



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

RED POLIGONAL SATELITAL PARA MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL  
SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL: TAMBOPATA, PROVINCIA DE TAMBOPATA,  
MADRE DE DIOS

**Línea de investigación:**

**Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio**

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Geógrafo

**Autor**

Santivañez Huamanlazo, Julio César

**Asesora**

Aylas Humareda, María del Carmen

ORCID: 0000-0002-2063-0005

**Jurado**

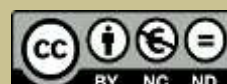
Aguirre Cordero, Rogelio

Diaz Villalobos, Carlos Alberto

Valer Silva, José Manuel

**Lima - Perú**

**2025**



# "RED POLIGONAL SATELITAL PARA MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL: TAMBOPATA, PROVINCIA DE TAMBOPATA, MADRE DE DIOS"

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>14%</b>	<b>14%</b>	<b>2%</b>	<b>1%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.unfv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.ucp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>bibliotecadigital.aecid.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>www.researchgate.net</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Natonal Institute of Technology Calicut</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>pt.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.puce.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>10</b>	<b>Ccala Quispe, Salvador Teodoro. "El conocimiento de las expresiones culturales Ese'ija por los estudiantes de la Institución Educativa Shajao de Puerto Maldonado,</b>	<b>&lt;1%</b>



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

RED POLIGONAL SATELITAL PARA MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SISTEMA  
DE DRENAJE PLUVIAL: TAMBOPATA, PROVINCIA DE TAMBOPATA, MADRE DE  
DIOS

Línea de Investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de Ingeniero Geógrafo

Autor:

Santivañez Huamanlazo, Julio César

Asesora:

Aylas Humareda, María del Carmen

ORCID: 0000-0002-2063-0005

Jurado:

Aguirre Cordero, Rogelio

Diaz Villalobos, Carlos Alberto

Valer Silva, José Manuel

Lima – Perú

2025

**DEDICATORIA**

A mi Madre Gladys, fuente de motivación e inspiración de mi vida. A mi hermano José, a mi tía Soledad, a mi tío Alex que son el gran motor para seguir creciendo y que siempre me ha brindado su apoyo y a mi papá por enseñarme la importancia de ser un profesional integro. Y nuestro señor Dios, gracias por iluminar mi camino.

## **AGRADECIMIENTO**

El presente Trabajo de SUFICIENCIA PROFESIONAL, fue el despliegue de esfuerzos de muchas personas y entidades a los cuales expreso mi gratitud por la confianza y sobre todo el apoyo brindado:

- A la Universidad Nacional Federico Villarreal y a los docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geografía, por la acogida y contribución en mi formación académica.
- A los Docentes de la FIGAE, por el criterio objetivo en la evaluación de este trabajo.
- A la empresa Acero Estudio S.A.C. por la confianza brindada y darme la oportunidad de desarrollarme como profesional.

A todos ellos, mi mayor consideración.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Trayectoria del autor .....	13
<i>1.1.1. Grado académico.....</i>	<i>13</i>
<i>1.1.2. Cualificación profesional.....</i>	<i>14</i>
<i>1.1.3. Áreas de experiencia.....</i>	<i>15</i>
<i>1.1.4. Experiencia profesional.....</i>	<i>15</i>
1.2. Descripción de la empresa Acero Estudio .....	16
<i>1.2.1. Antecedentes de la empresa.....</i>	<i>17</i>
<i>1.2.2. Valores .....</i>	<i>17</i>
<i>1.2.3. Política de seguridad y salud en el trabajo .....</i>	<i>17</i>
<i>1.2.4. Política ambiental.....</i>	<i>18</i>
<i>1.2.5. Responsabilidad social y seguridad.....</i>	<i>18</i>
1.3. Organigrama .....	18
1.4. Áreas y funciones desempeñadas.....	20
II. DESCRIPCIÓN DE LA RED POLIGONAL SATELITAL PARA MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL: TAMBOPATA, PROVINCIA DE TAMBOPATA, MADRE DE DIOS.....	21
2.1. Generalidades.....	21

2.2. Objetivos .....	21
2.2.1. <i>Objetivo general</i> .....	21
2.2.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	22
2.3. Marco normativo.....	22
2.3.1. <i>Normas nacionales</i> .....	22
2.3.2. <i>Normas internacionales</i> .....	22
2.4. Antecedentes .....	23
2.5. Conceptos.....	24
2.5.1. <i>Topografía</i> .....	24
2.5.2. <i>Poligonal satelital</i> .....	24
2.5.3. <i>Fotogrametría con Drones</i> .....	25
2.5.4. <i>Geodesia y Posicionamiento Global</i> .....	25
2.5.5. <i>Tecnología LIDAR Aerotransportada</i> .....	25
2.6. Ubicación del proyecto .....	26
2.7. Metodología y procedimiento .....	28
2.7.1. <i>Geodesia</i> .....	29
2.7.2. <i>Poligonal satelital</i> .....	33
2.7.3. <i>Nivelación</i> .....	50
2.7.4. <i>Fotogrametría/LIDAR</i> .....	54
2.7.5. <i>Levantamiento topográfico</i> .....	58
2.7.6. <i>Integración MDS y MDT</i> .....	58
2.8. Resultados .....	60

