

**Aplicación de Tecnología UAS y Fotogrametría en las Labores de Interventoría para validar las Dimensiones y Áreas del Urbanismo Desarrollado durante la Construcción de la Nueva clínica de Girón E.S.E. del Municipio de Giron, Santander.**

**Yefry Anderson Quintero Avendaño**

**Johan Sebastián Duarte Ramírez**

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

**Director**

**Robert Gutiérrez Ortiz**

**Magister en Dirección y Gestión de Proyectos**

**Especialista en Seguridad Industrial**

**Especialista en Trazabilidad**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ingenierías y Arquitectura**

**Especialización en Interventoría y Supervisión de la Construcción**

**2026**

### **Agradecimientos**

Expresamos nuestra más profunda gratitud a nuestras familias por ser la base de nuestras vidas. Su amor sin condiciones, paciencia y respaldo nos permitieron alcanzar esta meta. Gracias por confiar en nosotros, alentarnos a vencer las dificultades y recordarnos siempre el valor del esfuerzo diario. Este triunfo académico es tan suyo como nuestro.

Asimismo, agradecemos a los docentes por compartir su experticia en el manejo de drones y software especializado, herramientas que ya estamos aplicando para elevar la competitividad y los estándares de innovación en nuestras empresas y nuestra labor profesional.

Expresamos nuestro reconocimiento al Arq. Robert Gutiérrez Ortiz por su gestión en la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga, impulsando la innovación y tecnologías emergentes en la Especialización en Interventoría y Supervisión de la Construcción.

Gracias a su visión, se consolidó el diplomado en 'Piloto de Operaciones RPAS y Fotogrametría básica', una alternativa de grado que nos dota de competencias clave para la arquitectura y la ingeniería.

## Contenido

|                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción .....                                                                                                                                                                                                                                  | 17 |
| 1. Aplicación de Tecnología UAS y Fotogrametría en las Labores de Interventoría para validar las Dimensiones y Áreas del Urbanismo Desarrollado durante la Construcción de la Nueva clínica de Girón E.S.E, del Municipio de Giron, Santander ..... | 19 |
| 1.1 Objetivos .....                                                                                                                                                                                                                                 | 19 |
| 1.1.1 Objetivo general .....                                                                                                                                                                                                                        | 19 |
| 1.1.2 Objetivos específicos .....                                                                                                                                                                                                                   | 19 |
| 2. Marco referencial .....                                                                                                                                                                                                                          | 21 |
| 2.1 Marco conceptual .....                                                                                                                                                                                                                          | 21 |
| 2.1.1 Fotogrametría .....                                                                                                                                                                                                                           | 21 |
| 2.1.2 Teledetección .....                                                                                                                                                                                                                           | 21 |
| 2.1.3 Fotointerpretación .....                                                                                                                                                                                                                      | 22 |
| 2.1.4 Dron y aplicaciones.....                                                                                                                                                                                                                      | 22 |
| 2.1.5 Levantamiento topográfico .....                                                                                                                                                                                                               | 23 |
| 2.1.6 Levantamiento topográfico con cinta métrica.....                                                                                                                                                                                              | 24 |
| 2.1.7 Adquisición de datos fotogramétricos mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV) para fines topográficos.....                                                                                                                               | 24 |
| 2.1.8 Planimetría .....                                                                                                                                                                                                                             | 26 |
| 2.1.9 Altimetría .....                                                                                                                                                                                                                              | 26 |
| 2.1.10 Pix4D Mapper .....                                                                                                                                                                                                                           | 26 |
| 2.1.11 AutoCAD .....                                                                                                                                                                                                                                | 27 |
| 2.1.12 Recap Pro .....                                                                                                                                                                                                                              | 28 |

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.13 Concoord.....                                                                                    | 28 |
| 2.1.14 Google Earth Pro.....                                                                            | 29 |
| 2.1.15 ArcGIS: .....                                                                                    | 29 |
| 2.1.16 Curvas de Nivel.....                                                                             | 30 |
| 2.1.17 Área Metropolitana de Bucaramanga AMB .....                                                      | 30 |
| 2.1.18 Estación Total Topográfica.....                                                                  | 30 |
| 2.2 Marco teórico .....                                                                                 | 31 |
| 2.3 Marco legal .....                                                                                   | 32 |
| 2.4 Antecedentes y estados del Arte .....                                                               | 33 |
| 2.4.1 Antecedentes internacionales .....                                                                | 33 |
| 2.4.2 Antecedentes nacionales .....                                                                     | 46 |
| 3. Método – Etapas de desarrollo con actividades detalladas del proyecto .....                          | 57 |
| 3.1 Etapa 1. Planeación de la misión de vuelo del RPAS .....                                            | 57 |
| 3.2 Etapa 2. Ejecución de la misión Insitu según planificación del Flight logbook .....                 | 58 |
| 3.3 Etapa 3. Recolección de información con cinta métrica y polígono de la carta catastral. ....        | 58 |
| 3.4 Etapa 4. Recolección de la información del levantamiento topográfico hecho con estación total. .... | 59 |
| 3.5 Etapa 5. Posproducción de muestras fotogramétricas, análisis y comparación .....                    | 59 |
| 4. Aplicación de la posproducción de las muestras fotogramétricas a partir del método y las etapas      | 59 |
| 4.1 Etapa 1: Planeación de la misión de vuelo del RPAS .....                                            | 59 |
| 4.2 Etapa 2. Ejecución de la misión Insitu según planificación del Flight logbook .....                 | 62 |
| 4.3 Etapa 3. Recolección de información con cinta métrica y polígono de carta catastral .....           | 62 |

|       |                                                                                                                                                                                              |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4   | Etapa 4. Recolección de la información del levantamiento topográfico hecho con estación total.                                                                                               | 65  |
| 4.5   | Etapa 5. Posproducción de muestras fotogramétricas, análisis y comparación .....                                                                                                             | 67  |
| 4.5.1 | Localización y ubicación del proyecto.....                                                                                                                                                   | 67  |
| 4.5.2 | Análisis de datos (desarrollo de fases del postproceso de fotogrametría que se utilizó para efectuar el proceso de comparación) .....                                                        | 69  |
| 4.6   | Análisis y comparación de dimensiones con carta catastral, cinta métrica, levantamiento topográfico con estación total y el levantamiento con tecnología dron .....                          | 79  |
| 4.6.1 | Información predial obtenida de la carta catastral 2024 y cinta métrica Insitu .....                                                                                                         | 79  |
| 4.6.2 | Información obtenida del Levantamiento Topográfico con Estación Total .....                                                                                                                  | 81  |
| 4.6.3 | Información de la geolocalización y postproceso fotogramétrico de las imágenes del dron y dimensiones de sus perímetros:.....                                                                | 84  |
| 4.6.4 | Información registrada en tabla de datos de perímetros producto del postproceso de la fotogrametría y geolocalización de las imágenes tomadas con el dron.....                               | 85  |
| 4.6.5 | Comparación tres (3) métodos fusión carta catastral con cinta métrica, método levantamiento con Estación Total y Método fotointerpretación en AutoCAD, fotogrametría y tecnología dron ..... | 87  |
| 5.    | Resultados .....                                                                                                                                                                             | 91  |
| 6.    | Conclusiones .....                                                                                                                                                                           | 95  |
|       | Referencias.....                                                                                                                                                                             | 100 |
|       | Apéndices.....                                                                                                                                                                               | 105 |

### Lista de Tablas

|                                                                                                                                                                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Tablas con longitudes de perímetro punto a punto producto del levantamiento de cinta métrica Insitu y Carta catastral.....</i>                                                                       | <i>64</i> |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Tabla con longitudes de perímetro punto a punto producto del levantamiento de estación total .....</i>                                                                                               | <i>66</i> |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Grafica relación de puntos de control con GPS de alta precisión con antena para escalar Ortomosaico en AutoCAD y ejecutar la fotointerpretación. ....</i>                                            | <i>76</i> |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Relación de georreferencia de puntos de perímetro y distancias con datos obtenidos de la fotointerpretación (Tabla versión 1 Punto 1 a punto 18).....</i>                                            | <i>78</i> |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Relación de georreferencia de puntos de perímetro y distancias con datos obtenidos de la fotointerpretación (Tabla versión 2 Punto 18 a punto 34).....</i>                                           | <i>78</i> |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Relación de georreferencia de puntos de perímetro y distancias con datos obtenidos de la carta catastral y cinta métrica (Punto 1, P1 al punto 34, P34). ....</i>                                    | <i>80</i> |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Relación de distancias punto a punto lote proyecto Construcción Nueva Clínica de Girón E.S.E., con las dimensiones dadas con el levantamiento topográfico con estación total ..... <b>Error!</b></i> |           |
| <b>Bookmark not defined.</b>                                                                                                                                                                                            |           |
| <b>Tabla 8.</b> <i>Grafica relación de coordenadas y medidas perimetrales postproceso fotogramétrico de fotointerpretación de Imágenes Dron.....</i>                                                                    | <i>86</i> |
| <b>Tabla 9.</b> <i>Comparativa de longitudes perímetro y área de los tres métodos del punto P1 al punto P18.....</i>                                                                                                    | <i>87</i> |
| <b>Tabla 10.</b> <i>Comparativa de longitudes perímetro y área de los tres métodos del punto P18 al punto P34 .....</i>                                                                                                 | <i>87</i> |

**Tabla 11.** *Comparativa de Superficies y perímetros de los tres métodos, carta catastral con cinta métrica, levantamiento estación total y levantamiento con fotogrametría y Fotointerpretación en AutoCAD con Dron.....* 88

**Tabla 12.** *Comparativa de Áreas de Urbanismo hecha por la Interventoría con los métodos de topografía con drones y estación total.....* 98

### Lista de Figuras

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> <i>Levantamiento de nuestras fotogramétricas para topografía con drones</i> .....                                | 25 |
| <b>Figura 2.</b> <i>Pisos altitudes de la carretera del tramo 1.3 (Caso 1)</i> .....                                              | 35 |
| <b>Figura 3.</b> <i>Zona altoandina (Caso 1)</i> .....                                                                            | 36 |
| <b>Figura 4.</b> <i>Tabla de intervención</i> .....                                                                               | 36 |
| <b>Figura 5.</b> <i>Plano de levantamiento topográfico convencional (Caso 1)</i> .....                                            | 37 |
| <b>Figura 6.</b> <i>Tabla Etapas de la propuesta (Caso 1)</i> .....                                                               | 38 |
| <b>Figura 7.</b> <i>Equipo UAS Phantom 4 pro V2 (Caso 1)</i> .....                                                                | 39 |
| <b>Figura 8.</b> <i>Programación de Vuelo en MAP PILOT y solape (Caso 1)</i> .....                                                | 40 |
| <b>Figura 9.</b> <i>Imágenes capturadas por el Drone y en posproducción (Caso 1)</i> .....                                        | 41 |
| <b>Figura 10.</b> <i>Ortomosaico y nube de puntos en posproducción con Propeller (Caso 1)</i> .....                               | 42 |
| <b>Figura 11.</b> <i>Nube de puntos en levantamiento convencional (Caso 1)</i> .....                                              | 43 |
| <b>Figura 12.</b> <i>Tabla de comparación densidad de Nube de puntos (Caso 1)</i> .....                                           | 44 |
| <b>Figura 13.</b> <i>Tabla de comparación de velocidad de levantamiento topográfico (Caso 1)</i> .....                            | 45 |
| <b>Figura 14.</b> <i>Ubicación Geográfica en Google earth pro (Caso 2)</i> .....                                                  | 48 |
| <b>Figura 15.</b> <i>Ubicación en campo de mojones y elementos de referencia (Caso 2)</i> .....                                   | 49 |
| <b>Figura 16.</b> <i>Puntos de control logrados con estacion total para ajuste en Pix4d mapper geolocalización (Caso 2)</i> ..... | 50 |
| <b>Figura 17.</b> <i>Polígono de perímetro del predio objeto de estudio (Caso 2)</i> .....                                        | 50 |
| <b>Figura 18.</b> <i>Polígono KML insertado en interfaz de ruteo del drone Pix4d capture (Caso 2)</i> .....                       | 51 |
| <b>Figura 19.</b> <i>Nube de puntos y Ortomosaico producido en pix4d mapper (Caso 2)</i> .....                                    | 52 |
| <b>Figura 20.</b> <i>Ortomosaico insertado en Google Earth pro para análisis (Caso 2)</i> .....                                   | 53 |
| <b>Figura 21.</b> <i>Ortomosaico creado en Pix4d mapper formato TIF (Caso 2)</i> .....                                            | 54 |

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 22.</b> <i>Planimetría con Ortomosaico resultado de la fotogrametría (Caso 2)</i> .....                                                                   | 55 |
| <b>Figura 23.</b> <i>Planimetría sin ortomosaico resultado de la fotogrametría (Caso 2)</i> .....                                                                   | 57 |
| <b>Figura 24.</b> <i>Plano general de localización Nueva Clínica de Giron ESE</i> .....                                                                             | 60 |
| <b>Figura 25.</b> <i>Planta del proyecto lograda desde una fotografía aérea</i> .....                                                                               | 60 |
| <b>Figura 26.</b> <i>Ficha Predial del Área Metropolitana de Bucaramanga, que contiene información cartografía del predio y las medidas de cinta métrica.</i> ..... | 63 |
| <b>Figura 27.</b> <i>Plano Topográfico realizado con estación total.</i> .....                                                                                      | 65 |
| <b>Figura 28.</b> <i>Localización y ubicación del proyecto</i> .....                                                                                                | 67 |
| <b>Figura 29.</b> <i>Sistema GNSS de alta precisión con antena para ubicación puntos de control</i> .....                                                           | 68 |
| <b>Figura 30.</b> <i>Ubicación puntos de control en el terreno</i> .....                                                                                            | 69 |
| <b>Figura 31.</b> <i>Procesamiento inicial en el software Pix4d Mapper geolocalización de fotografías</i> 70                                                        |    |
| <b>Figura 32.</b> <i>Nube de puntos y cámaras direccionadas y geolocalizadas</i> .....                                                                              | 70 |
| <b>Figura 33.</b> <i>Nube de puntos en malla con textura 3D</i> .....                                                                                               | 71 |
| <b>Figura 34.</b> <i>Ortomosaico creado en Pix4d mapper</i> .....                                                                                                   | 72 |
| <b>Figura 35.</b> <i>Ortomosaico insertado en KML en software Google Earth pro</i> .....                                                                            | 72 |
| <b>Figura 36.</b> <i>Quality Report del proyecto dada por pix4d mapper</i> .....                                                                                    | 73 |
| <b>Figura 37.</b> <i>Resumen del proyecto desde Ortomosaico, DSM y Overlap</i> .....                                                                                | 73 |
| <b>Figura 38.</b> <i>Reporte de posicionamiento de imágenes del Ortomosaico</i> .....                                                                               | 74 |
| <b>Figura 39.</b> <i>Edición de la nube de puntos en el software RECAP</i> .....                                                                                    | 75 |
| <b>Figura 40.</b> <i>Elaboración planimetría con Ortomosaico para fotointerpretación en AutoCAD....</i>                                                             | 76 |
| <b>Figura 41.</b> <i>Elaboración planimetría sin Ortomosaico escalado fase de la fotointerpretación en AutoCAD.</i> .....                                           | 77 |

|                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 42.</b> <i>Elaboración planimetría con Ortomosaico escalado fase de la fotointerpretación en AutoCAD.</i> .....                                                                   | 77 |
| <b>Figura 43.</b> <i>Información predial del área metropolitana de Bucaramanga AMB y medidas de cinta métrica tomadas en trabajo de campo.</i> .....                                        | 80 |
| <b>Figura 44.</b> <i>Fotos de montaje de estación total Sokkia iM-105 Insitu.</i> .....                                                                                                     | 82 |
| <b>Figura 45.</b> <i>Modelo de estación total Sokkia iM-105</i> .....                                                                                                                       | 82 |
| <b>Figura 46.</b> <i>Información Planimetría levantamiento con tecnología dron con Ortomosaico.</i> .....                                                                                   | 84 |
| <b>Figura 47.</b> <i>Información Planimetría con tecnología dron sin Ortomosaico</i> .....                                                                                                  | 85 |
| <b>Figura 48.</b> <i>Equipo UAS (Phantom 4) utilizado en la misión levantamiento topográfico y fotogramétrico construcción nueva Clínica de Giron E.S.E.</i> .....                          | 90 |
| <b>Figura 49.</b> <i>Información obtenida del postproceso a partir de puntos del escalamiento del Ortomosaico desde la fotointerpretación en AutoCAD.</i> .....                             | 92 |
| <b>Figura 50.</b> <i>Información obtenida del postproceso a partir de puntos de control georreferenciados que permite el escalamiento del Ortomosaico.</i> .....                            | 93 |
| <b>Figura 51.</b> <i>Ejemplo de detalles físicos de zonas verdes, vías, cubierta de edificación y del urbanismo identificados en el Ortomosaico escalado y la fotointerpretación.</i> ..... | 94 |

**Lista de Apéndices**

|                                                                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Apéndice a.</b> <i>Planimetría de la carta catastral expedida por el área metropolitana de Bucaramanga.....</i>                    | <i>105</i> |
| <b>Apéndice b.</b> <i>Planimetría levantamiento fotogramétrico lote con Ortomosaico.....</i>                                          | <i>106</i> |
| <b>Apéndice c.</b> <i>Planimetría levantamiento fotogramétrico lote sin Ortomosaico .....</i>                                         | <i>106</i> |
| <b>Apéndice d.</b> <i>Foto aérea con puntos de control plataformas guía para escalar .....</i>                                        | <i>106</i> |
| <b>Apéndice e.</b> <i>Tabla con puntos de control georreferenciado en datos X, Y, Z.....</i>                                          | <i>106</i> |
| <b>Apéndice f.</b> <i>Planimetría levantamiento topográfico con estación total elaborado por TOPCONSA SAS, firma consultora .....</i> | <i>106</i> |
| <b>Apéndice g.</b> <i>Planimetría levantamiento Carta Catastral y cinta métrica .....</i>                                             | <i>106</i> |

### Resumen

El uso de sistemas UAS/RPAS, conocidos popularmente como drones, ha optimizado las labores de supervisión y modelado en áreas como la arquitectura, ingeniería y topografía, consolidándose como una herramienta clave para la fotogrametría moderna. La integración de estos dispositivos con software especializado como Pix4D, RECAP, ARCGIS y AutoCAD ha revolucionado el flujo de trabajo, desde la captura de datos en campo hasta su procesamiento digital. Este documento detalla tres métodos de validación: una medición manual con cinta basada en registros catastrales, un levantamiento técnico topográfico con estación total para definir perímetros con implantación del proyecto, y un análisis Aero fotogramétrico que genera ortomosaicos y nubes de puntos para su fotointerpretación precisa en AutoCAD con puntos de control geolocalizado para escalamiento de la aerofoto y la integración de curvas de nivel que igualmente desarrollan una topografía de preciso para límites y perímetros.

El análisis concluye y valida la implementación de drones y fotogrametría mediante ortomosaicos escalados de precisión al contrastarlos con métodos tradicionales como la topografía con estación total y la carta catastral constatada con medidas de cinta métrica. La metodología de la Fotogrametría y la fotointerpretación del ortomosaico escalado en sistemas CAD, optimiza la precisión en la geolocalización perimetral, reduciendo significativamente los costos operativos y los tiempos de ejecución gracias a la fidelidad de los datos capturados

*Palabra clave:* topografía, levantamiento con dron, levantamiento tradicional, exactitud, ortomosaico, cinta métrica.

### **Abstract**

The use of UAS/RPAS systems, popularly known as drones, has optimized monitoring and modeling tasks in areas such as architecture, engineering, and surveying, establishing itself as a key tool for modern photogrammetry. The integration of these devices with specialized software such as Pix4D, RECAP, ArcGIS, and AutoCAD has revolutionized the workflow, from data capture in the field to digital processing. This document details three validation methods: manual measurement with a tape measure based on cadastral records, a technical topographic survey with a total station to define perimeters for project implementation, and an aerophotogrammetric analysis that generates orthomosaics and point clouds for precise photointerpretation in AutoCAD with geolocated control points for aerial photo scaling and the integration of contour lines, which also develop a precise topography for boundaries and perimeters.

The analysis concludes and validates the implementation of drones and photogrammetry using precision-scaled orthomosaics by comparing them with traditional methods such as total station surveying and cadastral mapping verified with measuring tapes. The photogrammetry methodology and the photointerpretation of the scaled orthomosaic in CAD systems optimize the accuracy of perimeter geolocation, significantly reducing operating costs and execution times thanks to the fidelity of the captured data.

**Keywords:** surveying, drone surveying, traditional surveying, accuracy, orthomosaic, measuring tape.

### Glosario

**Acta.** Documento de carácter administrativo que legaliza los contenidos, las elecciones o las deliberaciones que se presentan en una reunión o asamblea. Este instrumento detalla de manera concisa los compromisos, tareas y responsabilidades asignadas a los participantes, sirviendo como memoria institucional y soporte legal de lo acontecido (Real Academia Española, 2020).

**Agrimensura.** Esta especialidad se encarga de determinar y delimitar las superficies terrestres mediante la aplicación de procedimientos mecánicos, analíticos y gráficos; asimismo, abarca subdisciplinas como la agrodesia, enfocada específicamente en la división de los predios levantados (Sánchez et al., 2022).

**Carta Catastral Urbana.** se trata de la cartografía oficial que geolocaliza los perímetros de los lotes urbanos. Su función es identificar cada predio dentro de la manzana, vinculándolo con su dirección y ubicación vial específicas. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2019).

**Flight logbook.** Documento utilizado para registrar información relacionada con los vuelos realizados por un piloto, incluyendo fechas, horas de vuelo, tipo de aeronave y demás datos necesarios para acreditar su experiencia y entrenamiento (Federal Aviation Administration, 2024).

**Fotogrametría.** la fotogrametría es una herramienta para la obtención de medidas y volúmenes en 3D basándose en capturas fotográficas. Tradicionalmente, su uso en el ámbito aéreo ha facilitado la creación de mapas y modelos digitales del terreno (Caro-Herrero, 2012).

**Fotointerpretación.** Técnica que permite identificar, analizar y clasificar elementos o fenómenos presentes en la superficie terrestre mediante la interpretación de fotografías aéreas o imágenes satelitales, con el propósito de obtener información útil para distintos estudios y aplicaciones (Sisti, 2020).

**Interventor.** Persona natural o jurídica encargada de realizar el seguimiento técnico,

administrativo, financiero, contable y jurídico de un contrato estatal cuando dicho seguimiento requiere conocimientos especializados (Ley 1474 de 2011).

***Interventoría.*** Proceso de supervisión y seguimiento de un contrato estatal, realizado por una persona natural o jurídica especializada, con el fin de verificar su adecuado cumplimiento en los aspectos técnicos, administrativos, financieros, contables y jurídicos que correspondan (Ley 1474 de 2011).

***Magna-Sirgas.*** sistema de referencia geodésico usado en la zona Colombia-Bogotá.

***MDE.*** modelos de Elevación Digital.

***MDT.*** modelo Digital de Terreno

***MDS.*** modelo Digital de Superficie

***Nubes de puntos 3D.*** Conjunto de puntos tridimensionales que representan la forma y estructura de un entorno. Cada punto contiene coordenadas espaciales (X, Y y Z) y puede incluir información adicional, como intensidad o color, permitiendo generar representaciones digitales detalladas de objetos y superficies (SBG Systems, 2025).

***Ortofoto.*** Representación fotográfica de una zona de la superficie terrestre en la que se han corregido las distorsiones geométricas producidas por el sistema de captura y el relieve, permitiendo que todos los elementos presenten una escala uniforme y tengan validez cartográfica (IGAC, 2016).

***Ortomosaico.*** Imagen cartográfica obtenida mediante la unión de varias fotografías aéreas corregidas y georreferenciadas, generando una representación continua y precisa del terreno (Escalante Torrado, Cáceres Jiménez y Porras Díaz, 2016).

***Planeación.*** Etapa previa de un proyecto fotogramétrico en la que se establecen las condiciones de captura de datos, como el área de estudio, la altura de vuelo, el sensor, la

orientación de las imágenes y otros parámetros necesarios para garantizar la calidad de los productos finales (Gómez-López et al., 2020).

***RPA.*** *Sistema de Aeronave Pilotada Remotamente.* Aeronave operada sin un piloto a bordo, controlada desde una estación remota por una persona capacitada para dirigir su vuelo (OACI, 2015).

***UAS.*** *Sistema Aéreo/Aeronave No Tripulada.* Conjunto integrado por la aeronave no tripulada, la estación de control en tierra, los enlaces de comunicación y demás componentes necesarios para su operación segura (OACI, 2015).

