coordinador Operativo / Jefe de Campo
Estado del Riesgo	En seguimiento
Fecha de Revisión	Durante la ejecución de trabajos de campo

14.3 Ingresos a predios a la rivera del Río Cauca y afluentes

El objetivo de la red de cuarto orden es la de contar con mojones o vértices en las zonas en que se van a tomar secciones batimétricas; la mayoría de los mojones deben ser localizados a la rivera de los cuerpos de agua, para lo cual el acceso en su mayoría se aprecia es por vías privadas de predios de cultivos, esto puede presentar demoras en el trabajo de campo por negativa de propietarios al ingreso del personal por sus vías privadas. Eso también aplica para la actividad de toma de secciones batimétricas.

Como estrategia se identificará el personal debidamente con carnets de la empresa ejecutora de los trabajos, adicionalmente se considera importante el poder contar con una carta de la CVC que respalde al personal para lograr fluidez en las actividades.

Campo	Contenido
ID Riesgo	R-OP-003
Nombre del Riesgo	Restricción de acceso a predios privados
Tipo de Riesgo	Operativo / Social

Proceso / Actividad	Red de cuarto orden y toma de secciones batimétricas
Activo Afectado	Mojones geodésicos, trabajos de campo, cronograma del proyecto
Descripción del Riesgo	Posibles demoras en la ejecución de la red de cuarto orden y en la toma de secciones batimétricas debido a la negativa de propietarios de predios privados para permitir el acceso del personal por vías privadas necesarias para la localización de mojones y puntos de medición.
Causa	Necesidad de ingreso a predios privados sin control directo por parte del proyecto
Consecuencia	Retrasos en actividades de campo, reprogramación de trabajos, impacto en el cronograma del proyecto
Probabilidad (Inherente)	Media (2)
Impacto (Inherente)	Alto (3)
Nivel de Riesgo Inherente	6 – Medio/Alto
Controles Existentes	Identificación visible del personal mediante carnets oficiales de la empresa ejecutora; acompañamiento documental mediante carta de respaldo institucional emitida por la CVC
Efectividad del Control	Parcial
Probabilidad Residual	Baja (1)
Impacto Residual	Alto (3)
Nivel de Riesgo Residual	3 – Medio
Tratamiento del Riesgo	Mitigar
Plan de Acción	Gestionar previamente cartas institucionales de respaldo, asegurar identificación del personal y socializar las actividades con los propietarios cuando sea requerido
Responsable	Coordinador de Campo / Dirección del Proyecto
Estado del Riesgo	En seguimiento
Fecha de Revisión	Durante la ejecución de trabajos de campo

15 ORGANIZACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO

15.1 Estructura organizacional

El proyecto cuenta con una estructura organizacional compuesta por:

- **Nivel estratégico:** Representado por el Cliente y el director del Proyecto, responsables de la dirección general, aprobación de entregables y decisiones estratégicas.
- **Nivel táctico:** Liderado por el Coordinador de Geodesia, encargado de planificar, coordinar y supervisar las actividades técnicas y operativas.

- **Nivel operativo:** Integrado por el personal técnico y de apoyo, responsable de la ejecución directa de las actividades del proyecto en campo y gabinete.

Dentro del nivel operativo se incluyen, además del equipo de ingeniería, los siguientes perfiles especializados:

- **Topógrafos:** Responsables del levantamiento topográfico, control y verificación de precisión en campo.
- **Auxiliares de campo:** Apoyo operativo a las actividades de topografía, sensores remotos y logística en campo.
- **Piloto:** Encargado de la operación segura de la aeronave o dron, cumpliendo la normativa aeronáutica vigente y los planes de vuelo aprobados.
- **Operador de sensores:** Responsable de la configuración, calibración y operación de sensores LiDAR, cámaras fotogramétricas u otros sensores remotos.
- **Personal de procesamiento de datos LiDAR:** Encargado del procesamiento, clasificación, filtrado y validación de nubes de puntos LiDAR.
- **Personal de procesamiento fotogramétrico:** responsable del procesamiento de imágenes, generación de modelos digitales, ortomosaicos y productos derivados.