2.8.1. <i>Red Geodésica de Control</i> .....	60
2.8.2. <i>Nube de Puntos LIDAR</i> .....	63
2.8.3. <i>Productos Fotogramétricos</i> .....	64
2.8.4. <i>Integración de Información Geoespacial</i> .....	65
III. APORTES MÁS DESTACABLES A LA EMPRESA .....	67
IV. CONCLUSIONES.....	77
V. RECOMENDACIONES.....	78
VI. REFERENCIAS .....	79

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Detalles de capacitación continua – Diplomados .....	14
Tabla 2. Capacitación continua - Cursos varios.....	15
Tabla 3. Sector Tambopata Expedientes Técnicos .....	28
Tabla 4. Precisiones Red Primaria .....	67
Tabla 5. Precisiones Red BMS .....	69
Tabla 6. Precisiones Red Poligonal .....	71
Tabla 7. RMS con RTK .....	73
Tabla 8. RMSE de la red Geodésica .....	75

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Organigrama de la empresa .....	19
Figura 2. Mapa político-administrativo de la Provincia de Tambopata.....	26
Figura 3. Área de estudio (microcuencas) y área de influencia del estudio de preinversión y sector Tambopata.....	27
Figura 4. Metodología.....	29
Figura 5. Diseño Red geodésica primaria .....	30
Figura 6. Línea base Red Geodesia Primaria.....	31
Figura 7. Diseño de Red geodésica Secundaria .....	32
Figura 8. Línea base Red Geodesia Secundaria.....	33
Figura 9. Vértices de Poligonal Satelital.....	34
Figura 10. Calculo por figuras .....	37
Figura 11. Grafico de ajuste en Red Geodésica Poligonal.....	38
Figura 12. Nuevo proyecto .....	39
Figura 13. Importación de los Puntos Geodésicos.....	40
Figura 14. Puntos conocidos y Rover .....	41
Figura 15. Ephemerides Leica Infinity .....	42
Figura 16. Línea base.....	43
Figura 17. Ajuste de Red Geodésica.....	45
Figura 18. Revisión de Confiabilidad .....	46

Figura 19. Sistema de coordenadas.....	47
Figura 20. Geometría satelital.....	48
Figura 21. Ajuste poligonal.....	49
Figura 22. Ajuste de red poligonal satelital .....	50
Figura 23. Placa de apoyo.....	51
Figura 24. Distancia entre equipo y mira.....	51
Figura 25. Método de doble puesta instrumental.....	52
Figura 26. Circuitos de Nivelación .....	53
Figura 27. Ortofoto .....	55
Figura 28. Izquierda, nube de puntos densa. Derecha, nube de puntos clasificada .....	56
Figura 29. MDT LIDAR.....	57
Figura 30. MDT, Fotogrametría.....	57
Figura 31. Puntos de Levantamientos a detalle .....	58
Figura 32. MDT Integrado.....	59
Figura 33. Red Primaria.....	60
Figura 34. Red Secundaria.....	61
Figura 35. Red Poligonal Satelital .....	62
Figura 36. Nube de puntos, LIDAR.....	63
Figura 37. Reporte de calidad Pix4d.....	65

Figura 38. Planos de Ubicación, planta y secciones .....	66
Figura 39. Reporte T-Test, Chi Cuadrático 95 % .....	69

## RESUMEN

El informe técnico titulado “Red Poligonal Satelital para el Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Drenaje Pluvial: Tambopata, Provincia de Tambopata, Madre de Dios”, tiene como finalidad documentar los trabajos especializados de geodesia y topografía desarrollados como parte de los expedientes técnicos del proyecto, en cumplimiento de la Carta de Adjudicación N.º 047-2024-PNSU/UGPP-BID, otorgada al Consorcio Tambopata (CBS – Constructora Bahiana de Saneamiento – Conducto Perú S.A.C.). Este documento se centra en el diseño, ejecución y procesamiento de una Red Poligonal Satelital de aproximadamente 25 km de longitud total, distribuida en un área urbana y rural de 1,200 hectáreas. La red fue establecida mediante tecnología GNSS en modo estático y rápido-estático, con el objetivo de generar una base geodésica precisa, georreferenciada al sistema WGS84–UTM, que sirva como fuente primaria de información topográfica y de diseño. La Red Poligonal Satelital ofreció una solución eficiente y precisa, al permitir la instalación de vértices sin requerir visibilidad directa entre ellos, optimizando recursos de tiempo y personal en campo. La metodología no solo permitió superar las dificultades logísticas del terreno, sino que también garantizó una base de control geodésico sólida, indispensable para asegurar la calidad, precisión y trazabilidad de toda la información planimétrica y altimétrica del proyecto. La Red Poligonal Satelital representa un componente fundamental en la fase de diseño del sistema de drenaje pluvial, aportando precisión geométrica, respaldo técnico y cumplimiento normativo. Su correcta ejecución asegura la fiabilidad de todos los procesos posteriores de levantamiento y diseño, contribuyendo directamente al éxito técnico del proyecto y al desarrollo urbano sostenible de la ciudad de Puerto Maldonado.