***UAV.*** *Vehículo Aéreo No Tripulado.* Aeronave capaz de volar sin un piloto a bordo, controlada de forma remota o mediante sistemas automáticos de navegación (OACI, 2015).

## Introducción

La fotogrametría como disciplina tecnológica emergente permite deducir la estructura geométrica, el dimensionamiento y la ubicación espacial (georreferenciación) de cualquier objeto, procesando imágenes aéreas fotográficas, ya sea de una sola toma o de varias (IGN, 2024).

Al integrar la fotogrametría con tecnologías avanzadas de drones (sensores de posición y telemetría), los procedimientos de fotointerpretación alcanzan una alta precisión en la modelación gráfica de terrenos y edificaciones, tanto en dos como en tres dimensiones, modernizando la cartografía y topografía.

A lo largo de su desarrollo, la topografía se ha consolidado como el campo que estudia cómo representar la forma y los componentes de un terreno, ya sean naturales o construidos. Dicha representación se fundamenta en un área concreta, proyectada sobre un plano ficticio mediante coordenadas (x, y, z) para definir su geometría tridimensional.

La culminación de este análisis es la creación de cartografía topográfica, la cual ilustra la morfología de la superficie explorada. A través de este recurso, se plasma la altitud mediante curvas de nivel referenciadas habitualmente al nivel del mar, permitiendo interpretar la verticalidad del entorno (IGN, 2025).

La topografía y la fotogrametría son técnicas esenciales en diversos campos de la ingeniería, abarcando desde la minería hasta el diseño de infraestructuras. Su importancia radica en la capacidad de definir detalladamente las características físicas de un terreno, ya sea en entornos urbanizados o rurales (valles y campos), lo cual resulta indispensable para la ejecución de proyectos de construcción y edificación (Chueca Pazos, 2008).

La topografía, fotogrametría y fotointerpretación analizadas aquí se aplican mediante un método de autoría del Arq. Robert Gutiérrez Ortiz. Esta metodología, desarrollada en el marco del

Diplomado, ha garantizado resultados satisfactorios de precisión, validados en trabajos de campo por estudiantes de la Especialización de Interventoría de la Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga, el Semillero de Investigación SIMO 3D del Grupo de Investigación GINVEARQUI y lo ejecutado en forma oficial en el Departamento de Fotogrametría del Banco Inmobiliario de Floridablanca BIF.

Para el desarrollo del proyecto Construcción de la Nueva Clínica de Girón E.S.E. en el Municipio de Girón, Santander, la interventoría se apoya en fotogrametría y drones para enriquecer el control de obra. Este informe técnico destaca cómo la precisión en la localización de puntos y el cálculo perimetral facilitan la verificación del terreno y el seguimiento de los progresos de construcción de la Nueva Clínica.

La finalidad de este informe es evidenciar, mediante la investigación, las ventajas y precisión de la fotogrametría con drones frente a los sistemas tradicionales de topografía y cinta métrica, utilizando los conceptos adquiridos en el Diplomado.

# **1. Aplicación de Tecnología UAS y Fotogrametría en las Labores de Interventoría para validar las Dimensiones y Áreas del Urbanismo Desarrollado durante la Construcción de la Nueva clínica de Girón E.S.E, del Municipio de Giron, Santander**

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo general***

Empleo de técnicas fotogramétricas mediante drones y software avanzado de posproducción para validar las dimensiones del terreno de la Nueva Clínica de Girón E.S.E., así como para calcular el alcance de la infraestructura urbana desarrollada a fin ejecutar un informe de métricas para estimar áreas de ocupación de lo construido su topografía y la implantación de la edificación.

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

Ejecutar la captura de datos fotogramétricos mediante un dron Phantom 4, documentando la actividad en un flight logbook o bitácora de vuelo, incluyendo el establecimiento de dos puntos de fotocontrol con GPS diferencial para determinar coordenadas tridimensionales precisas (X, Y, Z) y el diagnóstico del estado físico del área de estudio.

Utilizar software especializado como Recap Pro y Pix4D Mapper para gestionar todo el proceso fotogramétrico, lo que incluye la edición y verificación de nubes de puntos, modelos digitales de terreno (MDT) y superficie (MDS), y ortomosaicos escalados, permitiendo así la fotointerpretación en plataformas de dibujo digital como AutoCAD.

Validar la precisión de las dimensiones del inmueble mediante la geometría formal de la

carta catastral, contrastándola con las medidas planimétricas directas obtenidas mediante cinta métrica en el trabajo de campo.

Verificar la exactitud de los levantamientos altimétricos y planimétricos del predio, fundamentado en la medición topográfica convencional (estación total) ejecutada en el lote de la Nueva Clínica de Girón E.S.E.

Desarrollar todo el proceso de levantamiento topográfico y fotogramétrico con Drones del predio objeto del estudio a fin de contrastar las métricas entre lo ejecutado con drones y la disciplina de la fotogrametría con los otros métodos de levantamiento topográfico y planimétrico.

Evaluar comparativamente la cartografía catastral y su planimetría basada en medición directa (cinta métrica) frente a la precisión métrica de levantamientos topográficos convencionales como la estación total y determinar la precisión de la fotogrametría UAS (drones) en dimensiones perimetrales y áreas.

Determinar la fiabilidad del método de Fotointerpretación en AutoCAD con ortomosaico escalado y nube de puntos RCP, para validar medidas precisas en labores de interventoría.

## **2. Marco referencial**

### **2.1 Marco conceptual**

#### **2.1.1 *Fotogrametría***

Se define como el método para obtener mediciones tridimensionales y volúmenes mediante el análisis de imágenes fotográficas. Aunque históricamente la fotogrametría aérea se ha utilizado para la cartografía y el desarrollo de modelos digitales de elevación (DEM), el avance actual en la capacidad de procesamiento y en los algoritmos de reconocimiento de patrones ha impulsado su uso en la creación de modelos 3D detallados. A esta aplicación específica se le denomina fotogrametría de alcance corto o close-range photogrammetry (Caro-Herrero, 2012, p. 4).

#### **2.1.2 *Teledetección***

La teledetección consiste en la adquisición de información de la superficie terrestre a distancia, empleando sensores montados en satélites en lugar de contacto directo. Dichos dispositivos captan la energía electromagnética que emite o refleja el terreno, convirtiendo estos datos en imágenes procesables para analizar el entorno. Desde el lanzamiento del primer satélite de observación estadounidense en 1972, esta tecnología ha evolucionado drásticamente; tras un inicio limitado por elevados costos, hoy en día es una herramienta ampliamente utilizada por entidades públicas y privadas. Entre sus usos principales se encuentran el seguimiento agrícola, la evaluación de desastres naturales, el estudio de volcanes y la detección de cambios en el territorio (IGN, 2020).

Para este proyecto, centrado en la edificación de las obras urbanísticas de la nueva Clínica de Girón E.S.E., la teledetección constituye una herramienta fundamental para evaluar la topografía, la vegetación existente y la radiación solar del predio. Dichos datos permiten optimizar la planeación espacial, priorizando las zonas de alto valor paisajístico y minimizando el impacto ecológico.

### **2.1.3 Fotointerpretación**

Según la American Society of Photogrammetry, la interpretación de fotos aéreas consiste en el arte de analizar imágenes para reconocer objetos y valorar su relevancia (Torres, 1967). Sus metas centrales son identificar áreas uniformes mediante un examen de sus formas y obtener datos concretos de cada toma. El éxito de este proceso depende de tres pilares: el talento del analista, la nitidez de la fotografía y los rasgos de lo que se observa.

Respecto al especialista, este debe contar con una visión aguda y agilidad mental. En cuanto a las imágenes, deben ser actuales, tener la escala correcta, estar bien enfocadas y libres de nubes o sombras excesivas. También es vital que no tengan distorsiones y que los puntos de interés sean visibles sobre suelo firme. Por último, para describir los objetos, se evalúan criterios como el color, el tamaño, la textura, la ubicación y el contexto espacial donde aparecen (Avalos, 2013).

### **2.1.4 Dron y aplicaciones**

El empleo de RPAS (sistemas de aeronaves pilotadas a distancia) facilita la realización de operaciones en vuelo rasante, ofreciendo monitoreo en tiempo real, lo que agiliza el reconocimiento de entornos de difícil acceso o peligrosos, sorteando barreras sin poner en riesgo la seguridad humana. Hoy en día, existe una amplia gama de drones con características técnicas

adaptadas a diversas funciones. Particularmente, en el sector de la ingeniería, constituyen una herramienta eficiente para la supervisión y control de infraestructuras, permitiendo generar modelos tridimensionales de gran resolución y realizar un seguimiento visual del progreso de la obra ágil, exacto y rentable (Comunidad de Madrid, 2015).

En el mercado de los Drones (UAS y/o UAV) se dispone de una extensa gama de aeronaves con diversos grados de automatización. Debido a la reciente introducción de estas tecnologías en el sector civil, no hay una definición unificada, lo que provoca incertidumbre al clasificar ciertos sistemas como UAV (vehículos aéreos no tripulados). Esta terminología destaca la falta de pilotos a bordo, pero no garantiza un funcionamiento autónomo. Los drones se diferencian por su configuración de diseño, lo que condiciona sus aplicaciones. Se destacan dos grupos principales: ala fija y multirrotores (ej. cuadricópteros). Los últimos permiten el vuelo estático, mientras que los de ala fija exigen movimiento constante. Asimismo, el peso condiciona el alcance: los drones de ala fija, al ser más ligeros, cubren áreas más extensas, optimizando el registro de imágenes aéreas.

### ***2.1.5 Levantamiento topográfico***

El levantamiento topográfico comprende las tareas de campo destinadas a recolectar datos para definir las coordenadas de diversos puntos del suelo. Estos valores, obtenidos de forma directa o por cálculo, facilitan la creación de planos, el cálculo de superficies y la medición de movimientos de tierra. En esencia, autores como Torres y Villate (2001, citado en Pachas, 2009) lo definen como la metodología de medición y dibujo empleada para establecer la ubicación exacta de los elementos que integran un área determinada.

### ***2.1.6 Levantamiento topográfico con cinta métrica***

El levantamiento de planimetría de un terreno mediante cinta métrica destaca por ser una técnica directa, económica y de baja complejidad técnica. Pese a estar condicionada por una precisión limitada y no ser ideal para grandes extensiones, resulta idónea para parcelas pequeñas. Las metodologías aplicables abarcan la radiación, poligonales (abiertas o cerradas), el método de ordenadas y la triangulación. La medición de distancias constituye el pilar topográfico, definiéndose la longitud entre dos puntos como la proyección horizontal entre sus respectivas líneas de plomada, ignorando el relieve. La técnica de campo habitual es el cadenamamiento, basado en la medición directa sobre el terreno ((Instituto Superior Tecnológico Luis Rogerio González, 2022).

### ***2.1.7 Adquisición de datos fotogramétricos mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV) para fines topográficos***

En el operativo de campo, se realizan tomas fotográficas secuenciales desde diversas perspectivas, registrando las coordenadas geográficas de cada vista para garantizar su correcta localización espacial. Las metodologías fotogramétricas brindan una solución ágil y exacta para mapear variables sobre el terreno, integrando rapidez, alta resolución y una inversión económica eficiente. Finalmente, estas capturas posibilitan el análisis detallado tanto de componentes naturales como de infraestructura humana en el área de estudio

La utilización de vehículos aéreos no tripulados (drones) para obtener datos fotogramétricos se ha consolidado en la ingeniería topográfica y cartográfica, destacando por su habilidad para adquirir tomas aéreas a través de sensores remotos orientados al terreno. Esta instrumentación facilita la identificación de cambios superficiales, ya sean relieve natural,

edificaciones o cobertura vegetal, utilizando equipos como cámaras RGB, sensores multiespectrales o sistemas LIDAR.

En el ámbito forestal y ambiental, la gestión de múltiples variables espaciales ha convertido el uso de imágenes aéreas en una herramienta crucial, sobre todo en economías emergentes. Es indispensable que los especialistas dominen los fundamentos de las tomas aéreas, su interpretación, así como la obtención de mediciones como relieve, pendientes y superficies. Estos conocimientos resultan vitales para la creación de cartografía base y temática ((Pacheco y Pozzobon, 2006). Mediante drones, los programas de fotogrametría generan productos georreferenciados como ortomosaicos, MDE (Modelos Digitales de Elevación) o reconstrucciones 3D del terreno, facilitando el cálculo preciso de distancias y volúmenes.

**Figura 1.** *Levantamiento de nuestras fotogramétricas para topografía con drones*



Tomado de Ingeo, 2019

Contrario a los métodos tradicionales (satélites/aviación tripulada), esta solución funciona en cotas inferiores, lo que resulta en una mayor exactitud en la información recabada, agilizando procesos, abaratando costos y mitigando las limitaciones atmosféricas.

### **2.1.8 Planimetría**

La planimetría, rama fundamental de la topografía y la Cartografía, se enfoca en proyectar con precisión una zona de la superficie terrestre sobre un plano horizontal, ignorando las variaciones de altura. Su objetivo central es la representación 2D del terreno, utilizando métodos que detallan minuciosamente puntos, lindes, curvas de nivel, áreas, perfiles y volúmenes (Ucha, 2022).

Bajo esta perspectiva de Quispe (2020), se define como el conjunto de técnicas para plasmar a escala los elementos horizontales del terreno, excluyendo la altimetría o relieve. Su aplicación resulta indispensable en la ingeniería civil y la arquitectura. En esta última, la planimetría es clave para elaborar documentos gráficos como plantas, cortes y fachadas. Estos recursos técnicos son cruciales para definir la configuración espacial, los flujos de circulación y las características funcionales de la edificación, impulsando la innovación en el diseño de espacios más eficientes y ajustados a las necesidades del usuario

### **2.1.9 Altimetría**

Con el objetivo de representar el relieve, la altimetría (o hipsometría) aplica diferentes metodologías y técnicas para medir la altura de puntos específicos basándose en un plano de referencia. Al ser una especialidad de la topografía —disciplina que describe las superficies—, se centra en la medición precisa de la elevación (Del Río, et ál., 2020, p. 2).

### **2.1.10 Pix4D Mapper**

Pix4D constituye una solución de software avanzada diseñada para procesar imágenes capturadas por vehículos aéreos no tripulados (drones) y equipos móviles. Mediante el uso de

fotogrametría y algoritmos de vanguardia, esta plataforma genera ortomosaicos, modelos digitales de superficie y nubes de puntos de gran precisión. Adicionalmente, al integrar sus propios sensores y cámaras para la adquisición de datos, se posiciona como una herramienta versátil y exacta para diversas industrias que demandan información geográfica detallada (UAV Latam, 2023).

La firma subraya que una ventaja clave es la creación de "gemelos digitales" o réplicas virtuales de infraestructura, lo que potencia la supervisión, análisis y predicción en la construcción, permitiendo ajustar terrenos reales con los planos iniciales para mejorar la planificación.

De acuerdo con UAV Latam (2023), Pix4D se destaca por sus aplicaciones en topografía de precisión y levantamientos fotogramétricos especializados. Mediante la inspección con drones y el procesamiento de imágenes, esta herramienta genera modelos 3D y mapas detallados que optimizan flujos de trabajo, aumentan la productividad y reducen costos operativos.

### **2.1.11 AutoCAD**

El término AutoCAD se origina al combinar la referencia a la compañía Autodesk con el acrónimo “CAD”, que significa diseño asistido por computadora (Ferrer, 2006). De acuerdo con Quispe (2020), este software destaca por su flexibilidad para editar, lo que hace posible digitalizar desde esquemas de edificios hasta componentes industriales con una precisión minuciosa. Sumado a esto, cuenta con herramientas de programación que permiten al usuario personalizar funciones y agilizar flujos de trabajo. Gracias a estas posibilidades de integración, la plataforma se ha consolidado como un estándar en múltiples industrias y una pieza fundamental en el desarrollo profesional actual.

Por otro lado, gracias a sus APIs, este software permite adaptar y programar procesos específicos, administrar bases de datos y hacer más eficientes los ciclos de trabajo. Dicha

flexibilidad tecnológica ha permitido su estandarización en diversas industrias, posicionándolo como una solución esencial en el panorama actual del diseño profesional (Quispe, 2020).

Considerado el programa líder en diseño asistido por computadora (CAD), AutoCAD es famoso por su versatilidad desde su aparición en 1982. Esta herramienta de Autodesk es la opción principal para profesionales de la ingeniería, arquitectura y diseño industrial al momento de crear piezas y planos técnicos precisos. Gracias a su versatilidad en entornos 2D y 3D, es indispensable para el desarrollo de diversos proyectos técnicos y gráficos.

### ***2.1.12 Recap Pro***

ReCap Pro es esencial para gestionar datos de escaneo, permitiendo validarlos e integrarlos en nuevos proyectos. La aplicación convierte nubes de puntos en modelos 3D con textura, compatibles con diversos programas de diseño. Incluye herramientas destacadas para medir, anotar y orientar espacialmente los datos, ajustando el sistema de coordenadas a estándares geográficos como WGS84 o MAGNA SIRGAS.

Según Autodesk (2024), esta herramienta ayuda a ingenieros y diseñadores a crear réplicas digitales precisas del mundo real para verificar el estado de las obras y tomar decisiones fundamentadas. Además, genera nubes de puntos y mallas tridimensionales aptas para flujos BIM, fomentando el trabajo colaborativo en entornos compartidos, siendo ideal para topografía, urbanismo, construcción y remodelación de infraestructuras.

### ***2.1.13 Concoord***

Desarrollado totalmente en Java, el software Concoord se distribuye bajo la Licencia Pública General (GPL) de la Free Software Foundation, lo que garantiza el acceso al código fuente

para su estudio, modificación y mejora. Esta herramienta, clasificada como software libre y creada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, tiene como finalidad principal la conversión de coordenadas. Permite migrar datos desde el antiguo sistema 'Internacional de Bogotá' hacia el estándar actual 'Magna-SIRGAS', adoptado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2016).

#### ***2.1.14 Google Earth Pro***

Google Earth ha trascendido su función inicial de visualización panorámica para consolidarse como una plataforma líder en georreferenciación. Su evolución actual integra herramientas que permiten, además de observar imágenes satelitales detalladas del planeta, localizar puntos específicos mediante búsquedas, obtener coordenadas geográficas, digitalizar áreas de interés, personalizar la visualización y compartir localizaciones con otros usuarios.

Las características técnicas de esta plataforma web permiten visualizar de forma detallada imágenes satelitales de la mayor parte del planeta, combinándolas con diversas capas de datos geográficos superpuestas. Este sistema facilita el modelado tridimensional de relieves y estructuras urbanas, la medición de distancias y la generación de entidades vectoriales como puntos, líneas y polígonos, consolidando una suite interactiva idónea para la construcción de mapas personalizados tanto en ordenadores como en dispositivos móviles (Enciclopedia Britannica, 2026).

#### ***2.1.15 ArcGIS:***

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el

mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. El sistema está disponible en cualquier lugar a través de navegadores Web, dispositivos móviles como smartphones y equipos de escritorio.

#### ***2.1.16 Curvas de Nivel***

Las curvas de nivel son líneas imaginarias que unen puntos en un terreno con la misma altitud. Son la herramienta principal para representar el relieve tridimensional en un plano bidimensional, permitiendo visualizar montañas, valles y llanuras (IGN, 2024)

#### ***2.1.17 Área Metropolitana de Bucaramanga AMB***

La entidad actúa como gestor catastral de la región, siendo responsable de la administración, conservación y actualización de la información oficial de los predios. Asimismo, se encarga de recopilar y mantener actualizados los datos físicos, jurídicos y económicos de los inmuebles, con el fin de disponer de un inventario catastral que refleje los cambios territoriales en los municipios de Bucaramanga, Girón y Piedecuesta (Alcaldía de Bucaramanga, 2024).

#### ***2.1.18 Estación Total Topográfica***

Una estación total es un instrumento electro-óptico avanzado utilizado en topografía que integra, en un solo equipo, un teodolito electrónico (para medir ángulos), un distanciómetro (para medir distancias) y un microprocesador interno para procesar y almacenar datos. Son equipos topográficos ideados para aplomar sobre un punto en el terreno o desde una altura. Además de hacer revisiones de las líneas verticales con total precisión. Para obtener una buena información

de aplomado en el nivel topográfico, es importante que la estación total esté bien nivelada (Villner, 2021)

## 2.2 Marco teórico

A través de este estudio técnico-investigativo, se contrastan las dimensiones del terreno para la Nueva Clínica de Girón en Santander, utilizando planimetría derivada de tres fuentes: las obtenidas de Magnitudes fusionadas de la carta catastral con las desarrolladas con cinta métrica, igualmente las obtenidas del levantamiento topográfico con estación total y finalmente las desarrolladas con fotogrametría y la tecnología drone (RPAS).

El análisis busca garantizar la precisión de los perímetros o linderos necesarios para la construcción de la segunda etapa de la Clínica, sirviendo de base para que la interventoría ajuste los diseños arquitectónicos y estructurales a la realidad del terreno. Este informe técnico compara tres metodologías de levantamiento planimétrico: la medición tradicional con cinta y carta catastral, el uso de estación total, y la fotogrametría con drones. Esta última técnica aplica el método experimental de *“fotointerpretación en AutoCAD y escalamiento de ortomosaico”* desarrollado por el arquitecto Robert Gutiérrez Ortiz de autoría propia para el Banco Inmobiliario de Floridablanca (BIF) y dado a conocer en el Diplomado.

Esta investigación compara tres metodologías de levantamiento para determinar cuál ofrece mayor exactitud y qué beneficios adicionales aporta cada una. Los resultados concluyen que el uso de drones supera a la topografía tradicional en precisión y eficiencia, especialmente cuando se trata de superficies amplias o entornos geográficamente complejos. Para estas labores basta con un grupo mínimo formado por piloto, observador y especialista fotogramétrico, siendo este último el responsable de elaborar los productos planimétricos fundamentales para la

topografía y el mapeo.

### **2.3 Marco legal**

Resolución 04201 de 2018, por la cual se incorporan a la norma RAC 91 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia unas disposiciones sobre operación de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS), y se numeran como Apéndice 13, y se adoptan otras disposiciones (Ministerio de Transporte, 2018).

Resolución 01594 de 2018, por la cual se adopta e incorpora a los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia la norma "RAC 91 - Reglas Generales de Vuelo y de Operación" (Aerocivil - Unidad Administrativa Especial, 2018.).

Resolución 01983 del 27 de septiembre de 2023, publicada en el Diario Oficial No. 52.531, incorpora al RAC 100 una norma que reglamenta los sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) en Colombia, considerando los avances tecnológicos, las necesidades de la industria y las funciones de la Aeronáutica Civil (Aerocivil - Unidad Administrativa Especial, 2023).

Ley 1341 de 2009, por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), se crea la Agencia Nacional de Espectro y se dictan otras disposiciones (Congreso de la República de Colombia, 2009).

Circular Reglamentaria 002 del 27 de julio de 2015, requisitos generales de aeronavegabilidad y operaciones para RPAS (Numeral 4.25.8.2).

Ley 1476 de 2011, por la cual se expide el régimen de responsabilidad administrativa por pérdida o daño de bienes de propiedad o al servicio del Ministerio de Defensa Nacional, sus entidades adscritas o vinculadas o la Fuerza Pública. (Congreso de la República de Colombia,

2011).

## **2.4 Antecedentes y estados del Arte**

### ***2.4.1 Antecedentes internacionales***

**2.4.1.1 Caso 1 “Metodología para la aplicación de fotogrametría con drones en levantamientos topográficos de proyectos viales: Caso proyecto “Rehabilitación y mejoramiento de la infraestructura vial Paquete 5R – Ancash, tramo 1, Perú”.** El presente trabajo de investigación aborda la implementación de fotogrametría con drones en proyectos de carreteras, tomando como referencia un caso de estudio específico en la sierra del Perú. Este enfoque busca optimizar los procesos de levantamiento topográfico, que son críticos para que las empresas de construcción y los equipos de ingeniería puedan tomar decisiones precisas basadas en datos fiables y periódicos de lo ejecutado. Actualmente, la captura de información topográfica en terrenos de alta complejidad representa un desafío técnico y operativo para proyectos de infraestructura vial, donde factores como el clima, la vegetación y la accidentada geografía son determinantes. La metodología de fotogrametría con drones descrita en este trabajo de investigación se ha adoptado en diversos países y continúa evolucionando, con mejoras constantes en la precisión de los equipos, técnicas de vuelo y el procesamiento de información.

Este trabajo detalla el análisis de las condiciones geográficas del proyecto y selecciona el equipo y software adecuados, teniendo en cuenta las particularidades del entorno, como zonas montañosas y áreas con vegetación densa. Se describe también el proceso de planificación de los vuelos, el establecimiento de puntos de control, la captura de datos y la carga de información en

la plataforma Propeller, que facilita el manejo y procesamiento sin necesidad de descargar archivos de gran tamaño.