16 PLAN DE COMUNICACIÓN

El objetivo principal del plan de Comunicación es establecer los lineamientos, canales, frecuencia y responsables para la gestión de la comunicación del proyecto de ingeniería, garantizando que la información relevante sea transmitida de manera oportuna, clara y efectiva a todas las partes interesadas, con el fin de apoyar la toma de decisiones y el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Este plan aplica a todas las fases del proyecto (planificación, ejecución, monitoreo y cierre) e involucra al equipo técnico, dirección del proyecto, cliente y demás actores clave

16.1 Partes Interesadas (Stakeholders)

- CVC (cliente)
- Interventoría
- Director del proyecto
- Coordinador Fotogrametría
- Coordinador de Geodesia
- Coordinador de Calidad
- Operador de sensor
- Piloto

16.2 Estrategia de Comunicación

La comunicación del proyecto se basará en:

- Información clara, verificable y documentada.
- Uso de canales formales para decisiones y aprobaciones.
- Comunicación periódica para seguimiento técnico y administrativo.
- Registro de actas, informes y correos oficiales.

16.3 Canales de Comunicación

- Reuniones presenciales o virtuales.
- Correos electrónicos institucionales.
- Informes técnicos y administrativos mensual.
- Actas de reunión.

16.4 Matriz de comunicación

Responsable	Frecuencia	canales de comunicación
Pedro Cortés Director del proyecto	Inicio, ejecución y finalización del contrato. Diaria L-V.	Correo electrónico: pedro.cortes@sigla-sas.com
Alejandro Lugo Coordinador de fotogrametría	Inicio, ejecución y finalización del contrato. Diaria L-V.	Correo electrónico: fotogrametria@sigla-sas.com
Felipe Chaparro Coordinador de Geodesia	Inicio, ejecución y finalización del contrato. Diaria L-V.	Correo electrónico: felipe.chaparro@sigla-sas.com
Raúl Valencia Coordinador de Calidad	Inicio, ejecución y finalización del contrato. Diaria L-V.	Correo electrónico: raul.valencia@sigla-sas.com
Juan Sebastian Castro Operador Sensor	Inicio y ejecución del contrato. Diaria.	Correo electrónico: topografia@sigla-sas.com
Sebastián Schrimppff Piloto	Inicio y ejecución del contrato. Diaria.	Correo electrónico: oscar.martinez@sigla-sas.com
Administración	Inicio, ejecución y finalización del contrato. Semanal.	Correo electrónico: andrea.orjuela@sigla-sas.com licitaciones@sigla-sas.com
Contabilidad	Inicio, ejecución y finalización del contrato. Mensual.	Correo electrónico: sonia.vasquez@sigla-sas.com contabilidad@sigla-sas.com

16.5 Frecuencia de reuniones

- Reunión de inicio del proyecto: Una vez.
- Reuniones de seguimiento técnico: Semanales.
- Reuniones de seguimiento y control con el cliente: Mensuales.
- Reunión de cierre: Una vez.

Las reuniones de seguimiento y control se ejecutarán de forma presencial o virtual según sea requerido por la CVC, entendiendo que el interés final del proyecto se desarrolla en el Valle del Cauca, están serán programadas según las necesidades de la entidad para resolver dudas que no puedan ser aclaradas mediante alguno de los otros medios de comunicación establecidos.

16.6 Gestión de la Información

Toda la información del proyecto será almacenada en un repositorio central, con control de versiones y acceso restringido según el rol de cada participante.

La información del proyecto, será cargada en el repositorio central o FTP disponible desde el inicio de la primera entrega formal de productos, de la cual se enviará manual de acceso mediante correo



formal y tendrá la capacidad de almacenamiento suficiente para realizar la entrega y descarga de la información.

Los productos finales serán entregados de forma física en discos duros para su manipulación, procesamiento y almacenaje tanto al consultor como a la interventoría, según lo estipulado en el contrato de la CVC No. 0801-2025.