Además, se muestran las funciones clave de Propeller para optimizar el flujo de trabajo, así como los formatos de exportación de archivos que permiten la integración de datos en sistemas BIM y otras herramientas de diseño y cartografía, mejorando así la gestión integral de los proyectos de infraestructura vial en entornos complejos. La región de la sierra del Perú cuenta con áreas montañosas y accidentadas, con grandes variaciones de altitud y pendientes.

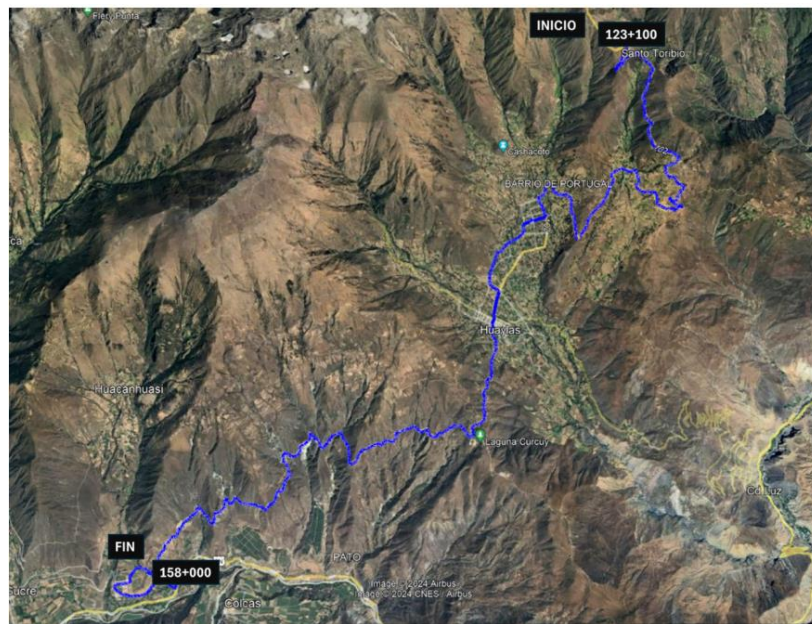
Estos factores, en conjunto con las condiciones meteorológicas como lluvias, vientos, granizos, dificultan el desarrollo de las actividades, especialmente dentro de los meses de diciembre hasta abril, lo que puede causar retrasos y errores.

Durante la ejecución de los proyectos viales, es obligatorio contar con un equipo, adecuadamente distribuido de topógrafos, quienes deben acompañar al avance de las actividades, y a su vez, con personal en gabinete para el procesamiento de los datos en información útil para las decisiones. Viéndose los proyectos obligados a mantener cuadrillas para el seguimiento del avance diario, generando un costo indirecto en todo el ciclo de vida del proyecto. Además, el rendimiento del levantamiento por día y la demora en el procesamiento de la información (gabinete), no permite una gestión eficaz ante contratos cada vez más exigentes.

Con la reciente incorporación de la fotogrametría aérea y los drones equipados con cámaras de alta resolución y sensores, capturar rápidamente información de grandes áreas, integrando los datos mediante nube de puntos y BIM, lo que permite incrementar la precisión y eficiencia de los levantamientos topográficos, esta combinación con el levantamiento topográfico tradicional será estudiado en el presente informe.

En lo referente a la descripción del proyecto, el tramo 1.3 de “Rehabilitación y Mejoramiento de la infraestructura vial –Paquete 5R – Ancash”, de 35 km de longitud y cuyas progresivas van desde el PK 123+000 al 158+020, se encuentra ubicado en los distritos de Huaylas y Santo Toribio, provincia de Huaylas, departamento de Ancash. Los anchos de vía varían desde los 2.00 m en los primeros 7 km hasta los 10.00 m en las zonas urbanas como Huaylas o Santo Toribio, teniendo como ancho promedio 3.50 m.

**Figura 2.** *Pisos altitudes de la carretera del tramo 1.3 (Caso 1)*



Tomado de Expediente Técnico Paquete 5R Áncash, Consorcio Sacyr (2020).

La geomorfología del tramo se caracteriza principalmente por zonas altoandinas y lomadas. Las zonas altoandinas se distinguen por contar con escasas llanuras a altitudes superiores a los 4,700 msnm. Estas áreas son muy abruptas debido a la presencia de rocas resistentes a la erosión, ubicadas principalmente entre las progresivas PK 123+000 y PK 129+500

**Figura 3.** Zona altoandina (Caso 1)

Tomado de Expediente Técnico Paquete 5R Áncash, Consorcio Sacyr (2020).

Respecto al alcance del proyecto, el nivel de intervención que corresponda a cada tramo conforme las recomendaciones contenidas en el Manual de Diseño Geométrico DG-2018; en ese sentido de acuerdo al análisis de la norma, las evaluaciones de campo y el avance de los estudios de ingeniería, se concluye categorizar e intervenir el proyecto vial de la siguiente forma.

**Figura 4.** Tabla de intervención

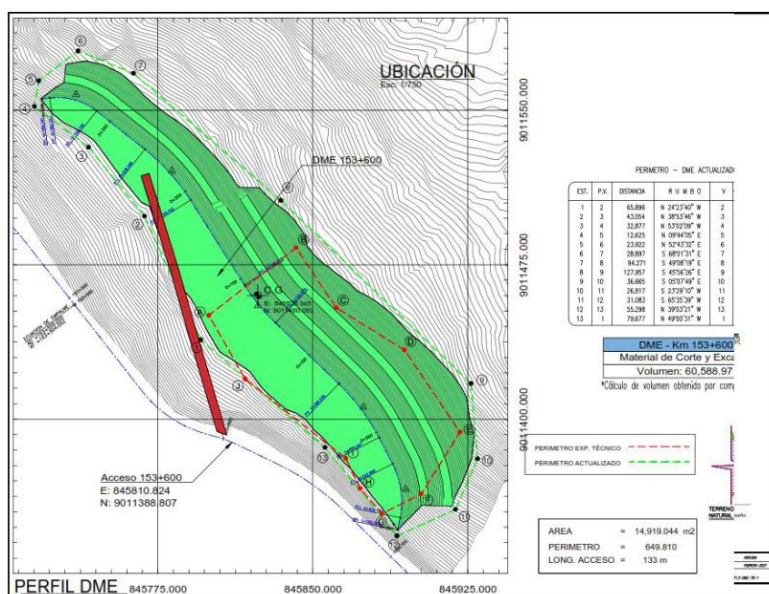
*Categorización y Niveles de intervención.*

| Tramo   | Longitud (km) | Inicio  | Final   | IMDA (veh/d)   | Categoría              | Estandar de Diseño DG 2018 para Carreteras Secc. 201.04 |
|---------|---------------|---------|---------|----------------|------------------------|---------------------------------------------------------|
| Tramo 1 | 158           | 0+000   | 13+040  | 400< IMDA <200 | Carretera de 2da Clase | Aplica por ser carretera                                |
|         |               | 13+040  | 61+900  | IMDA <200      | Trocha Carrozable      | No aplica por ser trocha                                |
|         |               | 61+900  | 123+000 | -              | Trocha Carrozable      | Sin Intervención                                        |
|         |               | 123+000 | 158+020 | IMDA ≥ 200     | Trocha Carrozable      | No aplica por ser trocha                                |
| Tramo 2 | 44.97         | 59+000  | 106+988 | IMDA <200      | Trocha Carrozable      | No aplica por ser trocha                                |

Adaptada a partir de los datos de campo y el manual de diseño geométrico (Vargas et al., 2025).

En la descripción de métodos convencionales utilizados, el proyecto de construcción del tramo 1.3 contaba con estudios topográficos previos realizados en la etapa de diseño. Durante la ejecución, se dispusieron cuadrillas de topografía para acompañar las actividades de producción. Todo el replanteo topográfico se realizó utilizando sistemas de GPS diferencial (base y rover) y estaciones totales, estableciendo hitos y referencias necesarias para cortes de taludes, excavaciones y rellenos, conforme a los planos de diseño.

**Figura 5.** Plano de levantamiento topográfico convencional (Caso 1)



Adaptada a partir de los planos topográficos y el expediente técnico del proyecto vial (Vargas et al., 2025).

Los datos obtenidos con la estación total se almacenan en una memoria interna y se descargan posteriormente mediante un dispositivo USB, mientras que las mediciones realizadas con el nivel se registran manualmente en la libreta topográfica.

Una vez terminado el trabajo de campo, los datos se transfieren a hojas de Excel. En esta etapa, la información recopilada tanto por el nivel como por la estación total se asocian con sus respectivas coordenadas y elevaciones. Posteriormente, estos datos se verifican y se formatean

según los requisitos de entrada del AutoCAD Civil 3D.

Con la planilla de Excel formateada, se procede a importar la información a AutoCAD Civil 3D, donde se generan las superficies topográficas. Los puntos ingresados se interpolan para delinear curvas de nivel y otras características del terreno.

En cuanto a la propuesta de valor, el desarrollo de la investigación aplicada consistirá en el análisis de cada aspecto fundamental para optimizar la implementación de la fotogrametría con drones en el proyecto Mejoramiento y Rehabilitación de la Infraestructura Vial del Paquete 5R Ancash”, enfocado en obtener el mayor beneficio posible de la plataforma Propeller.

**Figura 6.** *Tabla Etapas de la propuesta (Caso 1).*

*Etapas de la Propuesta de Implementación de Fotogrametría.*

| <b>ETAPA</b>                                | <b>DESCRIPCIÓN</b>                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Planificación de los vuelos de dron</b>  | Se tiene en consideración los diferentes aspectos para poder planificar un vuelo, desde las condiciones del proyecto hasta la selección del dron.                 |
| <b>Procesamiento de información</b>         | Describe los pasos para la correcta recopilación de información hasta la correcta subida al Propeller.                                                            |
| <b>Interacción del usuario en Propeller</b> | Describe cómo los usuarios pueden visualizar y obtener información según su necesidad, a través de la plataforma Propeller.                                       |
| <b>Integración a Entorno BIM</b>            | Detalla todos los formatos de exportación que tiene la plataforma Propeller y cómo esta es compatible con los softwares BIM para diseño geométrico de carreteras. |

Adaptada a partir de los componentes de la propuesta metodológica de la investigación (Vargas et al., 2025).

En la planificación de los vuelos de dron, es esencial conocer las condiciones específicas del proyecto donde se implementará la fotogrametría con drones, condiciones que podrían influir en la operación de los drones y en la precisión de los levantamientos topográficos.

Dentro de este análisis, se identificó que las condiciones geográficas y topográficas del proyecto se desarrollan en la sierra del Perú, específicamente en la Provincia de Huaylas, departamento de Ancash.

Además, la selección de equipos y software requeridos para la implementación de la fotogrametría con drones en el proyecto del Tramo 1.3. "Rehabilitación y Mejoramiento de la infraestructura vial – Paquete 5R – Ancash" se seleccionó el equipo Phantom 4 Pro v2.

Las características del equipo aérea escogido permitieron operar sobre los 4000 m.s.n.m., capturar imágenes y videos con la calidad, autonomía y alcance necesario, además siendo compatible a los sistemas operativos de iOS/Android para planificar y trazar los vuelos con cualquier dispositivo conectado a Softwares de vuelos como Map Pilot.

Aunque existen otras opciones en el mercado con mejores características, con relación a calidad precio, el Phantom 4 pro v2 es una opción adecuada para el alcance y presupuesto de este proyecto.

**Figura 7.** *Equipo UAS Phantom 4 pro V2 (Caso 1)*



Tomada del dron empleado en el proyecto Tramo 1.3

Para iniciar con el proceso de captura de datos se deben considerar varios parámetros que

afectarán la calidad y resolución de la información capturada. Entre ellos, el ancho de franja de vuelo buscó un solapamiento lateral entre imágenes del 60% para asegurar un correcto procesamiento fotogramétrico. Por su parte, la altura del vuelo, que idealmente se recomienda a 100 metros, fue ajustada entre los 80 a 100 m debido a la topografía del terreno; esta altitud puede modificarse en terrenos montañosos con variaciones significativas para mantener una distancia constante sobre el terreno y asegurar la consistencia en la resolución.

**Figura 8.** Programación de Vuelo en MAP PILOT y solape (Caso 1)

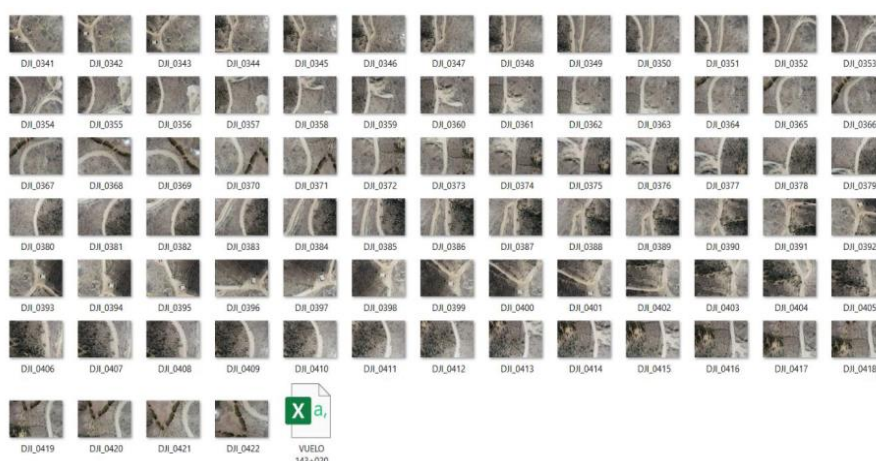


Adaptada a partir de la interfaz de programación del software de fotogrametría en el proyecto vial (Vargas et al., 2025).

Después de completar el vuelo, las imágenes capturadas se suben a la plataforma Propeller. La subida se hizo directamente desde la tarjeta SD del dron o también se puede hacer mediante una conexión a internet desde el dispositivo que controló el vuelo. Las imágenes capturadas por el dron incluyen información importante como las coordenadas X e Y, altitud, orientación de la cámara y la hora en que fueron capturadas. Esta información es fundamental para alinear y procesar correctamente las imágenes.

Dentro de esta misma plataforma, se realiza el ajuste de puntos de control mediante algoritmos que alinean las imágenes respecto a los puntos clave identificados en las áreas solapadas. Este proceso crea una nube de puntos 3D inicial, donde cada punto corresponde a una característica en el terreno. A partir de la alineación de imágenes, el software genera una nube de puntos densa, que es una representación tridimensional más detallada del terreno. Esta nube de puntos es la base para crear los modelos y superficies que necesitamos. La información obtenida de los aeropoints se sube a Propeller junto con las imágenes para mejorar la precisión del modelo generado, corrigiendo cualquier distorsión y alineando el modelo con la realidad geoespacial.

**Figura 9.** *Imágenes capturadas por el Drone y en posproducción (Caso 1)*



Adaptada a partir del registro fotográfico y el archivo de telemetría obtenidos en el levantamiento de campo (Vargas et al., 2025).

Respecto a la interacción del usuario en Propeller, la interfaz web permite explorar el modelo 3D, visualizar el ortomosaico y realizar análisis en la nube sin necesidad de descargar los archivos que se utilizan en el diseño. Visor 2D y 3D: Como visor 2D, permite trabajar con un ortomosaico de alta resolución del área levantada.

En esta vista se pueden realizar mediciones en una proyección plana y navegar por el área

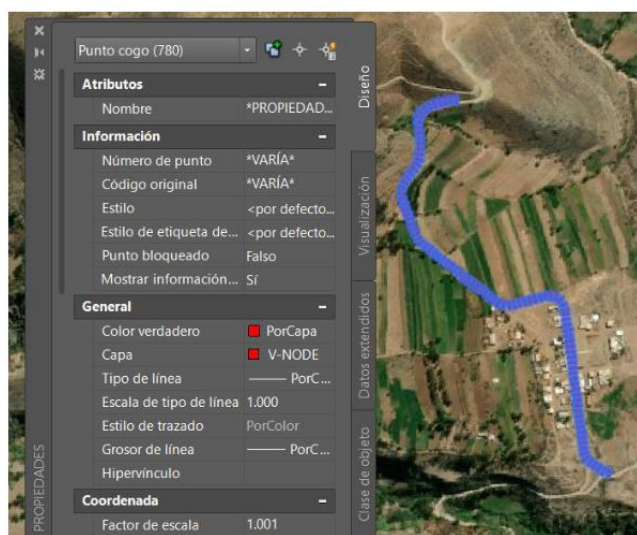
utilizando herramientas de zoom y desplazamiento. Como visor 3D permite explorar el modelo tridimensional generado a partir de la nube de puntos y el modelo digital de elevación (MDE). Se puede rotar, hacer zoom, desplazarse por el modelo visualizando el terreno o la infraestructura en perspectiva tridimensional. Este visor permite hacer análisis detallados del terreno, como inspeccionar la topografía o estructuras levantadas.

**Figura 10.** *Ortomosaico y nube de puntos en posproducción con Propeller (Caso 1)*



Adaptada a partir del ortomosaico procesado en la plataforma de fotogrametría (Vargas et al., 2025).

Finalmente, la precisión de datos se define por la cantidad de puntos generados al comparar un levantamiento convencional frente a uno fotogramétrico. Un levantamiento convencional genera una nube de puntos limitada, donde se toman entre 6 a 10 puntos transversalmente a la vía cada 10 metros para registrar los hombros, pies de talud, bordes y el eje principal. Este método tradicional genera aproximadamente 780 puntos por kilómetro de longitud, una densidad que resulta insuficiente para abarcar taludes altos, profundos o las irregularidades geométricas que pueda presentar la plataforma vial.

**Figura 11.** *Nube de puntos en levantamiento convencional (Caso 1)*

Tomado de la metodología de levantamientos topográficos de proyectos viales (Vargas et al., 2025).

Un levantamiento fotogramétrico ofrece diferentes cantidades de puntos que van desde casi un millón hasta los casi 100 millones por cada vuelo de 500 metros lineales de carretera. En un kilómetro de carretera se tendrían desde 2 millones hasta 200 millones de puntos. La elección de la superficie a descargar será de acuerdo con la capacidad del ordenador y el software de modelamiento con el que se va a trabajar.

Como conclusiones del levantamiento fotogramétrico comparado con el levantamiento convencional, se evalúa en primer lugar la densidad en la nube de puntos. Al contrastar este factor entre el sistema de levantamiento convencional (Estación total) y el método con tecnología dron y fotogrametría, se demuestra que es mayor la densidad de puntos geolocalizados desarrollada por los UAS, aportando además una óptima precisión punto a punto correlacionado en la superficie, según se detalla a continuación:

**Figura 12.** *Tabla de comparación densidad de Nube de puntos (Caso 1)**Comparación de nube de puntos.*

| PARÁMETROS                | TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL          | FOTOGRAMETRÍA CON DRONES                      |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|
| DENSIDAD DE PUNTOS/KM     | 780 puntos                       | 96,000,000 hasta 997,000,000 puntos           |
| FRECUENCIA DE PUNTOS (ML) | Cada 10 m.                       | Cada 0.50 m.                                  |
| ALCANCE EN TALUDES        | 5 o 10 m. Limitado según accesos | 50 metros a cada lado del eje. Hvuelo = 80 m. |
| TRIANGULACIÓN             | Curvas de nivel poco definidas   | Representa la superficie real del terreno     |

Adaptada a partir de los datos analíticos obtenidos en las pruebas de campo (Vargas et al., 2025).

En segundo lugar, se analiza la velocidad de levantamiento. Como se pudo apreciar en el punto anterior, la capacidad para poder levantar más puntos en un área determinada es una ventaja significativa en la fotogrametría con drones, pero adicionalmente se refleja en el tiempo que se emplea en campo para obtener la información. El levantamiento convencional mostrado en el ejemplo anterior ha sido ejecutado por una cuadrilla de topografía en un día entero.

Mientras que cada vuelo de dron de 20 minutos puede recorrer hasta 500 metros. Teniendo en cuenta las planificaciones de vuelo, condiciones climáticas y desplazamientos en la vía, se pueden hacer un promedio de 8 vuelos al día, que equivale a 4 km de levantamiento cada día.

En caso las condiciones meteorológicas ayuden a que el clima tenga cambios bruscos, se pueden realizar hasta 12 vuelos de dron, siempre y cuando se tengan las baterías de reemplazo necesarias.

**Figura 13.** *Tabla de comparación de velocidad de levantamiento topográfico (Caso 1)**Comparación de velocidad de levantamiento topográfico.*

| VELOCIDAD DE LEVANTAMIENTO | TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL                                                               | FOTOGRAMETRÍA CON DRONES                                                                  |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| KM LEVANTADOS              | 1 km/día                                                                              | 4 km/día (8 vuelos)                                                                       |
| EQUIPO DE TRABAJO          | 1 cuadrilla de topografía:<br>- Topógrafo<br>- Nivelador<br>- Ayudantes de Topografía | 1 cuadrilla de topografía:<br>- Topógrafo (operador de dron)<br>- Ayudantes de Topografía |

Adaptada a partir de los registros de rendimiento y tiempos medidos en las actividades de campo (Vargas et al., 2025).

La fotogrametría con drones minimiza el riesgo de caída de taludes altos de los topógrafos y asistentes de topografía en una carretera ubicada en la sierra del Perú, aportando un entorno de trabajo más seguro y con mejor alcance visual.

Podemos obtener información importante para el proyecto, analizada en tiempo real desde la plataforma Propeller, si necesidad de descargar archivos pesados o tener otros softwares de modelamiento.

Propeller tiene la capacidad de exportar la información levantada topográficamente en múltiples formatos de archivos, los cuales son compatibles con entorno BIM.

El procesamiento se realizó de manera automática, sin intervención o manipulación manual y con muchas funciones dentro de la plataforma Propeller.

Se obtuvo una superficie de nube de puntos densa, cuyos formatos de exportación se pueden integrar a BIM.

Se concluye que la metodología desarrollada para la aplicación de fotogrametría con drones y su integración con BIM mejora significativamente el proceso de levantamientos topográficos en el movimiento de tierras del proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Infraestructura Vial Paquete 5R – Ancash, Tramo 1.3”.

La implementación de esta metodología permitió aumentar la precisión y densidad de los datos topográficos, pasando de 780 puntos por kilómetro con métodos convencionales a 96 millones de puntos por kilómetro con fotogrametría.

Incremento del rendimiento de los levantamientos de hasta 4 veces. Asimismo, la integración con entornos BIM mejoró la gestión del proyecto, facilitando la toma de decisiones y optimizando recursos.

#### **2.4.2 *Antecedentes nacionales***

**2.4.2.1 Caso 2. “Levantamiento Topográfico y Planialtimétrico con Dron de la Granja Agroecológica Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO”.** En este trabajo de investigación se realizó el levantamiento topográfico y Planialtimétrico con sistema de dron de la Granja Agroecológica propiedad de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, Sede Villavicencio, con el fin de visualizar la información necesaria como insumo para labores agrícolas y constructivas del predio. Este proyecto cuenta con la identificación catastral del predio, mojones certificados por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y registro de área inmersa en escritura pública. Los elementos empleados para el desarrollo del proyecto fueron: una Estación Total, cinco unidades de GPS doble vía y un equipo tipo Dron.

Las actividades derivadas para el cumplimiento de las necesidades propias del proyecto, se denominan actividades de exploración de terreno, estas deben cumplir con las referencias técnicas para la elaboración de productos cartográficos, descritas por el IGAC en la Resolución 471 y 529 de 2020.

Los procedimientos descritos comprendieron la realización de imágenes aéreas que

permitieron modelar de manera digital el terreno, generando bases de datos cartográficas que reglamentan el desarrollo estándar avalando los rendimientos propios de las áreas necesaria para la verificación legal de los mojones existentes, desarrollo de puntos de control; levantamiento general del predio, levantamiento agrícola detallado; identificación y levantamiento de áreas construidas.

Las evidencias empíricas se obtuvieron de fotogrametrías realizadas por sobrevuelo con dron, obteniendo 1200 imágenes georreferenciadas, que al ser procesadas permiten la conformación de la imagen general del terreno obedeciendo las normas técnicas.

En lo referente a la descripción del problema, en la actualidad, la Corporación Universitaria Minuto de Dios se ha transformado en una entidad de impacto educativo, social y económico para Villavicencio, debido a la extensión y ubicación de su territorio. Para poder delimitarla y describirla mejor en términos topográficos, se ha identificado que carece de suficientes imágenes georreferenciadas que permitan desarrollar un modelo gráfico caracterizado de la ubicación geográfica de linderos, y de área de la Granja Agroecológica. Esto limita el desarrollo eficaz de las actividades de investigación y de producción agropecuaria por desconocimiento de la calidad y cantidad de recursos físicos disponibles.

Para poder solucionar esta problemática, se desea realizar una construcción cartográfica de planialtimétrico que representen los elementos físicos y agroecológicos, los cuales permitirán garantizar la actividad proyectada para el uso óptimo y conservacionista del suelo y sus ecosistemas.

En función de ello, se debe desarrollar todas las actividades necesarias para la recolección y transformación de la información en representaciones graficas descriptivas. Por ello, se realiza el levantamiento topográfico planialtimétrico con herramientas tipo dron con imágenes

georreferenciadas, en donde se detalle la distribución y ubicación de obras de infraestructura y elementos naturales presentes en la granja.

Respecto a la ubicación geográfica del área de estudio, Villavicencio es la capital del departamento del Meta y el corazón comercial e industrial de la Orinoquia. Está ubicado al noroccidente del Meta, sobre el piedemonte de la cordillera oriental, al margen del Guatiquía. Cuenta con aproximadamente 552 000 habitantes para el 2021. Se encuentra ubicado en las coordenadas  $4^{\circ}08'33''\text{N}$ ;  $73^{\circ}37'46''\text{O}$ . La granja Agroecológica de la UNIMINUTO, está ubicada a aproximadamente 20 minutos de la cabecera municipal de Villavicencio en la Vereda Barcelona (Figura siguiente).

**Figura 14.** Ubicación Geográfica en Google earth pro (Caso 2)



Tomado de la plataforma Google Earth pro (Gómez, 2022).

la metodología de levantamiento propuesta se ejecutó de manera secuencial. Inicialmente, al evaluar el predio de estudio durante la visita de reconocimiento en la Granja Agroecológica UNIMINUTO, se pudo evidenciar ausencia o poca información de: identificación de mojones o señales que delimiten legalmente el terreno; identificación física como ingresos, salidas, linderos, servidumbres y vías, requiere del levantamiento inicial de esta información.

**Figura 15.** *Ubicación en campo de mojones y elementos de referencia (Caso 2)*

Tomada del del Levantamiento Topográfico con Dron (Gómez, 2022).

En la etapa exploratoria y levantamiento del perímetro, utilizando el equipo GPS Garmin 62SC, se realiza el levantamiento de puntos georreferenciados alrededor del terreno. Adicionalmente, se realiza registro fotográfico de los elementos que, por su representatividad en el terreno, constituyen los puntos de anclaje. Esto permitirá una mejor identificación y ubicación de los que, tomados con el GPS.

Luego de generar y verificar la toma de los Waypoint en terreno, se descargó y salvaguardó la información obtenida al equipo de cómputo, en la carpeta virtual denominada (Proyecto Levantamiento Planialtimétrico Granja / GPX perímetro.

Con los puntos de control procesados, se tienen 2 puntos a comparar con los puntos determinados con el equipo GPS. Estos puntos de referencia se convierten en las aristas del polígono del área total del predio, con una desviación de dos décimas, determinadas por la estación. Mediante el método de sustracción, se determina el margen de error de medición aplicado al proceso de levantamiento de terreno. Igualmente serán utilizados para ajuste de geolocalización en coordenadas X, Y y Z, para ajustar nube de puntos y ortomosaico en la posproducción con Pix4d mapper desarrollándose el estudio fotogramétrico.

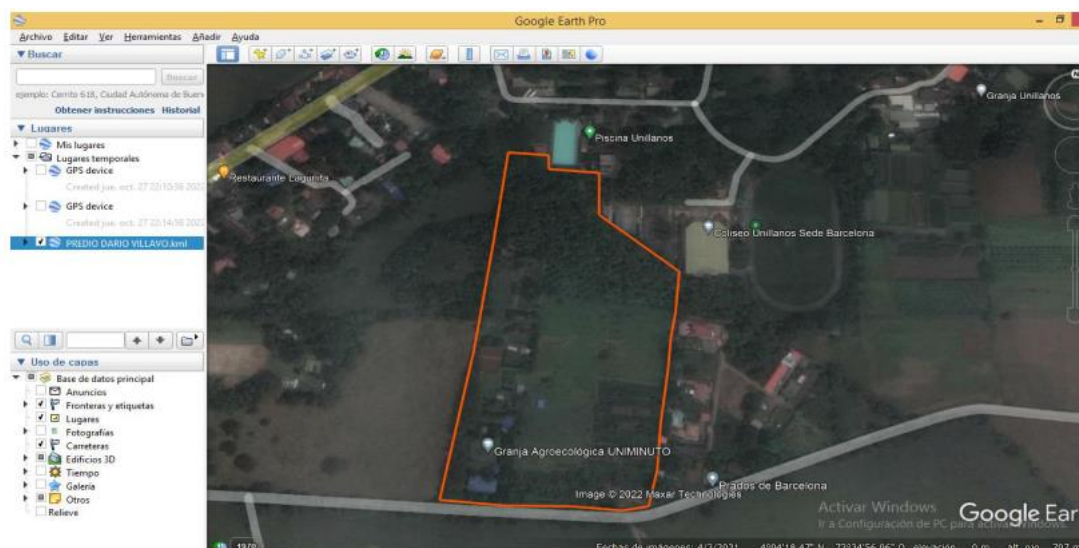
**Figura 16.** Puntos de control logrados con estación total para ajuste en Pix4d mapper geolocalización (Caso 2)

| Puntos Levantados con Estacion Total |             |          |      |          |          |            |          |         |
|--------------------------------------|-------------|----------|------|----------|----------|------------|----------|---------|
| Name                                 | Description | Position | MSNM | Este     | Norte    | Fecha      | Hora     | Horario |
| Waypoint                             | 6           | 18       | 378  | 657007,2 | 449958,0 | 10/25/2022 | 10:35:15 | AM      |
| Waypoint                             | 7           | 18       | 378  | 656957,1 | 449963,3 | 10/25/2022 | 10:35:15 | AM      |

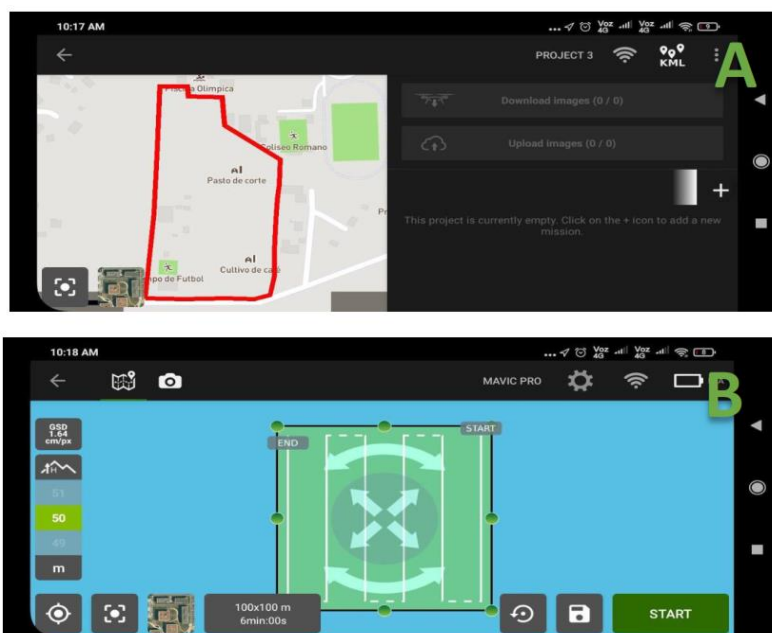
Adaptada a partir de los datos y registros de coordenadas de la investigación del levantamiento topográfico de campo (Gómez, 2022).

Con los ajustes aplicados a los Waypoint, generamos con el software GPS las líneas entre puntos, y se modela en Google Earth Pro un polígono que delimita el predio y su infraestructura, para determinar la programación del Vuelo. El polígono procesado en Google Earth se convierte en archivo KMZ. o KLM., compatible en lectura por el software Pix4 Capture, que planifica el vuelo del equipo dron. Este software determina las variables altura de vuelo, ángulo de toma fotográfica, frecuencia de toma fotográfica, y recorrido de vuelo.

**Figura 17.** Polígono de perímetro del predio objeto de estudio (Caso 2)



Adaptada a partir de la cartografía digital satelital (Gómez, 2022)

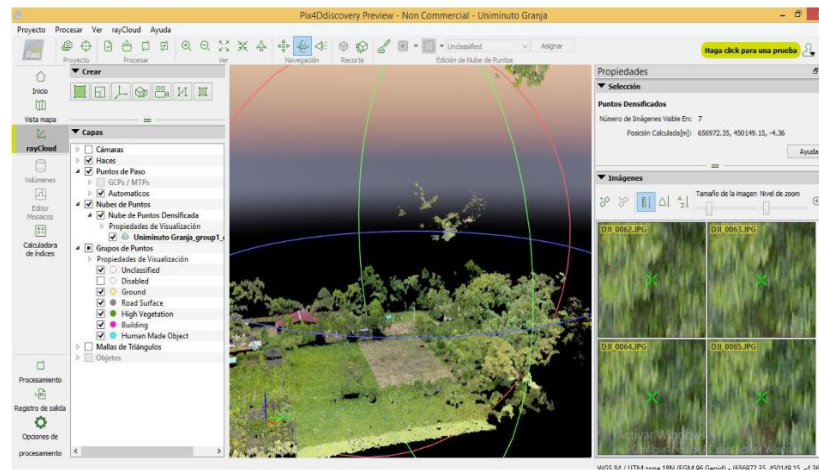
**Figura 18.** *Polígono KML insertado en interfaz de ruteo del drone Pix4d capture (Caso 2)*

Adaptada a partir del software de ruteo y navegación aérea (Gómez, 2022).

Se procedió con la ejecución de la misión de vuelo del dron, la cual se llevó a cabo a una altura total de 79.9 m, una frecuencia de toma de 30 sg con tres recorridos en tres horizontes distintos, permitiendo obtener 660 fotografías,. El proceso de sobrevuelo del Dron se realizó el 04 de octubre del 2022, a las 10:30 am. Las condiciones de luz fueron adecuadas para el trabajo de campo, ya que permitió la manipulación de los equipos y la obtención de las imágenes, con una velocidad de viento baja, favoreciendo la estabilidad y la toma de las imágenes. La duración de los sobrevuelos fue de 90 min, logrando obtener un film de 3 min en el terreno general.

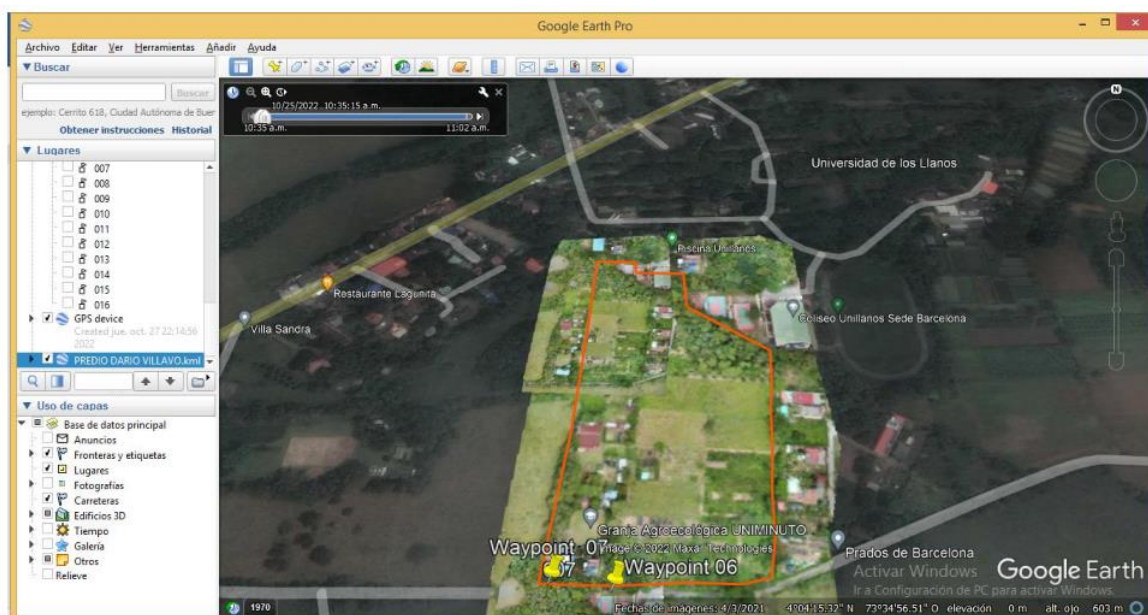
Con las 660 aerofotografías georreferenciadas sus datos se almacenaron en un equipo de cómputo. Esta información se digitalizó con el programa Pix4Dmapper. Este software tomó los parámetros establecidos por el usuario, los traslapan y conformaron la ortofotografía (Figura 11), que permitió visualizar el área del predio en los tres ejes del plano cartesiano X, Y, Z. Esta representación favorece a la construcción de las representaciones planialtimétricas.

**Figura 19.** Nube de puntos y Ortomosaico producido en pix4d mapper (Caso 2)



Adaptada a partir del procesamiento digital de las aerofotografías (Gómez, 2022).

Con base en la ortofotografía, se modeló una representación general de altura del predio en formato KML, para ser subida en el Google Earth, con el fin de superponer visualmente la información de la ortofotografía con la imagen satelital del predio representada en línea. Esta operación permitió actualizar la información topográfica y cartográfica del predio, y corregir los detalles imprecisos que se representan del mismo.

**Figura 20.** Ortomosaico insertado en Google Earth pro para análisis (Caso 2)

Adaptada a partir de la interfaz de Google Earth Pro (Gómez, 2022)

Con la representación general de altura superpuesta en Google Earth, se halló la lista de elementos significativos a tener en cuenta en la digitalización del planialtimétrico. Luego, del procesamiento de las fotografías, se desarrolló el informe del vuelo y sus detalles técnicos.

Como resultado de esta restitución digital, se estructuró el ortomosaico UNIMINUTO desarrollado en Pix4d mapper, el cual expone detalladamente la sección de terreno que delimita el croquis perimetral del predio. Se identificó que, al Norte, delimita con las instalaciones de la Universidad de los llanos, a Este y Oeste con edificaciones residenciales y vacacionales, y al sur con la principal vía vehicular hacia la vereda Barcelona.

**Figura 21.** *Ortomosaico* creado en Pix4d mapper formato TIF (Caso 2)



Adaptada a partir del ortomosaico generado en el software de fotogrametría (Gómez, 2022).

Como parte del análisis de resultados, las siguientes figuras son el resultado de los procesos anteriormente mencionados; teniendo en cuenta los métodos de ajustes topográfico realizado podemos determinar que el desarrollo establecido en las siguientes figuras cuenta con un error permisible en las técnicas cartográficas de un 0,10 a 0,30 m, dichos parámetros son aceptables para el área levantada según los procedimientos establecidos por IGAC.

**Figura 22.** *Planimetría con Ortomosaico resultado de la fotogrametría (Caso 2)*

Adaptada a partir del procesamiento fotogramétrico y precisión cartográfica (Gómez, 2022).

Finalmente, como conclusiones del Levantamiento Topográfico y Planialtimétrico con Dron de la Granja Agroecológica Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO”. Se realizó el levantamiento topográfico siguiendo los lineamientos del proceso descrito en el siguiente informe. Se realizó sobrevuelo con DRON MAVIK AIR 2, en cuatro intervalos de 20 minutos, obteniendo 660 imágenes digitalizadas a 79.9 metros de altura sobre el predio. Este levantamiento se comprende de una ortofotografía tridimensional del predio de la que se obtiene la información planimétrica y altimétrica.

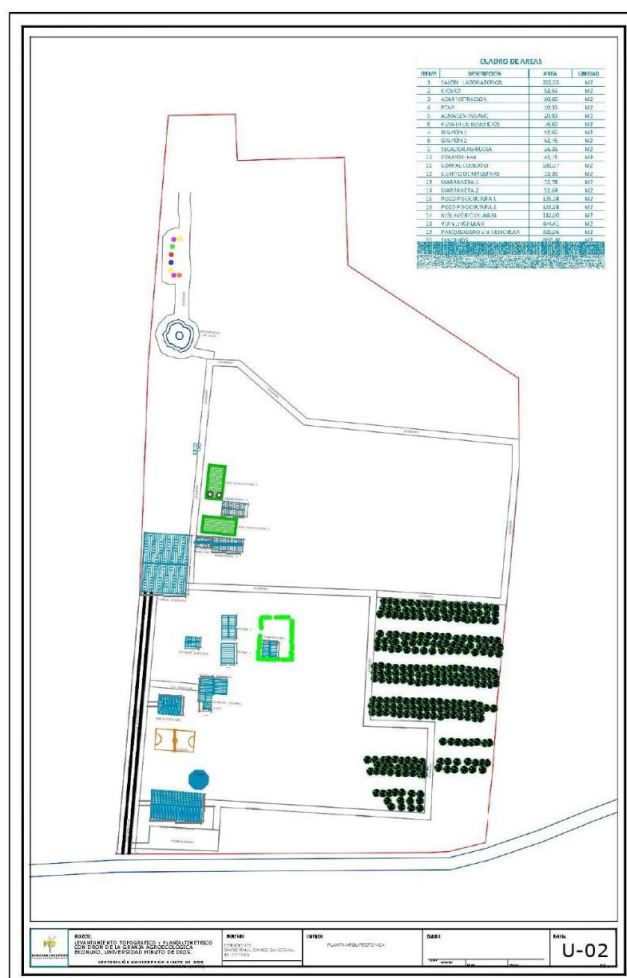
El levantamiento Planimétrico con fotogrametría permite hacer una descripción física del

territorio, permitiendo mencionar que: La Granja Agroecológica UNIMINUTO de manera externa delimita en el norte con los predios del campus Barcelona de la Universidad de los Llanos, al sur con la entrada de la vía vehicular, y al este y oeste con predios residenciales y vacacionales de particulares.

Dentro del predio de la Granja Agroecológica UNIMINUTO se constituye por diferentes tipos de áreas. Al norte, se extiende una sección de bosque de galería con una alta densidad arbórea de variedades nativas. En la zona central se cuenta con una extensa zona de pradera explotable desde la parte agropecuaria, que también sirve como corredor de tránsito peatonal y transporte de maquinaria e instrumentos.

En el sureste se erigen 6 franjas de cultivos de Pan coger, principalmente de lechuga, café, cacao, guama y cítricos. Al oeste se observan las edificaciones de los salones y laboratorios, la sección de administración y zonas de kioscos de socialización. También se erigen las instalaciones de las plantas de beneficio y post cosecha de los productos agropecuarios obtenidos de la Granja Agroecológica UNIMINUTO. En el centro sur del terreno se ubican las marraneras y los galpones para las actividades de avicultura y porcicultura. En general, el terreno cuenta con una buena despensa de recursos ecológicos para explotarlos a través de actividades agropecuarias sostenibles.

En función del levantamiento topográfico, hecho con drones y fotogrametría se pudo determinar que la Granja Agroecológica de la UNIMINUTO cuenta con un área total de 46 923.36 m<sup>2</sup>, siendo su área más extensa, el terreno de uso agropecuario con un total de 42 231 m<sup>2</sup>. En total existe un área construida de 455.28 m<sup>2</sup>, entre los que destacan las áreas de salones y laboratorios, el kiosco, las oficinas administrativas, y la Planta de Tratamiento de Aguas de Procesos (PTAP).

**Figura 23.** *Planimetría sin ortomosaico resultado de la fotogrametría (Caso 2)*

Adaptada a partir de los vectores cartográficos y cálculos de superficies (Gómez, 2022).

### 3. Método – Etapas de desarrollo con actividades detalladas del proyecto

Se aplicó un enfoque metodológico dividido en fases, estableciendo tareas concretas para el proyecto de medición. Esto permitió organizar la investigación considerando los tres métodos de levantamiento planimétrico utilizados.

#### 3.1 Etapa 1. Planeación de la misión de vuelo del RPAS

En el terreno destinado a la Nueva Clínica de Girón E.S.E. (Santander), se llevará a cabo un levantamiento aerofotogramétrico mediante tecnología RPAS. La operación iniciará desde un

punto de despegue predefinido y contará con dos puntos de control georreferenciados para garantizar la precisión espacial. La misión será debidamente registrada en un Flight Logbook, detallando variables meteorológicas, coordenadas y la trayectoria del dron. Este proceso busca obtener datos fotogramétricos precisos para validar perímetros y ajustar el diseño urbanístico del proyecto, permitiendo contrastar y corregir la información de la carta catastral y los levantamientos previos realizados con estación total.

### **3.2 Etapa 2. Ejecución de la misión Insitu según planificación del Flight logbook**

Durante esta fase se realizará el levantamiento en campo directamente en el predio de la Nueva Clínica de Girón E.S.E. (Santander). Siguiendo estrictamente lo establecido en el flight logbook, se ejecutaron las rutas de navegación mediante la plataforma DroneDeploy. El proceso incluyó la configuración del punto de inicio y retorno seguro (Return to Home), el reconocimiento del área para validar la altura de vuelo y la captura sistemática de las muestras fotogramétricas.

### **3.3 Etapa 3. Recolección de información con cinta métrica y polígono de la carta catastral.**

Durante esta etapa, se procederá a medir el perímetro del predio utilizando instrumentos manuales (cinta métrica), registrando los datos en la planimetría de la carta catastral. Asimismo, se establecen las longitudes perimetrales y se localizan los puntos de referencia de los límites físicos del terreno y se elabora una tabla que contenga la información de distancias entre puntos de perímetro y linderos.

### **3.4 Etapa 4. Recolección de la información del levantamiento topográfico hecho con estación total.**

Durante la etapa 4, se recopilarán los planos topográficos con el levantamiento de linderos suministrados por la firma constructora de la Nueva Clínica de Girón E.S.E. Posteriormente, se elabora una tabla de métricas punto a punto con el fin de contrastar esta información frente a los demás métodos de medición utilizados.

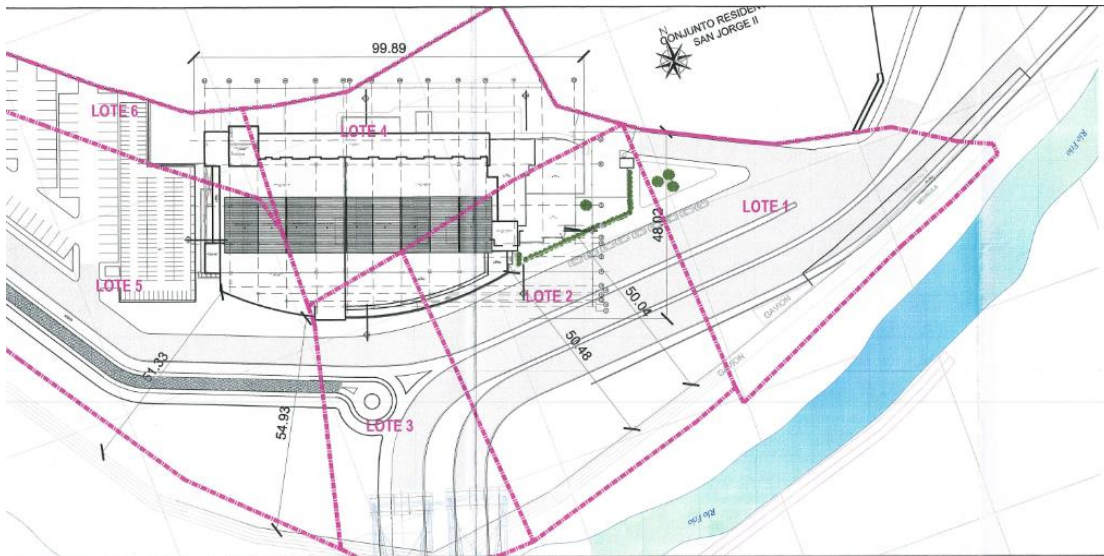
### **3.5 Etapa 5. Posproducción de muestras fotogramétricas, análisis y comparación**

En esta etapa utilizando los resultados obtenidos de la medición por cinta métrica forma tradicional de tomar datos para topografía y cartografía, levantamiento con estación total y el levantamiento fotogramétrico desarrollada por el Dron con la posproducción ejecutada paso a paso por la fotogrametría, se efectuará la comparación de dimensiones a fin de determinar la precisión de los tres métodos y así generar las conclusiones del informe técnico.

## **4. Aplicación de la posproducción de las muestras fotogramétricas a partir del método y las etapas**

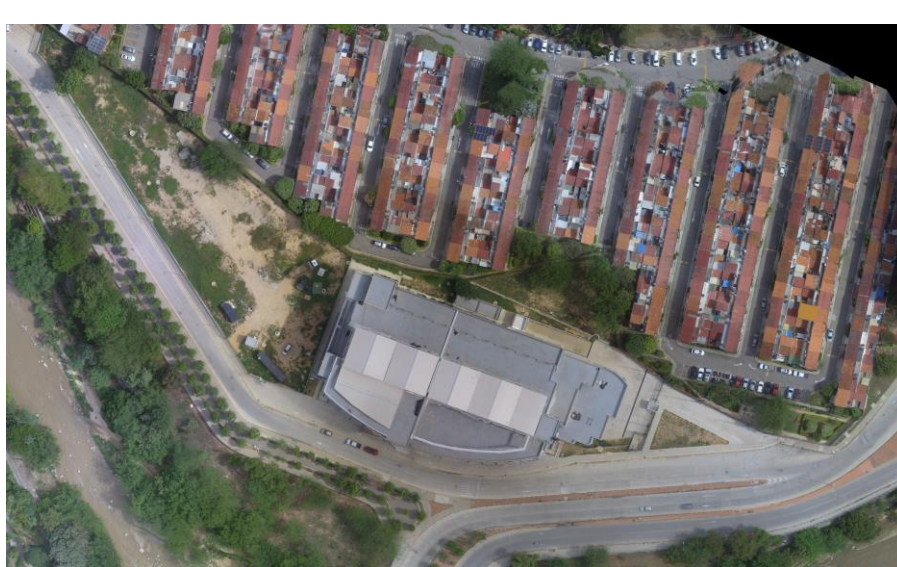
### **4.1 Etapa 1: Planeación de la misión de vuelo del RPAS**

**La fase 1 de la Etapa 1** consiste en la planeación inició y análisis del contexto, tomando como referencia la propuesta de la Alcaldía de Girón para la nueva clínica E.S.E. del municipio. El diseño contempla un edificio de cinco niveles, incluyendo sótano. Además, se prevé una zona de parqueo con capacidad para 120 vehículos en un predio contiguo a nivel de vía, evaluando la factibilidad de construir sótanos subterráneos para este fin.

**Figura 24.** *Plano general de localización Nueva Clínica de Giron ESE*

La figura fue elaborada a partir del diseño arquitectónico y el plano de localización del proyecto de la Alcaldía de Girón.

Según lo aportado por la Alcaldía la planimetría de la figura 24 se realizó con las medidas de un levantamiento topográfico elaborado con estación total y las desarrolladas a través de la carta catastral del bien inmueble.

**Figura 25.** *Planta del proyecto lograda desde una fotografía aérea*

La figura fue adaptada a partir de los datos del levantamiento topográfico con estación total y la carta catastral del bien inmueble proporcionados por la Alcaldía de Girón.

De acuerdo con la Alcaldía, la planimetría (Figura 24) se fundamentó en un levantamiento con estación total y datos catastrales. No obstante, la Interventoría y el contratista detectaron discrepancias en los límites y cerramientos del lote durante la ejecución de la construcción de la clínica, determinando que los datos previos (estación total y cinta métrica) no eran confiables. Por consiguiente, se requiere un levantamiento fotogramétrico con drones para validar las medidas, ajustar el urbanismo y el edificio, y así viabilizar la segunda etapa, verificando que la obra construida concuerde con el diseño arquitectónico y técnico proyectado.

En la **fase 2 de la etapa 1** de la planificación y considerando el entorno, se diseñó la misión de vuelo detallada en este documento. Se empleó un dron Phantom 4 Advance (VTOL), caracterizado por un sensor CMOS de 1 pulgada y 20 MP, ideal para obtener imágenes aéreas de alta resolución y fidelidad cromática. Este equipo, con un peso de despegue de 2,95 kg, alcanza una velocidad de 72 km/h y ofrece 25 minutos de autonomía, apoyado por un estabilizador de 2 ejes. La ejecución se gestionó mediante PIX4Dcapture, mientras que la configuración interna se realizó con DJI GO 4.

Tras detallar las especificaciones técnicas de la aeronave, se elaboró el Flight Logbook registrando los parámetros de la misión: una altura de vuelo de 60 metros sobre el punto de despegue y límites operacionales de 750 metros de distancia horizontal.

La planificación incluyó una ruta de 100 m x 60 m con un patrón de doble grilla (zigzag) y una duración estimada de 10 minutos, según los parámetros del aplicativo de ruteo Dronedeploy. Asimismo, se incorporaron las condiciones meteorológicas previstas, completando el registro según los estándares del Diplomado de Piloto de Operaciones RPAS y Fotogrametría.

#### **4.2 Etapa 2. Ejecución de la misión Insitu según planificación del Flight logbook**

Tras registrar los detalles de la misión en el flight logbook y finalizar la planificación, se llevó a cabo el levantamiento aéreo en el predio de la Nueva Clínica de Girón E.S.E. (Santander). Se establecieron dos puntos de control terrestre utilizando GPS de alta precisión con antena.

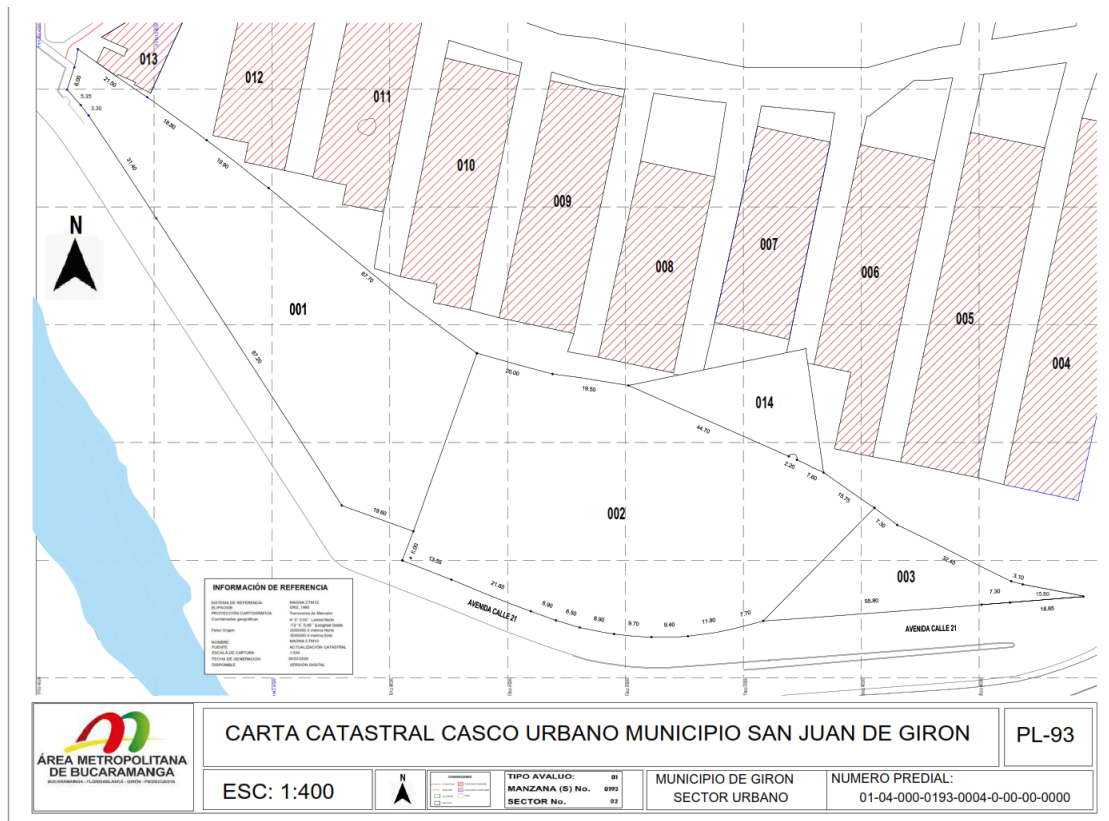
Sobre estos puntos, se instalaron plataformas plásticas rojas señalizadas para el centrado preciso de la estación, asegurando su visibilidad en las fotografías para la posterior posproducción y georreferenciación con los softwares Pix4d y AutoCAD. La misión, ejecutada en modalidad de doble grilla (zigzag), se completó exitosamente, logrando la captura de las muestras fotogramétricas planificadas.

#### **4.3 Etapa 3. Recolección de información con cinta métrica y polígono de carta catastral**

El predio es el englobe de tres predios: Lote de mayor extensión número predial 68307-01-04-000-0193-0004-0-00-00-0000, con tres lotes de matrículas inmobiliarias N.º 300-274552, Lote 1; N.º 300-274553, Lote 2 y matrícula N.º 300-302391, lote 3, del círculo del Municipio de Girón. De acuerdo con la documentación catastral oficial suministrada por el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), el terreno cuenta con una extensión de 5.846 m<sup>2</sup> y está catalogado como espacio de uso público o Dotacional.

Tomando como base este registro, se empleó la técnica de medición in situ con cinta métrica para verificar la geometría del polígono.

**Figura 26.** *Ficha Predial del Área Metropolitana de Bucaramanga, que contiene información cartografía del predio y las medidas de cinta métrica.*



La figura fue tomada de la Carta Catastral del Área Metropolitana de Bucaramanga (Plano PL-93)

La finalidad consistió en comparar las medidas reales frente a las catastrales, determinando longitudes promedio entre puntos. Esto permitió estandarizar los datos para confrontar los perímetros con otros métodos de medición, análisis que se desarrollará a fondo más adelante.

**Tabla 1.** *Tablas con longitudes de perímetro punto a punto producto del levantamiento de cinta métrica Insitu y Carta catastral*

| Punto Perímetro | A | Punto Coordenadas | Distancia (m) |
|-----------------|---|-------------------|---------------|
| P1              | A | P2                | 5,40          |
| P2              | A | P3                | 3,50          |
| P3              | A | P4                | 31,20         |
| P4              | A | P5                | 87,30         |
| P5              | A | P6                | 19,55         |
| P6              | A | P7                | 7,50          |
| P7              | A | P8                | 13,20         |
| P8              | A | P9                | 21,80         |
| P9              | A | P10               | 6,70          |
| P10             | A | P11               | 6,45          |
| P11             | A | P12               | 8,90          |
| P12             | A | P13               | 9,70          |
| P13             | A | P14               | 9,10          |
| P14             | A | P15               | 12,10         |
| P15             | A | P16               | 7,65          |
| P16             | A | P17               | 56,00         |
| P17             | A | P18               | 7,35          |

| Punto Perímetro | A | Punto Coordenadas | Distancia (m) |
|-----------------|---|-------------------|---------------|
| P18             | A | P19               | 19,00         |
| P19             | A | P20               | 16,00         |
| P20             | A | P21               | 3,10          |
| P21             | A | P22               | 32,50         |
| P22             | A | P23               | 7,45          |
| P23             | A | P24               | 15,90         |
| P24             | A | P25               | 7,70          |
| P25             | A | P26               | 2,20          |
| P26             | A | P27               | 44,70         |
| P27             | A | P28               | 19,60         |
| P28             | A | P29               | 20,00         |
| P29             | A | P30               | 67,80         |
| P30             | A | P31               | 20,00         |
| P31             | A | P32               | 19,00         |
| P32             | A | P33               | 21,30         |
| P33             | A | P34               | 4,60          |
| P34             | A | P1                | 6,00          |

#### 4.4 Etapa 4. Recolección de la información del levantamiento topográfico hecho con estación total.

A partir de la información relevada con la estación total, se determinaron las distancias perimetrales del terreno y el replanteo de la Nueva Clínica de Girón E.S.E. Dichos datos servirán para cotejar la precisión frente a las otras dos metodologías topográficas aplicadas.

[illegible]

La figura fue adaptada a partir del plano topográfico original del proyecto de la Alcaldía de Girón desarrollado por la firma consultora Topconsa S.A.S. (2021)

Con el fin de agilizar la comparación entre métodos, las longitudes perimetales obtenidas con la estación total se estructuraron en una tabla. Dicho cuadro detalla el nombre de cada punto y su respectiva distancia al siguiente:

**Tabla 2.** *Tabla con longitudes de perímetro punto a punto producto del levantamiento de estación total*

| <i>Punto Perímetro</i> | <i>A</i> | <i>Punto Coordenadas</i> | <i>Distancia (m)</i> |
|------------------------|----------|--------------------------|----------------------|
| P1                     | A        | P2                       | 5,35                 |
| P2                     | A        | P3                       | 3,30                 |
| P3                     | A        | P4                       | 31,40                |
| P4                     | A        | P5                       | 87,20                |
| P5                     | A        | P6                       | 19,60                |
| P6                     | A        | P7                       | 8,00                 |
| P7                     | A        | P8                       | 13,55                |
| P8                     | A        | P9                       | 21,85                |
| P9                     | A        | P10                      | 6,90                 |
| P10                    | A        | P11                      | 6,50                 |
| P11                    | A        | P12                      | 8,90                 |
| P12                    | A        | P13                      | 9,70                 |
| P13                    | A        | P14                      | 9,40                 |
| P14                    | A        | P15                      | 11,80                |
| P15                    | A        | P16                      | 7,70                 |
| P16                    | A        | P17                      | 55,80                |
| P17                    | A        | P18                      | 7,30                 |

| <i>Punto Perímetro</i> | <i>A</i> | <i>Punto Coordenadas</i> | <i>Distancia (m)</i> |
|------------------------|----------|--------------------------|----------------------|
| P18                    | A        | P19                      | 18,85                |
| P19                    | A        | P20                      | 15,80                |
| P20                    | A        | P21                      | 3,10                 |
| P21                    | A        | P22                      | 32,40                |
| P22                    | A        | P23                      | 7,30                 |
| P23                    | A        | P24                      | 15,75                |
| P24                    | A        | P25                      | 7,60                 |
| P25                    | A        | P26                      | 2,20                 |
| P26                    | A        | P27                      | 44,70                |
| P27                    | A        | P28                      | 19,50                |
| P28                    | A        | P29                      | 20,00                |
| P29                    | A        | P30                      | 67,70                |
| P30                    | A        | P31                      | 19,90                |
| P31                    | A        | P32                      | 18,80                |
| P32                    | A        | P33                      | 21,50                |

|            |          |            |             |
|------------|----------|------------|-------------|
| <i>P33</i> | <i>A</i> | <i>P34</i> | <i>4,70</i> |
| <i>P34</i> | <i>A</i> | <i>PI</i>  | <i>6,00</i> |

La tabla fue elaborada teniendo como referencia los datos y registros métricos obtenidos en el levantamiento topográfico con estación total

#### 4.5 Etapa 5. Posproducción de muestras fotogramétricas, análisis y comparación

##### 4.5.1 Localización y ubicación del proyecto

El predio objeto de este estudio técnico se ubica en el área urbana del municipio de Girón, Santander. Su localización exacta se registra sobre la doble calzada de la quebrada Aguablanca, específicamente en la calle 21, situado frente al puente San Jorge en el barrio Ciudadela Villamil.

**Figura 28.** Localización y ubicación del proyecto



Tomado de Google Earth Pro

Para la georreferenciación, se fijaron dos puntos de paso en el terreno mediante GPS diferencial (alta precisión), determinando así las coordenadas exactas bajo el marco Magna-Sirgas así:

Para el punto Ptc1 se reconocieron las siguientes coordenadas:

X: 1100969,7050; Y: 1272797,5400; Z: 670,361

Para el Punto Ptc2 se reconocieron las siguientes coordenadas:

X: 1100939,4580; Y: 1272834,7990; Z: 669,949

**Figura 29.** *Sistema GNSS de alta precisión con antena para ubicación puntos de control*



Tomada en el lote del proyecto durante el establecimiento de la red de apoyo con receptores satelitales

El GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) en topografía permite obtener coordenadas precisas (X, Y, Z) en tiempo real mediante señales de satélites. Utiliza tecnologías como RTK para precisión centimétrica en levantamientos, replanteos y mapeo. Es superior al GPS convencional al integrar múltiples constelaciones (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou)

**Figura 30.** *Ubicación puntos de control en el terreno*



Tomada desde la cámara de un dron en el predio del proyecto durante la inspección visual de la red de apoyo topográfica

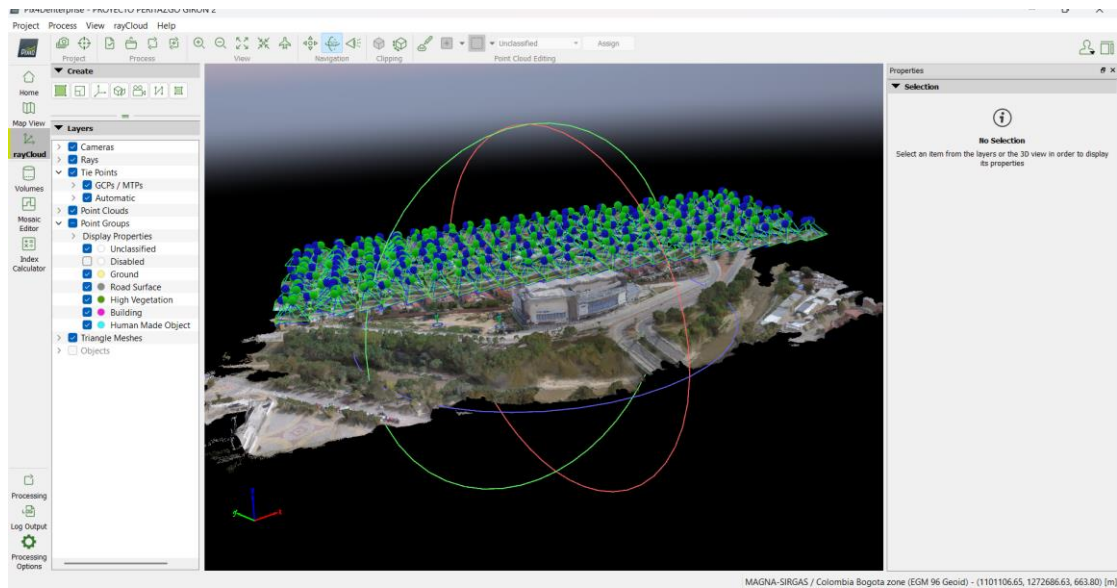
#### **4.5.2** *Análisis de datos (desarrollo de fases del postproceso de fotogrametría que se utilizó para efectuar el proceso de comparación)*

Como **Fase 1 de la Etapa 5** se realizó el procesamiento posterior de los insumos fotogramétricos capturados por la cámara gimbal del dron en la zona de estudio. Utilizando el software PIX4Dmapper, se importaron las imágenes georreferenciadas, permitiendo que el sistema detectara automáticamente miles de puntos coincidentes y generara puntos de paso a través de la superposición de fotogramas.

El flujo de trabajo en PIX4Dmapper inició con la creación del proyecto y la carga de imágenes para la identificación de coordenadas (Fase 1). Posteriormente, se ejecutó la Fase 2 para la generación de la nube de puntos 3D y mallas del terreno. Finalmente, se concluyó con la Fase 3, produciendo el modelo digital de superficie y el ortomosaico en formatos TIF y KML.

**Figura 31.** *Procesamiento inicial en el software Pix4d Mapper geolocalización de fotografías*

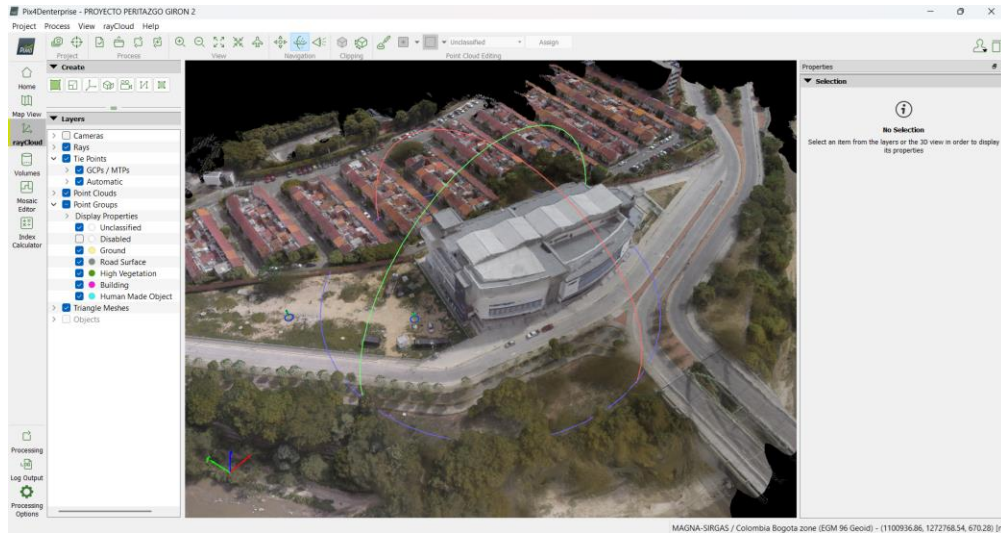
Elaborada utilizando la interfaz de Pix4Dmapper durante la carga de datos de campo.

**Figura 32.** *Nube de puntos y cámaras direccionadas y geolocalizadas*

Tomada de la interfaz gráfica de Pix4Dmapper durante la generación de la nube de puntos.

Al concluir las etapas finales de Posprocesamiento en Pix4Dmapper, se genera una nube de puntos con georreferenciación y una textura digital de alta fidelidad cromática.

**Figura 33.** *Nube de puntos en malla con textura 3D*

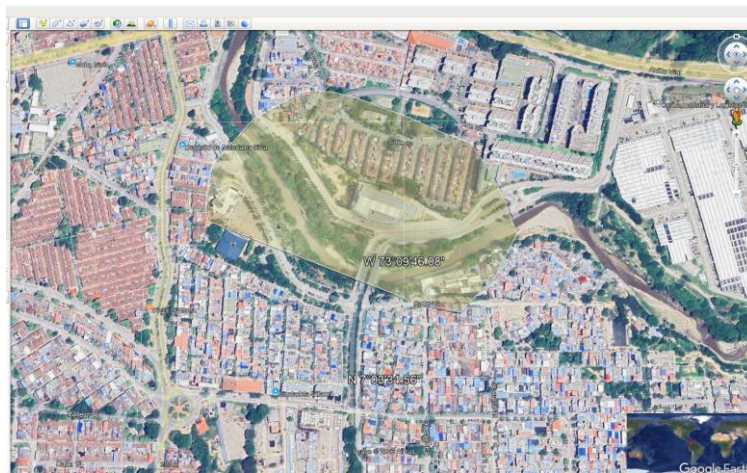


Elaborada a partir del modelo tridimensional texturizado en Pix4Dmapper.

Al llegar al último procesamiento en Pix4Dmapper, se obtienen ortomosaicos geolocalizados en dos formatos clave. Por un lado, el formato KML permite incorporar la imagen en Google Earth Pro para actualizar el mapa. Por otro lado, el formato GeoTIFF facilita la importación de la ortofoto en software externo, por ejemplo, AutoCAD para escalamiento y análisis de fotointerpretación.

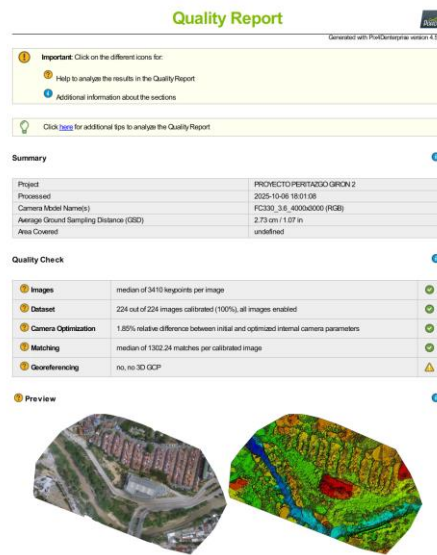
**Figura 34.** *Ortomosaico creado en Pix4d mapper*

Elaborada a partir del procesamiento digital y ensamble final de las aerofotografías

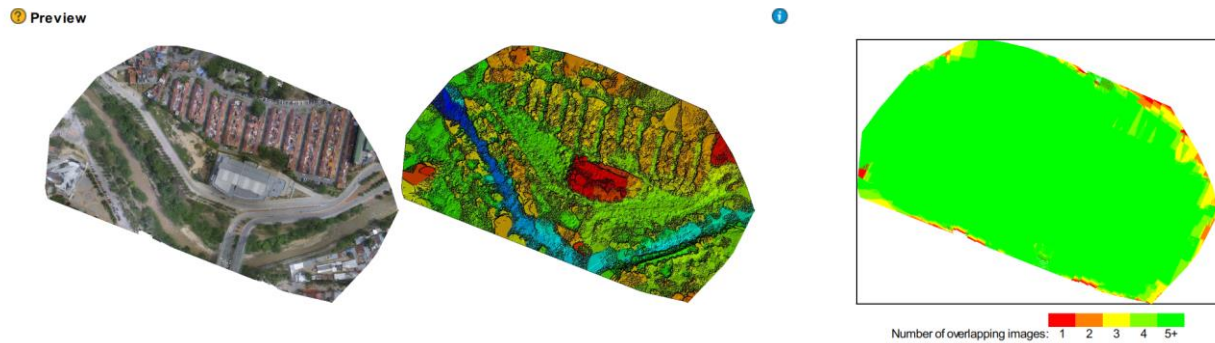
**Figura 35.** *Ortomosaico insertado en KML en software Google Earth pro*

Elaborada tomando como referencia la cartografía digital de Google Earth

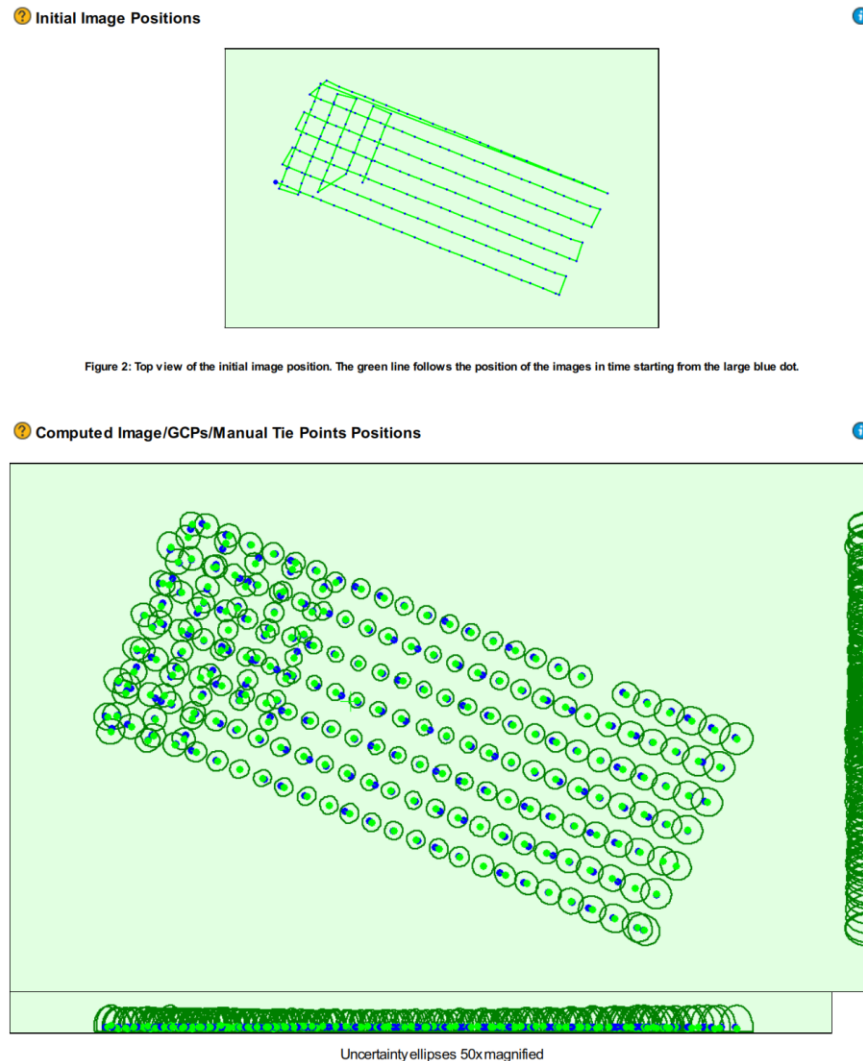
ProPix4Dmapper produce un informe de calidad (Quality Report) tras las tres etapas de procesamiento, detallando las características de la nube de puntos y los productos derivados. Entre ellos, el ortomosaico y el DSM permiten la validación preliminar de los datos y la interpretación altimétrica mediante un mapa de calor RGB, indicando las mayores elevaciones con colores rojos y las menores con verde claro sobre el modelo topográfico DTM.

**Figura 36.** *Quality Report del proyecto dada por pix4d mapper*

Tomada del reporte estadístico de precisión generado automáticamente por el software de fotogrametría.

**Figura 37.** *Resumen del proyecto desde Ortomosaico, DSM y Overlap*

Tomada del resumen gráfico de control de calidad en Pix4Dmapper.

**Figura 38.** *Reporte de posicionamiento de imágenes del Ortomosaico*

Tomada del informe técnico de vuelo generado en Pix4Dmapper.

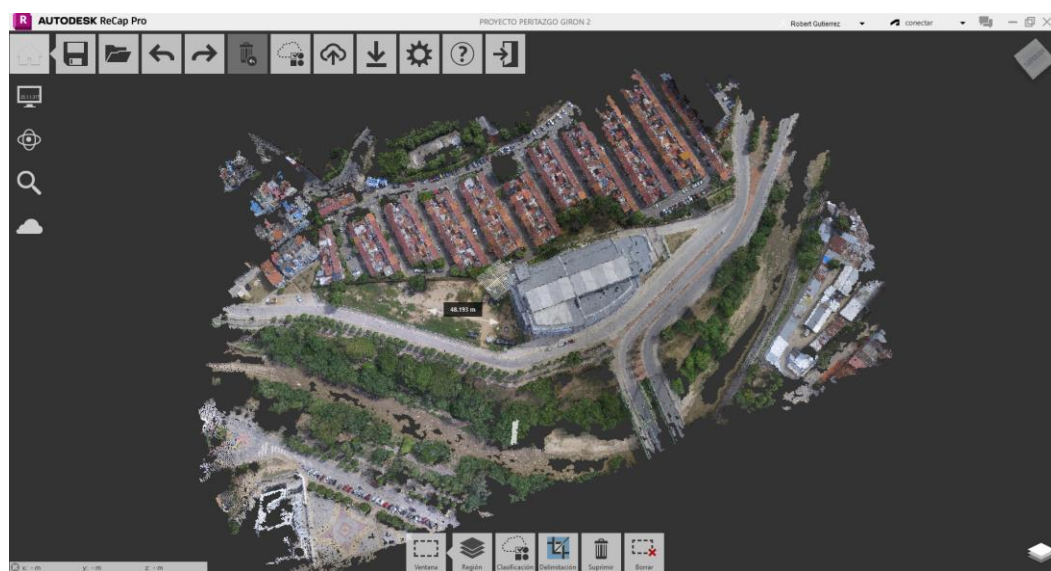
Tras obtener el modelo 3D y el ortomosaico en Pix4D Mapper, se importan los archivos LAS/XYZ al software ReCap Pro para convertirlos a formatos compatibles con AutoCAD (RCP/DNG). En este software, se realiza una edición técnica para depurar ruidos en la nube de puntos y mejorar la visualización de estructuras y terrenos. Tras aumentar la definición y ajustar la calidad en ReCap, el modelo resultante está listo para ser insertado en AutoCAD

Durante el desarrollo del diplomado en Piloto de Operaciones RPAS y Fotogrametría de la

Universidad Santo Tomás, se instruyó en la técnica de “Fotointerpretación en AutoCAD con georreferenciación y puntos de control GPS de alta precisión y ortomosaico escalado”. Este proceso, fundamentado en el uso de Pix4D Mapper, ReCap y AutoCAD para la posproducción, garantiza la generación de cartografía y topografía con alta precisión métrica. La metodología fue desarrollada por el Arq. Robert Gutiérrez Ortiz, como autoría propia y desarrollada en proyectos del Banco Inmobiliario de Floridablanca (BIF), logrando validar una precisión del 98.8% en los productos topográficos finales.

Al funcionar como un componente de fotointerpretación, el método de precisión del Arq. Robert Gutiérrez Ortiz produce mediciones de alta fiabilidad. Esto lo convierte en una herramienta superior para la supervisión e interventoría de proyectos y obras civiles, especialmente al verificar perímetros o límites de terrenos destinados a intervenciones arquitectónicas y de obra.

**Figura 39.** Edición de la nube de puntos en el software RECAP



Tomada de la interfaz de edición tridimensional durante la fase de depuración de ruidos en el archivo de puntos

Tras procesar la nube de puntos en Recap Pro, esta se vincula en AutoCAD, ofreciendo la

ventaja de insertarse en escala 1:1. Esto permite realizar mediciones reales y precisas sobre la base digital y permite el inicio de la **Fase 2 de la etapa 5** que consiste en la fotointerpretación del Ortomosaico.

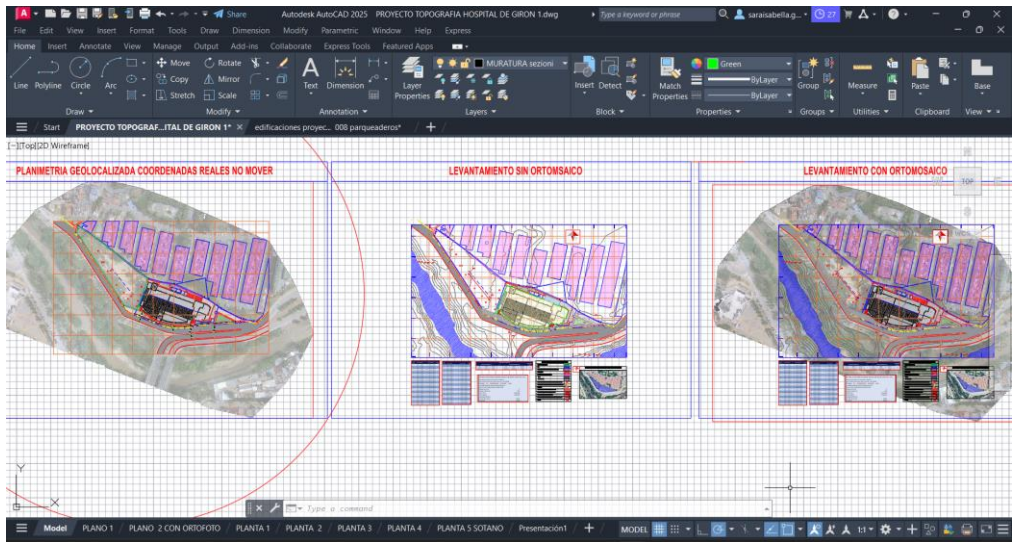
Además, esta nube escalada sirve de referencia para calibrar el ortomosaico que se encuentra en formato GEOTIFF, el cual, al importarse, carece de dimensiones reales. La precisión a escala 1:1 del ortomosaico se garantiza mediante la georreferenciación de 2 puntos de control, tomados en campo con GPS de alta precisión y posicionados en el plano cartesiano de AutoCAD.

**Tabla 3.** *Grafica relación de puntos de control con GPS de alta precisión con antena para escalar Ortomosaico en AutoCAD y ejecutar la fotointerpretación.*

| Punto de Control Ptc1 |              |             | A | Punto de Control Ptc2 |              |             | Distancia (ml) |
|-----------------------|--------------|-------------|---|-----------------------|--------------|-------------|----------------|
| Este (X)              | Norte (Y)    | Altitud (Z) | A | Este (X)              | Norte (Y)    | Altitud (Z) | 47.99          |
| 1100969.7050          | 1272797.5400 | 670.361     |   | 1100939.4580          | 1272834.7990 | 669.949     |                |

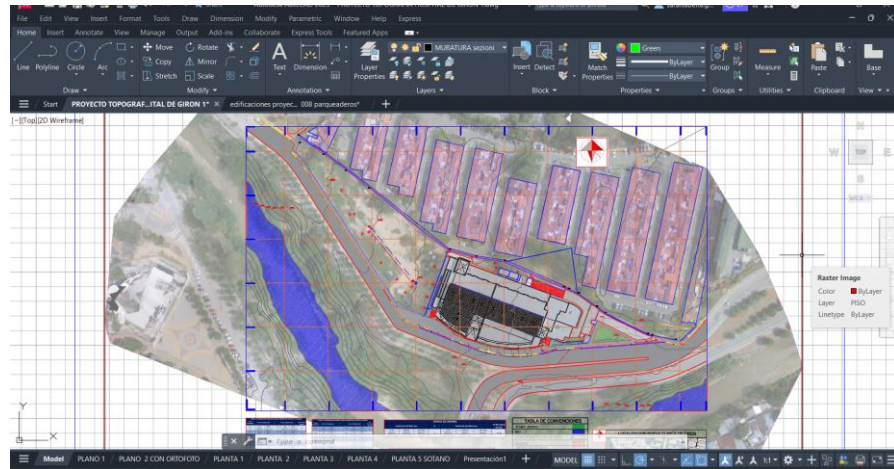
Elaborada tomando como referencia las lecturas de posicionamiento capturadas en campo con el GPS de alta precisión durante el levantamiento topográfico

**Figura 40.** *Elaboración planimetría con Ortomosaico para fotointerpretación en AutoCAD.*



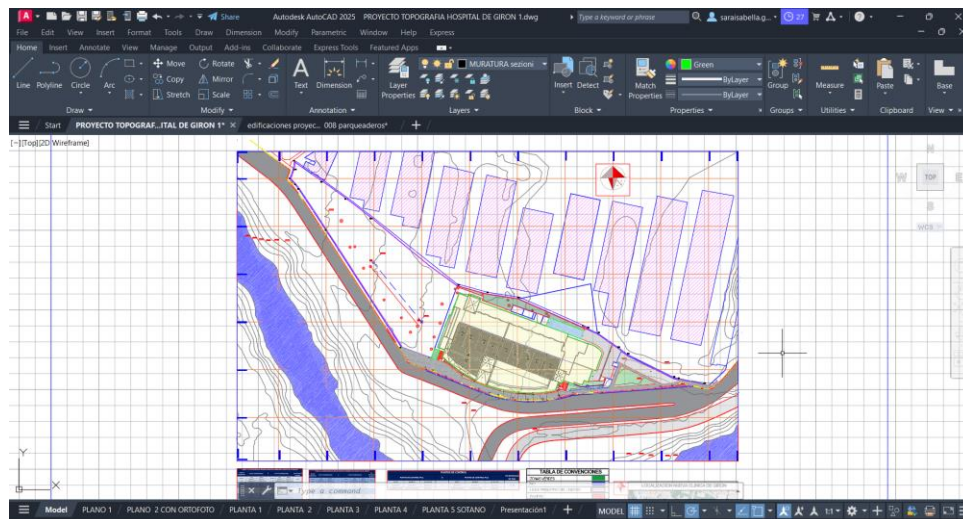
Tomada de la interfaz del software AutoCAD durante el procesamiento y comparación cartográfica de la planimetría

**Figura 41.** *Elaboración planimetría con Ortomosaico escalado fase de la fotointerpretación en AutoCAD.*



Tomada de la interfaz del software AutoCAD durante el proceso de fotointerpretación cartográfica utilizando el ortomosaico escalado

**Figura 42.** *Elaboración planimetría sin Ortomosaico escalado fase de la fotointerpretación en AutoCAD.*



Tomada de la interfaz del software AutoCAD durante el proceso de fotointerpretación cartográfica sin el uso del ortomosaico escalado.

Mediante la fotointerpretación en AutoCAD, basada en el ortomosaico escalado y la nube de puntos, se identificaron los linderos. Utilizando los puntos de control Ptc1 y Ptc2 para la

georreferenciación, se definieron los puntos de paso que delimitan la geometría del predio, estableciendo así las coordenadas Magna-Sirgas de los vértices perimetrales

**Tabla 4.** Relación de georreferencia de puntos de perímetro y distancias con datos obtenidos de la fotointerpretación (Tabla versión 1 Punto 1 a punto 18).

| <b>Punto Perímetro</b> | <b>Este (X)</b> | <b>Norte (Y)</b> | <b>Punto Perímetro</b> | <b>Este (X)</b> | <b>Norte (Y)</b> | <b>Distancia (m)</b> |
|------------------------|-----------------|------------------|------------------------|-----------------|------------------|----------------------|
| P1                     | 1100887.5333    | 1272887.4514     | P2                     | 1100891.0214    | 1272883.4961     | 5.30                 |
| P2                     | 1100891.0214    | 1272883.4961     | P3                     | 1100893.0491    | 1272880.8236     | 3.35                 |
| P3                     | 1100893.0491    | 1272880.8236     | P4                     | 1100910.2925    | 1272854.6784     | 31.30                |
| P4                     | 1100910.2925    | 1272854.6784     | P5                     | 1100957.4828    | 1272781.4764     | 87.10                |
| P5                     | 1100957.4828    | 1272781.4764     | P6                     | 1100975.7092    | 1272774.9196     | 19.40                |
| P6                     | 1100975.7092    | 1272774.9196     | P7                     | 1100972.8579    | 1272767.4894     | 7.90                 |
| P7                     | 1100972.8579    | 1272767.4894     | P8                     | 1100985.3684    | 1272762.5936     | 13.45                |
| P8                     | 1100985.3684    | 1272762.5936     | P9                     | 1101005.5736    | 1272754.5717     | 21.75                |
| P9                     | 1101005.5736    | 1272754.5717     | P10                    | 1101011.9762    | 1272752.2114     | 6.82                 |
| P10                    | 1101011.9762    | 1272752.2114     | P11                    | 1101018.0506    | 1272750.3966     | 6.35                 |
| P11                    | 1101018.0506    | 1272750.3966     | P12                    | 1101026.7511    | 1272748.7469     | 8.85                 |
| P12                    | 1101026.7511    | 1272748.7469     | P13                    | 1101036.2967    | 1272747.9542     | 9.60                 |
| P13                    | 1101036.2967    | 1272747.9542     | P14                    | 1101045.5818    | 1272748.1982     | 9.30                 |
| P14                    | 1101045.5818    | 1272748.1982     | P15                    | 1101057.2286    | 1272750.1081     | 11.80                |
| P15                    | 1101057.2286    | 1272750.1081     | P16                    | 1101064.7336    | 1272752.0893     | 7.75                 |
| P16                    | 1101064.7336    | 1272752.0893     | P17                    | 1101120.3710    | 1272756.2336     | 55.80                |
| P17                    | 1101120.3710    | 1272756.2336     | P18                    | 1101127.5554    | 1272756.8073     | 7.20                 |

Obtenida mediante el proceso de fotointerpretación en AutoCAD a partir del ortomosaico escalado y referenciados en el sistema de coordenadas Magna-Sirgas

**Tabla 5.** Relación de georreferencia de puntos de perímetro y distancias con datos obtenidos de la fotointerpretación (Tabla versión 2 Punto 18 a punto 34)

| <b>Punto Perímetro</b> | <b>Este (X)</b> | <b>Norte (Y)</b> | <b>Punto Perímetro</b> | <b>Este (X)</b> | <b>Norte (Y)</b> | <b>Distancia (m)</b> |
|------------------------|-----------------|------------------|------------------------|-----------------|------------------|----------------------|
| P18                    | 1101127.5554    | 1272756.8073     | P19                    | 1101146.2401    | 1272758.2840     | 18.75                |
| P19                    | 1101146.2401    | 1272758.2840     | P20                    | 1101130.8039    | 1272761.4042     | 15.75                |
| P20                    | 1101130.8039    | 1272761.4042     | P21                    | 1101127.8571    | 1272762.1853     | 3.10                 |
| P21                    | 1101127.8571    | 1272762.1853     | P22                    | 1101098.8637    | 1272776.5345     | 32.40                |
| P22                    | 1101098.8637    | 1272776.5345     | P23                    | 1101093.0674    | 1272780.8992     | 7.25                 |
| P23                    | 1101093.0674    | 1272780.8992     | P24                    | 1101080.1216    | 1272789.8579     | 15.75                |
| P24                    | 1101080.1216    | 1272789.8579     | P25                    | 1101073.2996    | 1272793.1315     | 7.60                 |
| P25                    | 1101073.2996    | 1272793.1315     | P26                    | 1101071.2695    | 1272794.0292     | 2.20                 |

|     |              |              |     |              |              |       |
|-----|--------------|--------------|-----|--------------|--------------|-------|
| P26 | 1101071.2695 | 1272794.0292 | P27 | 1101030.4305 | 1272812.0771 | 44.65 |
| P27 | 1101030.4305 | 1272812.0771 | P28 | 1101011.1327 | 1272814.9916 | 19.55 |
| P28 | 1101011.1327 | 1272814.9916 | P29 | 1100991.8810 | 1272820.2906 | 20.00 |
| P29 | 1100991.8810 | 1272820.2906 | P30 | 1100938.8464 | 1272862.3857 | 67.70 |
| P30 | 1100938.8464 | 1272862.3857 | P31 | 1100923.0945 | 1272874.5477 | 19.90 |
| P31 | 1100923.0945 | 1272874.5477 | P32 | 1100907.9397 | 1272885.4880 | 18.70 |
| P32 | 1100907.9397 | 1272885.4880 | P33 | 1100890.2858 | 1272897.7472 | 21.50 |
| P33 | 1100890.2858 | 1272897.7472 | P34 | 1100889.4228 | 1272893.1135 | 4.70  |
| P34 | 1100889.4228 | 1272893.1135 | P1  | 1100887.5333 | 1272887.4514 | 6.00  |

Obtenida mediante el proceso de fotointerpretación en AutoCAD a partir del ortomosaico escalado y referenciados en el sistema de coordenadas Magna-Sirgas

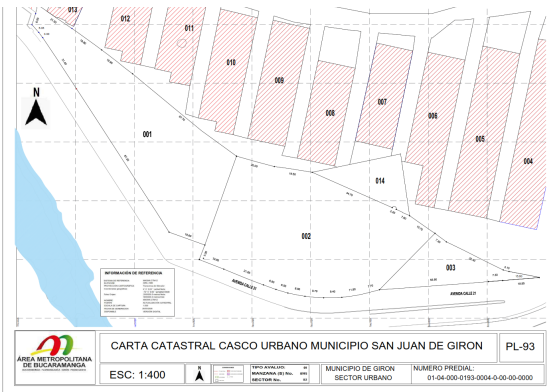
#### **4.6 Análisis y comparación de dimensiones con carta catastral, cinta métrica, levantamiento topográfico con estación total y el levantamiento con tecnología dron**

**Aquí inicia la fase 3 de la etapa 5**, tomando como base los polígonos perimetrales del predio investigado —verificados mediante cinta métrica y la cartografía catastral de la AMB, la topografía con estación total de la consultora de la Alcaldía de Girón y la fotogrametría con drones procesada en AutoCAD—, se inició la fase de análisis y contraste de las dimensiones y los puntos georreferenciados del perímetro desarrollado con dichos métodos.

##### **4.6.1 Información predial obtenida de la carta catastral 2024 y cinta métrica Insitu**

Se examinó el polígono de la carta catastral emitida por el Área Metropolitana de Bucaramanga para determinar la geometría y dimensiones planimétricas. Con estos datos, se inició una comparativa inicial, validando posteriormente en campo la precisión de las medidas perimetrales del predio mediante el uso de cinta métrica.

**Figura 41.** Información predial del área metropolitana de Bucaramanga AMB y medidas de cinta métrica tomadas en trabajo de campo



Adaptado de la carta catastral (AMB, 2024) y complementado con las mediciones perimetales tomadas en campo.

A partir de la integración de la geometría catastral con las mediciones directas realizadas en campo mediante cinta métrica, se determinó que el predio cuenta con una superficie total de 5.746 m<sup>2</sup>, con un posible margen de error del 87%. El detalle de las longitudes perimetales entre cada vértice se presenta en la siguiente tabla según la planimetría descrita en el **Apéndice G** del presente documento:

**Tabla 6.** Relación de georreferencia de puntos de perímetro y distancias con datos obtenidos de la carta catastral y cinta métrica (Punto 1, P1 al punto 34, P34).

| Punto Perímetro | A | Punto Coordenadas | Distancia (m) |
|-----------------|---|-------------------|---------------|
| P1              | A | P2                | 5.40          |
| P2              | A | P3                | 3.50          |
| P3              | A | P4                | 31.20         |
| P4              | A | P5                | 87.30         |
| P5              | A | P6                | 19.55         |
| P6              | A | P7                | 7.50          |
| P7              | A | P8                | 13.20         |
| P8              | A | P9                | 21.80         |
| P9              | A | P10               | 6.70          |
| P10             | A | P11               | 6.45          |
| P11             | A | P12               | 8.90          |
| P12             | A | P13               | 9.70          |

|     |   |     |       |
|-----|---|-----|-------|
| P13 | A | P14 | 9.10  |
| P14 | A | P15 | 12.10 |
| P15 | A | P16 | 7.65  |
| P16 | A | P17 | 56.00 |
| P17 | A | P18 | 7.35  |

| Punto Perímetro | A | Punto Coordenadas | Distancia (m) |
|-----------------|---|-------------------|---------------|
| P18             | A | P19               | 19.00         |
| P19             | A | P20               | 16.00         |
| P20             | A | P21               | 3.10          |
| P21             | A | P22               | 32.50         |
| P22             | A | P23               | 7.45          |
| P23             | A | P24               | 15.90         |
| P24             | A | P25               | 7.70          |
| P25             | A | P26               | 2.20          |
| P26             | A | P27               | 44.70         |
| P27             | A | P28               | 19.60         |
| P28             | A | P29               | 20.00         |
| P29             | A | P30               | 67.80         |
| P30             | A | P31               | 20.00         |
| P31             | A | P32               | 19.00         |
| P32             | A | P33               | 21.30         |
| P33             | A | P34               | 4.60          |
| P34             | A | P1                | 6.00          |

Los datos catastrales corresponden a la cartografía oficial (AMB, 2024).

#### 4.6.2 Información obtenida del Levantamiento Topográfico con Estación Total

Se tomaron las métricas de perímetros en longitud punto a punto llevado a cabo por el levantamiento topográfico realizado con estación total en el sitio del desarrollo del proyecto Construcción de la Nueva Clínica de Giron E.S.E.

Desarrollándose la información en una tabla de longitudes punto a punto para hacer la posterior comparativa con los demás métodos. Según la información suministrada por la Alcaldía y la firma consultora se utilizó la Estación Total Sokkia iM-105 (Serie iM-100), cuyo equipo es de gama profesional diseñado para ofrecer precisión y durabilidad en levantamientos topográficos y obras civiles. Su denominación "105" indica específicamente una precisión angular de 5 segundos.

El modelo estación total incluye el sistema TSshield, con un módulo de comunicaciones multifuncional que permite el rastreo por GPS y el bloqueo remoto del equipo en caso de robo, además de actualizaciones de firmware automáticas. Su diseño es ligero (aproximadamente 5.3 kg) y cuenta con un teclado alfanumérico iluminado para facilitar el trabajo en condiciones de baja luz.

Las actividades de levantamiento topográfico requirieron 2 días de labores en terreno, ejecutadas por una cuadrilla compuesta por un topógrafo especialista y su ayudante. Posteriormente, la transferencia y el procesamiento de la información para la generación de los planos definitivos tomó un plazo de 4 días.

Se utilizó un total de 6 días para desarrollar el levantamiento topográfico con estación total y generar la planimetría según lo descrito en el **Apéndice F** del presente documento.

**Figura 42.** Fotos de montaje de estación total Sokkia iM-105 Insitu.



Tomadas durante las actividades de levantamiento topográfico en terreno

**Tabla 7.** *Relación de distancias punto a punto lote proyecto Construcción Nueva Clínica de Girón E.S.E., con las dimensiones dadas con el levantamiento topográfico con estación total*

| <b>Punto Perímetro</b> | <b>A</b> | <b>Punto Coordenadas</b> | <b>Distancia (m)</b> |
|------------------------|----------|--------------------------|----------------------|
| P1                     | A        | P2                       | 5.35                 |
| P2                     | A        | P3                       | 3.30                 |
| P3                     | A        | P4                       | 31.40                |
| P4                     | A        | P5                       | 87.20                |
| P5                     | A        | P6                       | 19.60                |
| P6                     | A        | P7                       | 8.00                 |
| P7                     | A        | P8                       | 13.55                |
| P8                     | A        | P9                       | 21.85                |
| P9                     | A        | P10                      | 6.90                 |
| P10                    | A        | P11                      | 6.50                 |
| P11                    | A        | P12                      | 8.90                 |
| P12                    | A        | P13                      | 9.70                 |
| P13                    | A        | P14                      | 9.40                 |
| P14                    | A        | P15                      | 11.80                |
| P15                    | A        | P16                      | 7.70                 |
| P16                    | A        | P17                      | 55.80                |
| P17                    | A        | P18                      | 7.30                 |

| <b>Punto Perímetro</b> | <b>A</b> | <b>Punto Coordenadas</b> | <b>Distancia (m)</b> |
|------------------------|----------|--------------------------|----------------------|
| P18                    | A        | P19                      | 18.85                |
| P19                    | A        | P20                      | 15.80                |
| P20                    | A        | P21                      | 3.10                 |
| P21                    | A        | P22                      | 32.40                |
| P22                    | A        | P23                      | 7.30                 |
| P23                    | A        | P24                      | 15.75                |
| P24                    | A        | P25                      | 7.60                 |
| P25                    | A        | P26                      | 2.20                 |
| P26                    | A        | P27                      | 44.70                |
| P27                    | A        | P28                      | 19.50                |
| P28                    | A        | P29                      | 20.00                |
| P29                    | A        | P30                      | 67.70                |
| P30                    | A        | P31                      | 19.90                |
| P31                    | A        | P32                      | 18.80                |
| P32                    | A        | P33                      | 21.50                |
| P33                    | A        | P34                      | 4.70                 |
| P34                    | A        | P1                       | 6.00                 |

Datos métricos obtenidos directamente en terreno mediante el levantamiento topográfico con estación total

#### **4.6.3 Información de la geolocalización y postproceso fotogramétrico de las imágenes del dron y dimensiones de sus perímetros:**

El levantamiento topográfico y fotogramétrico con drones para la interventoría del urbanismo en la Nueva Clínica de Girón E.S.E. requirió un total de tres días de trabajo. Este tiempo incluyó una jornada para la planificación y ejecución de la misión UAS (25 minutos de vuelo), un día para el procesamiento fotogramétrico y un día final para la planimetría.

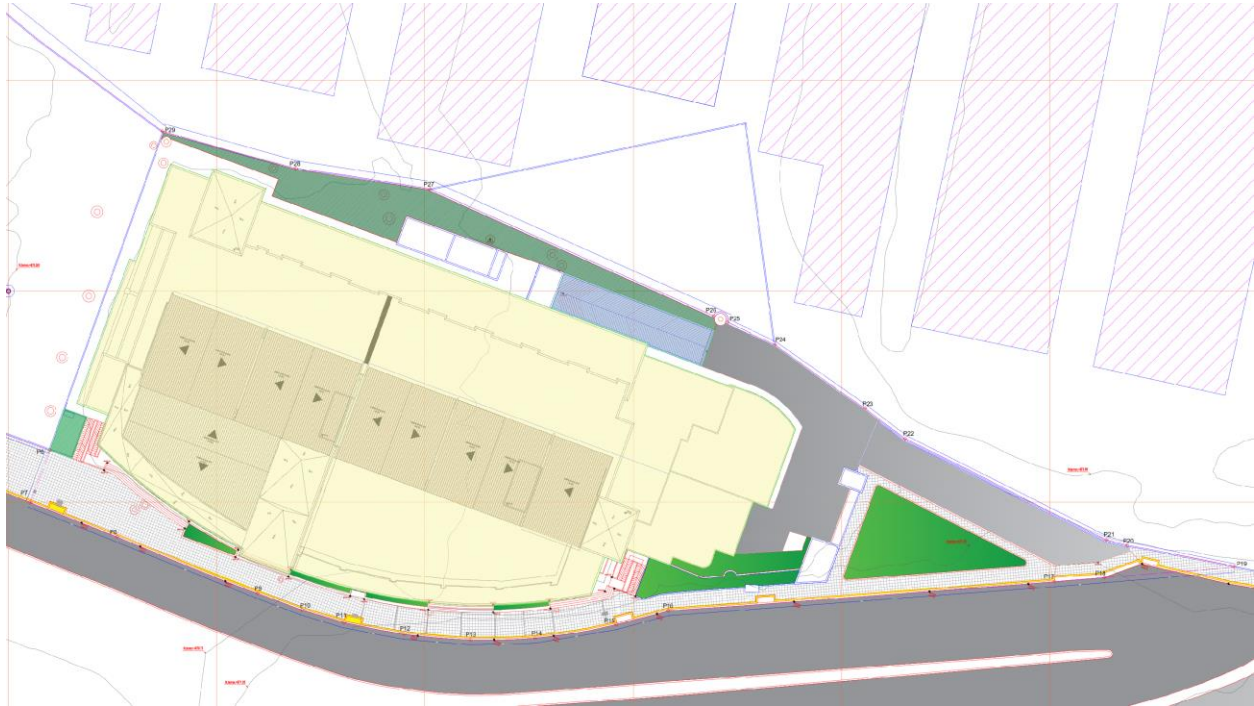
El equipo UAS utilizado fue un Phantom 4 de la casa DJI, que mediante una ruta doble grilla controlado bajo navegación desde el aplicativo Dronedeploy ejecuto la ruta sin ninguna novedad, tomando fotografías aéreas o muestras fotogramétricas cada 2 segundos a una velocidad de 72Km/h, con una definición de cámara de 20 megapíxeles y un Overlap o traslapo del 70%, generando así 280 imágenes para análisis y posproceso. El levantamiento de un predio de 5.761,66m<sup>2</sup>, resultado de la fotointerpretación del ortomosaico escalado en AutoCAD, tiene una duración estimada de tres días. En cuanto al posproceso o procesamiento fotogramétrico se desarrolló bajo un protocolo descrito en el capítulo 4.5.2 del presente documento con el uso del software pix4d mapper, Recap y con los recursos obtenidos como la nube de puntos y el ortomosaico escalado insertado en AutoCAD.

**Figura 44.** Información Planimetría levantamiento con tecnología dron con Ortomosaico



Tomada del software AutoCAD durante la integración y visualización del ortomosaico procesado.

**Figura 45.** *Información Planimetría con tecnología dron sin Ortomosaico*



Tomada del software AutoCAD durante la delineación vectorial de la planimetría final.

Información registrada en tabla de datos de perímetros producto del posproceso de la fotogrametría y geolocalización de las imágenes tomadas con el dron

Las tablas 4 y 5 de este informe detallan la información georreferenciada (coordenadas X, Y) y los perímetros obtenidos mediante la fotointerpretación, fotogrametría y Posprocesamiento de las imágenes del dron. Dicha fotointerpretación generó una tabla resumen que incluye exclusivamente las distancias punto a punto del perímetro en metros e identificados por el proceso fotogramétrico:

**Tabla 8.** *Grafica relación de coordenadas y medidas perimetales postproceso fotogramétrico de fotointerpretación de Imágenes Dron.*

| <i>Punto Perímetro</i> | <i>A</i> | <i>Punto Perímetro</i> | <i>Distancia (m)</i> |
|------------------------|----------|------------------------|----------------------|
| P1                     | A        | P2                     | 5.30                 |
| P2                     | A        | P3                     | 3.35                 |
| P3                     | A        | P4                     | 31.30                |
| P4                     | A        | P5                     | 87.10                |
| P5                     | A        | P6                     | 19.40                |
| P6                     | A        | P7                     | 7.90                 |
| P7                     | A        | P8                     | 13.45                |
| P8                     | A        | P9                     | 21.75                |
| P9                     | A        | P10                    | 6.82                 |
| P10                    | A        | P11                    | 6.35                 |
| P11                    | A        | P12                    | 8.85                 |
| P12                    | A        | P13                    | 9.60                 |
| P13                    | A        | P14                    | 9.30                 |
| P14                    | A        | P15                    | 11.80                |
| P15                    | A        | P16                    | 7.75                 |
| P16                    | A        | P17                    | 55.80                |
| P17                    |          | P18                    | 7.20                 |

| <i>Punto Perímetro</i> | <i>A</i> | <i>Punto Perímetro</i> | <i>Distancia (m)</i> |
|------------------------|----------|------------------------|----------------------|
| P18                    | A        | P19                    | 18.75                |
| P19                    | A        | P20                    | 15.75                |
| P20                    | A        | P21                    | 3.10                 |
| P21                    | A        | P22                    | 32.40                |
| P22                    | A        | P23                    | 7.25                 |
| P23                    | A        | P24                    | 15.75                |
| P24                    | A        | P25                    | 7.60                 |
| P25                    | A        | P26                    | 2.20                 |
| P26                    | A        | P27                    | 44.65                |
| P27                    | A        | P28                    | 19.55                |
| P28                    | A        | P29                    | 20.00                |
| P29                    | A        | P30                    | 67.70                |
| P30                    | A        | P31                    | 19.90                |
| P31                    | A        | P32                    | 18.70                |
| P32                    | A        | P33                    | 21.50                |
| P33                    | A        | P34                    | 4.70                 |
| P34                    | A        | P1                     | 6.00                 |

Datos resumidos a partir de la fotointerpretación y el modelamiento digital ejecutado en la fase de postproceso fotogramétrico.

**4.6.4 Comparación tres (3) métodos fusión carta catastral con cinta métrica, método levantamiento con Estación Total y Método fotointerpretación en AutoCAD, fotogrametría y tecnología dron**

Obteniendo los resultados de magnitudes en áreas y longitudes se hace la comparativa entre los tres (3) métodos y se obtiene la información en las tablas 8 y 9 que se presentan a continuación:

**Tabla 9.** Comparativa de longitudes perímetro y área de los tres métodos del punto P1 al punto P18

| Punto P | A | Punto C | Cinta (ML) | Estación Total (ML) | Fotogrametría (ML) | Dif. Cinta-Estación | Dif. Estación-Fotogrametría |
|---------|---|---------|------------|---------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| P1      | A | P2      | 5.40       | 5.35                | 5.30               | 0.05                | 0.05                        |
| P2      | A | P3      | 3.50       | 3.30                | 3.35               | 0.20                | -0.05                       |
| P3      | A | P4      | 31.20      | 31.40               | 31.30              | -0.20               | 0.10                        |
| P4      | A | P5      | 87.30      | 87.20               | 87.10              | 0.10                | 0.10                        |
| P5      | A | P6      | 19.55      | 19.60               | 19.40              | -0.05               | 0.20                        |
| P6      | A | P7      | 7.50       | 8.00                | 7.90               | -0.50               | 0.10                        |
| P7      | A | P8      | 13.20      | 13.55               | 13.45              | -0.35               | 0.10                        |
| P8      | A | P9      | 21.80      | 21.85               | 21.75              | -0.05               | 0.10                        |
| P9      | A | P10     | 6.70       | 6.90                | 6.82               | -0.20               | 0.08                        |
| P10     | A | P11     | 6.45       | 6.50                | 6.35               | -0.05               | 0.15                        |
| P11     | A | P12     | 8.90       | 8.90                | 8.85               | 0.00                | 0.05                        |
| P12     | A | P13     | 9.70       | 9.70                | 9.60               | 0.00                | 0.10                        |
| P13     | A | P14     | 9.10       | 9.40                | 9.30               | -0.30               | 0.10                        |
| P14     | A | P15     | 12.10      | 11.80               | 11.80              | 0.30                | 0.00                        |
| P15     | A | P16     | 7.65       | 7.70                | 7.75               | -0.05               | -0.05                       |
| P16     | A | P17     | 56.00      | 55.80               | 55.80              | 0.20                | 0.00                        |
| P17     | A | P18     | 7.35       | 7.30                | 7.20               | 0.05                | 0.10                        |

Elaborada a partir de los datos catastrales, topográficos convencionales y fotogramétricos obtenidos en el estudio

**Tabla 10.** Comparativa de longitudes perímetro y área de los tres métodos del punto P18 al punto P34

| Punto P | A | Punto C | Cinta (ML) | Estación Total (ML) | Fotogrametría (ML) | Dif. Cinta-Estación | Dif. Estación-Fotogrametría |
|---------|---|---------|------------|---------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| P18     | A | P19     | 19,00      | 18,85               | 18,75              | 0,15                | 0,10                        |
| P19     | A | P20     | 16,00      | 15,80               | 15,75              | 0,20                | 0,05                        |

|              |   |     |               |               |               |       |       |
|--------------|---|-----|---------------|---------------|---------------|-------|-------|
| P20          | A | P21 | 3,10          | 3,10          | 3,10          | 0,00  | 0,00  |
| P21          | A | P22 | 32,50         | 32,40         | 32,40         | 0,10  | 0,00  |
| P22          | A | P23 | 7,45          | 7,30          | 7,25          | 0,15  | 0,05  |
| P23          | A | P24 | 15,90         | 15,75         | 15,75         | 0,15  | 0,00  |
| P24          | A | P25 | 7,70          | 7,60          | 7,60          | 0,10  | 0,00  |
| P25          | A | P26 | 2,20          | 2,20          | 2,20          | 0,00  | 0,00  |
| P26          | A | P27 | 44,70         | 44,70         | 44,65         | 0,00  | 0,05  |
| P27          | A | P28 | 19,60         | 19,50         | 19,55         | 0,10  | -0,05 |
| P28          | A | P29 | 20,00         | 20,00         | 20,00         | 0,00  | 0,00  |
| P29          | A | P30 | 67,80         | 67,70         | 67,70         | 0,10  | 0,00  |
| P30          | A | P31 | 20,00         | 19,90         | 19,90         | 0,10  | 0,00  |
| P31          | A | P32 | 19,00         | 18,80         | 18,70         | 0,20  | 0,10  |
| P32          | A | P33 | 21,30         | 21,50         | 21,50         | -0,20 | 0,00  |
| P33          | A | P34 | 4,60          | 4,70          | 4,70          | -0,10 | 0,00  |
| P34          | A | P1  | 6,00          | 6,00          | 6,00          | 0,00  | 0,00  |
| <b>Total</b> |   |     | <b>640,25</b> | <b>615,85</b> | <b>614,47</b> |       |       |

Elaborada a partir de los datos catastrales, topográficos convencionales y fotogramétricos obtenidos en el estudio

Al revisar las tablas comparativas 8 y 9 del presente documento podemos establecer una comparativa general de longitud de perímetro total y áreas de superficie del terreno de cada uno de los tres métodos como se consigna en la siguiente tabla 10.

**Tabla 11.** *Comparativa de Superficies y perímetros de los tres métodos, carta catastral con cinta métrica, levantamiento estación total y levantamiento con fotogrametría y Fotointerpretación en AutoCAD con Dron.*

| <b>Categoría de Medición</b>                   | <b>Valor</b> |
|------------------------------------------------|--------------|
| <b>Distancia Total de Perímetros (ml)</b>      |              |
| Método Carta Catastral y Cinta Métrica         | 640,25       |
| Método Estación Total                          | 615,85       |
| Método Fotogrametría y Drones                  | 614,47       |
| <b>Área de Superficie(M2)</b>                  |              |
| Según Carta Catastral                          | 5.846,00     |
| Método Fusión Promedio (Carta y Cinta)         | 5.746,00     |
| Levantamiento Estación Total                   | 5.770,71     |
| Levantamiento Fotogramétrico con Drones        | 5.761,66     |
| <b>Diferencias Relativas (%)</b>               |              |
| Longitud Perímetro (Estación Total vs. Drones) | 0,22%        |
| Área (Estación Total vs. Drones)               | 0,16%        |

Adaptado de la carta catastral (AMB, 2024) y consolidado con los resultados finales de las mediciones de campo

Según la tabla 10, existe una amplia disparidad en el perímetro —cercana a los 24 metros lineales— si comparamos el método tradicional de carta catastral con cinta y el levantamiento con estación total.

En cuanto al área del predio, se observa una diferencia amplia de 24,71m<sup>2</sup> al contrastar el método de estación total con la fusión de carta catastral y cinta métrica. Finalmente, al comparar el método de estación total con el fotogramétrico (drones), se constata una diferencia mínima de 1,38 metros lineales en el perímetro, lo cual constata una ostensible precisión entre los métodos de estación total con el de fotogrametría con drones.

Al comparar el levantamiento con estación total y el fotogramétrico con dron, se observa una discrepancia mínima de 8,34 m<sup>2</sup> en la superficie. No obstante, al contrastar el área oficial de la Carta Catastral del AMB 5.846 m<sup>2</sup> con la real medida por estación total 5.770,71m<sup>2</sup>, surge una diferencia significativa de 75,29m<sup>2</sup>, evidenciando imprecisiones amplias en el documento catastral. Por el contrario, se confirma la alta precisión entre los métodos modernos (Fotogrametría con dron y levantamiento con estación total), con una variación de apenas el 0,15% en áreas y perímetros.

Tales datos anteriores demuestran que el levantamiento topográfico realizado con el Método de fotointerpretación en AutoCAD con ortomosaico escalado a partir del posproceso de muestras fotogramétricas diseñado por el Arq. Robert Gutierrez Ortiz genera una precisión del 99,84% según las tablas de comparativas.

Las variaciones observadas en las áreas y perímetros en cada uno de los tres métodos se encuentran ajustadas a los rangos de tolerancia admitidos por el Área Metropolitana de Bucaramanga y las especificaciones cartográficas del IGAC.

**Figura 46.** *Equipo UAS (Phantom 4) utilizado en la misión levantamiento topográfico y fotogramétrico construcción nueva Clínica de Giron E.S.E.*



Adaptado de África Drone Kings, 2026.

## 5. Resultados

Los resultados obtenidos a través del uso de los tres (3) métodos como la Fusión de datos de Carta Catastral con cinta métrica, el levantamiento topográfico con estación total y el levantamiento topográfico y fotogramétrico con Drones y sus comparativas en magnitudes de superficie o área y longitudes de perímetro punto a punto nos entrega una base de datos suficientes para desarrollar el análisis con el fin de establecer la precisión en magnitudes eficiente de los linderos del predio con el fin de ejecutar las Labores de Interventoría para validar las Dimensiones y Áreas del Urbanismo Desarrollado durante la Construcción de la Nueva clínica de Girón E.S.E. del Municipio de Giron, Santander.

De acuerdo con los resultados reflejados en la tabla 10, se evidencian brechas sustanciales en el perímetro aproximado a 24ml entre el levantamiento convencional y la estación total.

En cuanto a la superficie, la diferencia entre la estación total y el método de fusión (carta y cinta métrica) es de 24m<sup>2</sup>. Al contrastar la estación total frente al método de fotogrametría y tecnología dron, las diferencias son despreciables: 1,38 metros lineales en las longitudes del perímetro y 8,34 metros cuadrados en el Área del terreno.

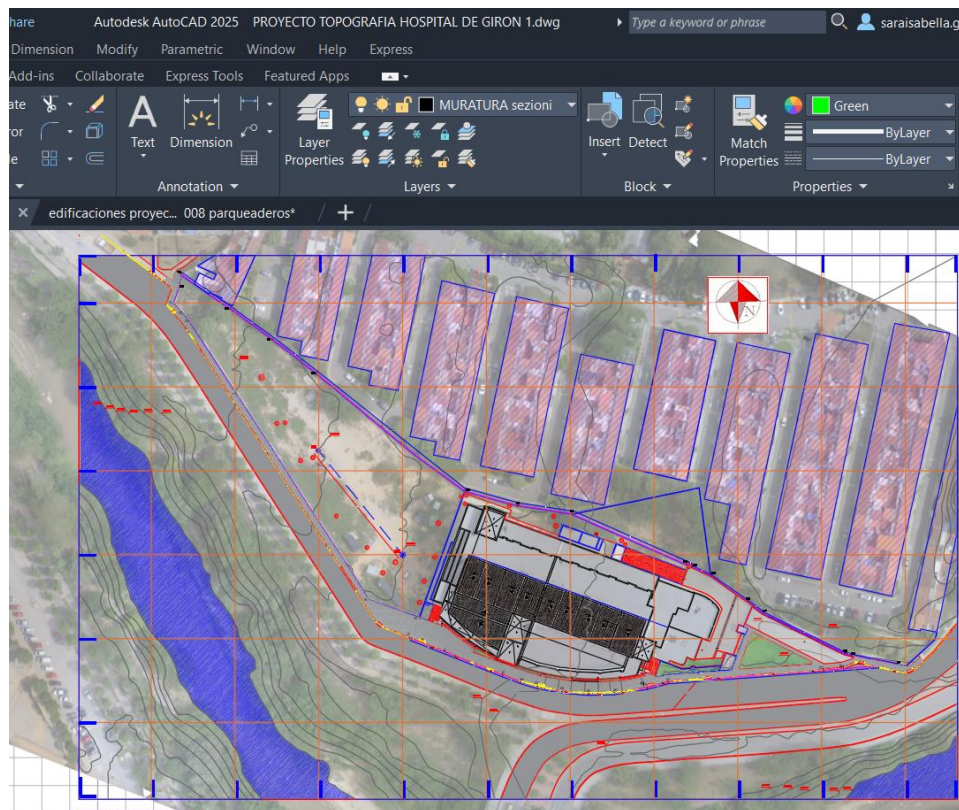
Una disparidad crítica surge al confrontar las dimensiones de área de la carta catastral del AMB equivalente a 5.846m<sup>2</sup> y compararla con el área según el método de levantamiento con la estación total equivalente a 5.770,71m<sup>2</sup>, mostrando un error de la carta catastral oficial de 75,29m<sup>2</sup>.

Contrario a esto, los métodos modernos (Estación Total y Fotogrametría con drones) demuestran una precisión significativa equivalente al 99,85%. Concluyéndose que el procedimiento con drones a partir del método de Fotointerpretación en AutoCAD y escalamiento de ortomosaico creado por el Arq. Robert Gutierrez Ortiz ofrece un 99,85% de precisión, situando

todas las variaciones dentro de los márgenes tolerados por el IGAC y el AMB.

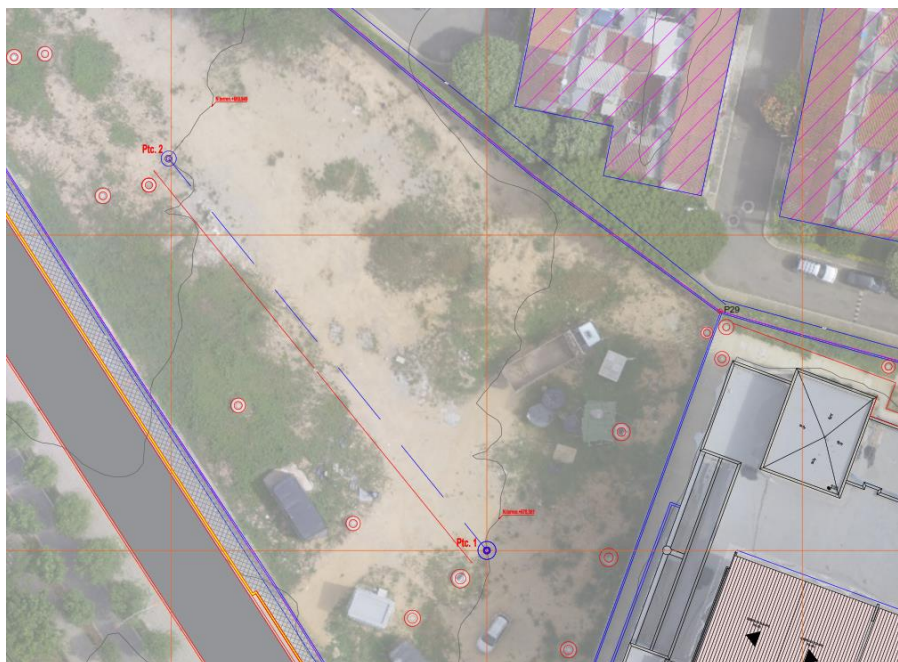
La combinación de ortomosaicos y nubes de puntos RCP fotointerpretadas en AutoCAD facilita la identificación precisa de elementos físicos, construcciones y la vegetación del terreno, incluyendo las delimitaciones de espacio público vías y andenes de la zona de intervención. Este enfoque aprovecha la tecnología DRONE para optimizar el análisis de magnitudes perimétrales de linderos y de áreas urbanísticas y construidas del inmueble.

**Figura 47.** Información obtenida del postproceso a partir de puntos del escalamiento del Ortomosaico desde la fotointerpretación en AutoCAD.



Tomada del entorno de trabajo en AutoCAD durante la visualización del postproceso fotogramétrico.

**Figura 48.** Información obtenida del postproceso a partir de puntos de control georreferenciados que permite el escalamiento del Ortomosaico



Tomada de la interfaz del software AutoCAD durante la fase de georreferenciación y calibración.

La imagen anterior muestra los puntos de control terrestre (GCP) Ptc 1 y Ptc 2, empleados para calibrar la escala del ortomosaico. Dichos puntos fueron obtenidos mediante GPS diferencial (GNSS) en modo estático por 6100 segundos, garantizando una elevada precisión.

Al integrar estos puntos en AutoCAD para la georreferenciación, se asegura una escala 1:1, permitiendo fotointerpretaciones con medidas reales y exactas. Asimismo, el uso de drones y la fotogrametría en AutoCAD facilitan la geolocalización perimetral y la reconstrucción precisa de la geometría del predio a partir del ortomosaico y la nube de puntos RCP.

Gracias a las ortofotos derivadas de diversos softwares, se obtiene una representación fiel y a escala de la infraestructura: áreas duras, antejardines, plataformas y edificaciones. Esta visualización detallada optimiza las labores de supervisión de la construcción de la Clínica de Girón, constituyendo un valor agregado fundamental en el posproceso. Asimismo, al escalar el

ortomosaico para verificar la precisión métrica, se superpuso el plano arquitectónico de cubiertas del proyecto. Se constató una coincidencia exacta entre el diseño en dimensiones y la fotogrametría realizada con drones, lo que confirma la precisión del modelo y la correcta ejecución del proyecto en campo, tal como se ilustra en la figura 51.

**Figura 49.** *Ejemplo de detalles físicos de zonas verdes, vías, cubierta de edificación y del urbanismo identificados en el Ortomosaico escalado y la fotointerpretación.*



Tomada del software AutoCAD durante la superposición y validación métrica del plano arquitectónico de cubiertas

## 6. Conclusiones

Los tres (3) métodos de levantamiento planimétrico y topográfico del predio como el desarrollado en primera instancia con la Fusión de la Carta Catastral con medidas de cinta métrica, el segundo método de levantamiento topográfico con Estación total y por último el método de fotointerpretación en AutoCAD con nube de puntos, ortomosaico escalado y tecnología dron, ofrecen cierto grado de precisión por encima del 90% en sus longitudes desde los puntos geolocalizados y la geometría de sus perímetros.

En la presente investigación y de acuerdo con un análisis comparativo de los tres (3) métodos usando un terreno en el que se gestionara las labores de Interventoría para validar las Dimensiones y Áreas del Urbanismo Desarrollado durante la Construcción de la Nueva clínica de Girón E.S.E, se pudo constatar que las lecturas métricas son muy similares con diferencias de centímetros y una sola unidad de metro en alguno de los métodos.

El cuadro comparativo demuestra una precisión cercana al 99,85% entre la Estación Total y la fotointerpretación con ortomosaico escalado en AutoCAD. Estos métodos son los más fiables para que la Interventoría valide los linderos y las longitudes del proyecto, basados en los puntos georreferenciados y acotados del perímetro del lote

Se determinó que el método de carta catastral con cinta métrica presenta un error del 3,8% en el perímetro respecto a las otras dos metodologías. Aunque esta discrepancia está dentro de los límites legales permitidos, su falta de precisión impide que la Interventoría lo considere un recurso fiable para la validación técnica de linderos

En cuanto al establecimiento del área del lote o terreno la Carta Catastral establece un área de 5.846m<sup>2</sup> como metraje oficial. Sin embargo, el primer método de carta catastral fusionado con las medidas con cinta métrica encontradas en el inmueble nos entrega como resultante un área de

5.746m<sup>2</sup>. En cuanto al área del lote resultante obtenida en el método del levantamiento topográfico hecho con estación total encontramos un área de 5.770,71 y por último con el Método de fotointerpretación en AutoCAD con ortomosaico escalado y drones se logra encontrar un área de 5.761,66m<sup>2</sup>.

La diferencia entre utilizar estación total o fotogrametría (ortomosaico/drones) en AutoCAD es casi despreciable (0,15%), con variaciones de nivel centimétrico. Sin embargo, la carta catastral oficial evidenció una imprecisión considerable de 75,29m<sup>2</sup> equivalente al 1,28% frente a los métodos de levantamiento técnico. Esta imprecisión de la AMB se corrobora al comparar el área catastral con cinta frente a los métodos modernos, detectando una diferencia sustancial de 24,71m<sup>2</sup> equivalente al 0,45%. Se concluye que, aunque existe la imprecisión oficial, todos los valores se ajustan a las normas técnicas colombianas IGAC y tolerancias del AMB, pero no tolerables para las labores de Interventoría.

Mediante el uso de AutoCAD con nubes de puntos RCP y ortomosaicos a escala, la fotointerpretación permite identificar con precisión la infraestructura, vegetación y colindancias del terreno. Este método basado en fotogrametría con drones representa una ventaja superior para la medición detallada de áreas y perímetros

En el análisis de la información de magnitudes dada por los tres (3) métodos en cuanto a las variaciones o imprecisiones nos entrega una conclusión evidente que la información dada por los métodos de estación total y el de fotointerpretación en AutoCAD con un ortomosaico escalado es muy preciso ya que las diferencias referidas fueron de centímetros.

La utilización de carta catastral y cinta métrica fue viable inicialmente gracias a las características del terreno: topografía con pendientes leves (4%-5%), escasa vegetación y perímetros urbanos bien definidos, lo que facilitaba la medición geométrica. No obstante, aunque

este método tradicional funcionó, la tecnología de drones y fotogrametría ofrece una mayor exactitud, alcanzando hasta un 99,85% de precisión al corregir las imprecisiones propias de la pendiente en el método manual.

Si bien los métodos estudiados garantizan una exactitud superior al 90% en la determinación de magnitudes, la tecnología dron ofrece ventajas superiores en eficiencia temporal y precisión de coordenadas. Esto aporta gran fiabilidad a las labores de interventoría para la validación de perímetros en obras civiles, ratificando su eficacia en las labores de construcción y urbanismo de la Nueva Clínica de Girón E.S.E.

La técnica ***“Fotointerpretación en AutoCAD con nube de puntos RCP y ortomosaico GeoTIFF escalado con puntos de control terrestre”***, creada por el Arq. Robert Gutiérrez Ortiz y utilizada en el Diplomado, se valida como un método altamente eficiente. Garantiza precisión en la toma de distancias longitudinales entre puntos georreferenciados, potenciando el seguimiento de obras, la validación de diseños y el control de avance a través de la integración de nubes de puntos y ortomosaicos en AutoCAD."

Igualmente, al comparar los 6 días requeridos para el levantamiento con estación total frente a los 3 días del método de fotointerpretación con drones y AutoCAD, se concluye que este último reduce el tiempo a la mitad, representando un ahorro de 3 días en el rendimiento del proyecto.

Con el fin de supervisar el urbanismo externo de la obra, se empleó una metodología de ***“Fotointerpretación en AutoCAD con ortomosaico escalado, nube de puntos RCP y drones”***. Este análisis permitió verificar con exactitud las dimensiones de las superficies intervenidas y las zonas proyectadas, arrojando las magnitudes y longitudes que se desglosan en la siguiente tabla:

**Tabla 12.** Comparativa de Áreas de Urbanismo hecha por la Interventoría con los métodos de topografía con drones y estación total.

| Ítem                            | Descripción de Áreas          | Drone (m <sup>2</sup> ) | Estación Total(m <sup>2</sup> ) | Diferencia (m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 1                               | Edificio emplazado en el lote | 3.340,92                | 3.349,81                        | -8,89                        |
| 2                               | Circulación vehicular         | 255,60                  | 255,50                          | 0,10                         |
| 3                               | Rampa de acceso vehicular     | 125,34                  | 125,30                          | 0,04                         |
| 4                               | Circulación peatonal          | 257,67                  | 257,60                          | 0,07                         |
| 5                               | Zonas verdes                  | 125,36                  | 125,40                          | -0,04                        |
| 6                               | Zonas residuales              | 99,67                   | 100,00                          | -0,33                        |
| 7                               | Lote sin desarrollar          | 1.557,10                | 1.557,10                        | 0,00                         |
| <b>Área Total del Lote</b>      |                               | <b>5.761,66</b>         | <b>5.770,71</b>                 |                              |
| <b>Diferencia de Área</b>       |                               |                         |                                 | <b>-9,05</b>                 |
| <b>Porcentaje de Diferencia</b> |                               |                         |                                 | <b>-0,16%</b>                |

Datos obtenidos a partir de la consolidación métrica de la interventoría y los resultados del levantamiento topográfico en campo.

La tabla 11 compara las áreas obtenidas mediante fotogrametría con drones y estación total, revelando una mínima diferencia del 0,16%. Esta precisión del 99,84% confirma la alta fiabilidad del método de drones para las mediciones de obra en el proyecto.

Por lo anterior cuando el método de fotointerpretación en AutoCAD con ortomosaico escalado y fotogrametría con drones demuestra ser eficiente en tiempo y preciso en geolocalización y métricas lineales (perímetros) para un lote, podemos resumir las conclusiones en los siguientes factores:

**Optimización Radical del Tiempo:** Se reduce drásticamente el tiempo de campo y trabajo de gabinete en comparación con la topografía convencional (estación total), permitiendo cubrir grandes extensiones o zonas de difícil acceso con menor personal y recursos.

**Alta Fiabilidad en Georreferenciación:** La integración de imágenes aéreas (drones/satélite) y puntos de control terrestre (GCP) en AutoCAD permite una geolocalización precisa, asegurando que las coordenadas del perímetro coincidan con la realidad geográfica (generalmente con errores mínimos centimétrico).

**Precisión Métrico-Perimetral:** La vectorización sobre ortomosaicos de alta resolución asegura que las distancias, ángulos y el área total del lote sean confiables para estudios preliminares, diseños o legalización y labores de Interventoría y Supervisión.

**Validación de Datos a Tiempo Real:** AutoCAD facilita la comparación directa de la fotointerpretación con bases cartográficas existentes, permitiendo la actualización inmediata de catastros o diseños.

**Solución Ideal para Áreas Extensas o Inaccesibles:** La fotointerpretación en AutoCAD con ortomosaico escalado y nube de puntos desarrollado con drones método creado por el Arq. Robert Gutierrez (2020), desde la perspectiva de la presente investigación es superior en eficiencia cuando se requiere un levantamiento perimetral rápido en terrenos complejos donde el levantamiento terrestre es riesgoso, lento o en cualquier caso (Planning Tank, s.f.).

Los resultados demuestran que la fotogrametría digital es un recurso clave para la supervisión técnica. Al garantizar la precisión en la resolución de magnitudes y delimitación predial, esta metodología sustituye eficazmente las extensas jornadas de campo, facilitando una gestión del territorio más ágil (Autodesk, 2023).

### Referencias

- Alcaldía de Bucaramanga. (2024). *Resolución de delegación y competencias del Área Metropolitana de Bucaramanga como gestor catastral multipropósito*. Secretaría de Planeación Municipal.
- Autodesk. (2024). *ReCap Pro*. Graitec. <https://graitec.com>
- Avalos, G. (2013). *Manual de fotointerpretación aplicada a estudios territoriales*. Editorial Universitaria.
- Calixto, R., Sánchez, M., et al. (2022). *Introducción a la agrimensura y ramas de la topografía*. Universidad Tecnológica de los Andes.
- Caro-Herrero, J. L. (2012). Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística. En *TuriTec2012: Congreso Turismo y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*. Universidad de Málaga.
- Chueca Pazos, M., Herraiz Boquera, J., & Marchamalo Sacristán, M. (2008). *Tratado de topografía general y fotogrametría práctica para ingenieros*. Editorial Paraninfo.
- Circular Reglamentaria No. 002 de 2015. Requisitos generales de aeronavegabilidad y operaciones para RPAS (Numeral 4.25.8.2). Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. 27 de julio de 2015.
- Comunidad de Madrid. (2015). *Uso de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) en la ingeniería civil y la gestión de infraestructuras*. Dirección General de Carreteras e Infraestructuras.
- del Río Santana, O., Gómez Córdova, F. de J., López Carrillo, N. V., Saenz Esqueda, J. A., & Espinoza Fraire, A. T. (2020). Análisis comparativo de levantamiento topográfico

- tradicional y tecnología de Drones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 14(2), 1-10.
- <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193963490001>
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2016). *Manual de usuario e instalación del software Concoord v2.0: Conversión de coordenadas al sistema Magna-SIRGAS*. EAAB-ESP.
- Encyclopædia Britannica. (2026, 15 de marzo). Google Earth. En *National Geographic and technological cartography*. britannica.com
- Escalante Torrado, J. O., Cáceres Jiménez, J. J., & Porras Díaz, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Tecnura*, 20(50), 119–140. doi.org
- Federal Aviation Administration. (2024). *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge: Flight logs and pilot logbooks* (FAA-H-8083-25C). U.S. Department of Transportation.
- Gómez, D. (2022). *Levantamiento topográfico y planialtimétrico con dron de la Granja Agroecológica Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO* (Trabajo de grado de pregrado). Corporación Universitaria Minuto de Dios, Villavicencio. Repositorio Institucional UNIMINUTO.
- Gómez-López, J. M., Pérez-García, J. L., Mozas-Calvache, A. T., & Delgado-García, J. (2020). Mission flight planning of RPAS for photogrammetric studies in complex scenes. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(6), 392. doi.org
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2016). *Modelo de datos para ortofotos y especificaciones técnicas de productos cartográficos*. IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2019). *Guía metodológica para la obtención de la Carta Catastral Urbana*. IGAC.

Instituto Geográfico Nacional. (2020, 5 de febrero). *¿Qué es la teledetección? Conceptos y fundamentos de la observación satelital*. Instituto Geográfico Nacional.

Instituto Geográfico Nacional. (2024a). *Conceptos cartográficos: Las curvas de nivel y la representación de la altimetría*. Centro Nacional de Información Geográfica.

Instituto Geográfico Nacional. (2024b). *Fotogrametría: Obtención de modelos de elevaciones e información geográfica de referencia*. Instituto Geográfico Nacional.

Instituto Geográfico Nacional. (2025). *Cartografía topográfica, representación del relieve y uso de hojas topográficas*. Centro Nacional de Información Geográfica.

Instituto Superior Tecnológico Luis Rogerio González. (2022). *Guía práctica de topografía clásica: Levantamientos planimétricos con cinta métrica y métodos de cadenamiento*. Área de Ciencias de la Ingeniería.

Ley 1341 de 2009. Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), se crea la Agencia Nacional de Espectro y se dictan otras disposiciones. 30 de julio de 2009. *Diario Oficial No. 47.426*.

Ley 1474 de 2011. Por la cual se dictan normas orientadas a fortalecer los mecanismos de prevención, investigación y sanción de actos de corrupción y la efectividad del control de la gestión pública. 12 de julio de 2011. *Diario Oficial No. 48.128*.

Ley 1476 de 2011. Por la cual se expide el régimen de responsabilidad administrativa por pérdida o daño de bienes de propiedad o al servicio del Ministerio de Defensa Nacional, sus entidades adscritas o vinculadas o la Fuerza Pública. 19 de julio de 2011. *Diario Oficial No. 48.135*.

Organización de Aviación Civil Internacional. (2015). *Manual sobre sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS)* (Doc 10019). OACI.

Quispe, Í. (2020, 18 de agosto). *¿Qué es la planimetría?* Arcux. <https://arcux.net>

Real Academia Española. (2020). Acta. En *Diccionario de la lengua española* (Edición del tricentenario). rae.es

Resolución No. 01594 de 2018. Por la cual se adopta e incorpora a los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia la norma "RAC 91 - Reglas Generales de Vuelo y de Operación". Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. 15 de junio de 2018.

Resolución No. 04201 de 2018. Por la cual se incorporan a la norma RAC 91 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia unas disposiciones sobre operación de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS), y se numeran como Apéndice 13, y se adoptan otras disposiciones. Ministerio de Transporte de Colombia. 15 de agosto de 2018.

Resolución No. 1983 de 2023. Por medio de la cual se incorpora la norma "RAC 100 – Operación de sistemas de aeronaves no tripuladas UAS" a los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, se modifica una sección y se deroga el Apéndice 13 de la norma RAC 91 de dichos reglamentos. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. 27 de septiembre de 2023. *Diario Oficial No. 52.531*.

SBG Systems. (2025). *LiDAR and 3D point cloud generation processing guide*. SBG Systems Knowledge Base.

Sisti, M. (2020). *Principios de fotointerpretación y teledetección aplicada*. Editorial Académica Española.

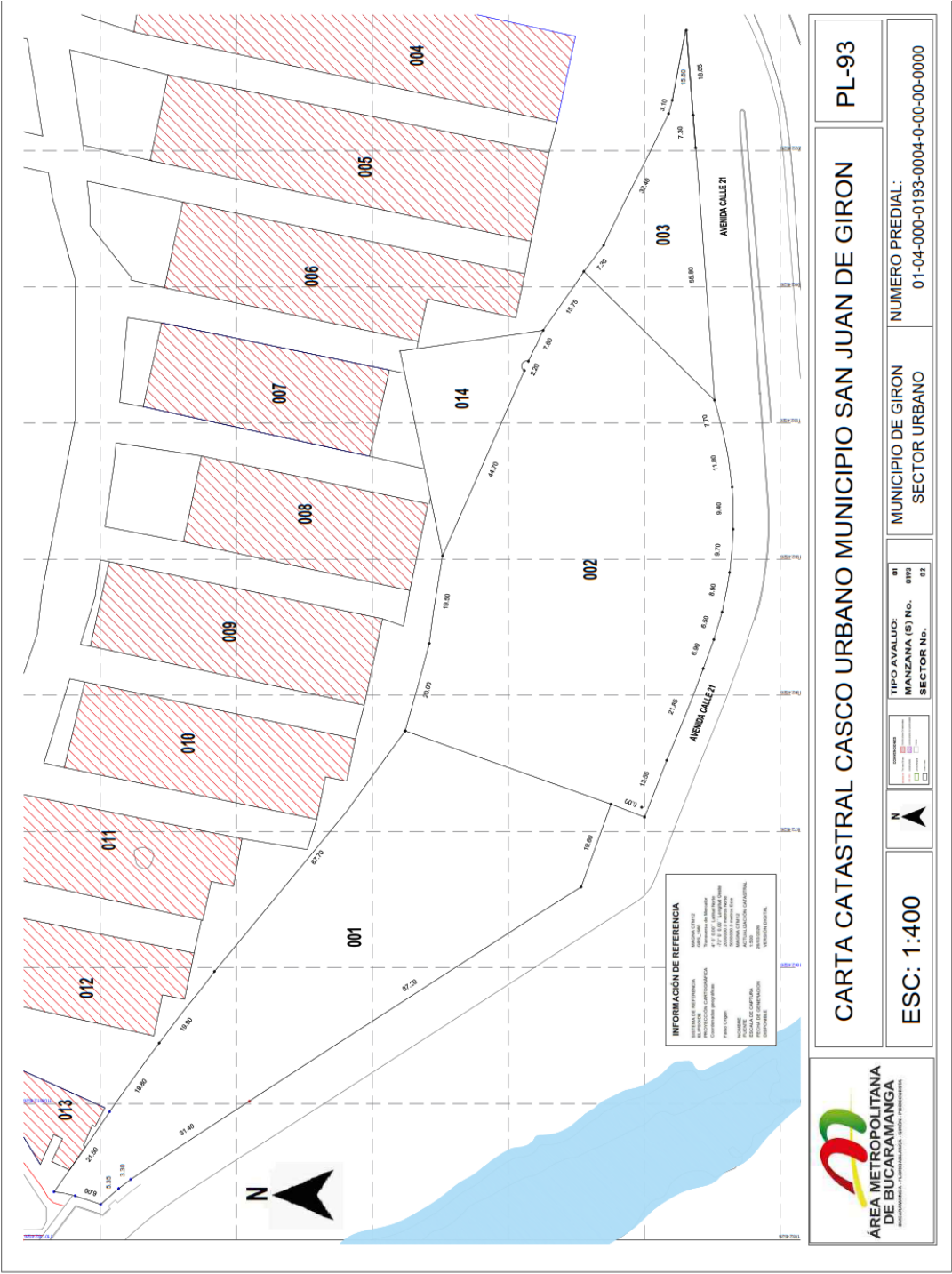
UAV Latam. (2023, 7 de marzo). *Pix4D: ¿Qué es y para qué sirve?* <https://uavlatam.com>

Ucha, F. (2022, 14 de mayo). *Definición de Planimetría*. Definición ABC. [definicionabc.com](https://definicionabc.com)

- Vargas, H. R., Lopez, J. C., & Cesti, R. A. (2025). *Metodología para la aplicación de fotogrametría con drones en levantamientos topográficos de proyectos viales: Caso proyecto “Rehabilitación y mejoramiento de la infraestructura vial Paquete 5R – Ancash, tramo 1.3”* (Trabajo de investigación de maestría). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú. Recuperado de Repositorio Académico UPC.
- Villner, J. (2021). *Instrumentación topográfica moderna: Operación, calibración y nivelación de la estación total*. Editorial Técnico Científica

Apéndices

Apéndice a. Planimetría de la carta catastral expedida por el área metropolitana de Bucaramanga





[illegible]

*Apéndice j. Foto aérea con puntos de control plataformas guía para escalar*



*Apéndice m. Tabla con puntos de control georreferenciado en datos X, Y, Z*

| Coordenadas de los puntos de control de geolocalización |              |              |             |
|---------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|
| Punto de Control                                        | Norte (Y)    | Este (X)     | Altitud (Z) |
| Ptc1                                                    | 1272797,5400 | 1100969,7050 | 670,361     |
| Ptc2                                                    | 1272834,7990 | 1100939,4580 | 669,949     |

[illegible]

Apéndice s. Planimetría levantamiento Carta Catastral y cinta métrica