*Palabras clave:* Red Poligonal Satelital, Información GNSS, Sistema de drenaje pluvial.

## ABSTRACT

The technical report entitled "Satellite Traverse Network for the Improvement and Expansion of the Storm Drainage System: Tambopata, Province of Tambopata, Madre de Dios" aims to document the specialized geodesy and topography work carried out as part of the project's technical studies, in accordance with Award Letter No. 047-2024-PNSU/UGPP-BID, granted to the Tambopata Consortium (CBS – Constructora Bahiana de Saneamiento – Conducto Perú S.A.C.). This document focuses on the design, execution, and processing of a Satellite Traverse Network approximately 25 km in total length, distributed across an urban and rural area of 1,200 hectares. The network was established using GNSS technology in static and rapid-static modes, with the purpose of generating a precise geodetic base georeferenced to the WGS84–UTM system, serving as a primary source of topographic and design information. The Satellite Traverse Network provided an efficient and precise solution by allowing the installation of vertices without requiring direct line of sight, optimizing time and field personnel resources. This methodology not only overcame the logistical challenges of the terrain but also ensured a solid geodetic control base, essential to guarantee the quality, precision, and traceability of all planimetric and altimetric project data. The Satellite Traverse Network represents a fundamental component in the storm drainage system design phase, offering geometric accuracy, technical support, and regulatory compliance. Its proper execution ensures the reliability of all subsequent survey and design processes, directly contributing to the technical success of the project and the sustainable urban development of Puerto Maldonado.

*Keywords:* Satellite Traverse Network, GNSS data, storm drainage system.

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Trayectoria del autor

Bachiller en Ingeniería Geográfica por la Universidad Nacional Federico Villarreal, con más de cuatro años de experiencia en instituciones públicas y privadas. A lo largo de su trayectoria, ha aplicado sus conocimientos en ingeniería geográfica en la gestión de proyectos, especialmente en el ámbito de la topografía, fotogrametría y consultoría BIM.

Actualmente forma parte de Acero Estudio LATAM SAC, empresa consultora especializada en servicios de topografía, fotogrametría con drones, tecnología LiDAR, escaneo láser 3D y modelado BIM. Acero Estudio brinda soluciones técnicas a los sectores de la construcción, arquitectura e ingeniería, orientadas al desarrollo de proyectos constructivos seguros, sostenibles y con bajo nivel de riesgo.

Entre los principales servicios ofrecidos por la empresa destacan: Levantamientos topográficos, Topografía y fotogrametría con drones, Escaneo láser 3D (LIDAR), Consultoría y modelado BIM.

Se muestra una descripción sobre sus estudios y grado académico, estudios de postgrado y cualificación profesional del autor.

### *1.1.1. Grado académico*

El consejo universitario con fecha 31 de enero del año 2022, otorga el diploma de Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Geográfica y se encuentra en el libro 168, folio 13 y en el registro N° 128003; de la oficina de grados y títulos de la secretaría general de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

### ***1.1.2. Cualificación profesional***

El autor cuenta con una cualificación profesional desde el año 2018, sin embargo; para el presente informe suman un total de 754 horas lectivas. A continuación, se muestra el detalle de cada capacitación que llevó el autor desde el año 2018 hasta la actualidad.

El autor ha complementado su formación profesional mediante la participación en cursos, foros y seminarios sobre ofimática, Excel empresarial, AutoCAD, Drones, ArcGIS, Procesamientos geodésicos, Fotogrametría y Sensores Lidar. Además, ha recibido capacitación con enfoque técnico y legal sobre el procedimiento de inscripción de predios, así como en Seguridad y Salud en el Trabajo. Destaca también la culminación de un diplomado en Gestión de Proyectos. En conjunto, estas actividades académicas suman un total de 100 horas lectivas (ver Tabla 1).

**Tabla 1**

*Detalles de capacitación continua – Diplomados*

<b>Año</b>	<b>Título</b>	<b>Organizado</b>	<b>Horas lectivas</b>
2024	Gestion de proyectos	INGENIUM	59
2024	Supervisor de trabajos de alto riesgo	INDUCA	280
2024	Supervisor SSOMA	INDUCA	280
2024	Seguridad y salud en el trabajo (SST)	INDUCA	280
2023	Especialista en Excel	IDAT	72
Totales de horas lectivas			971

El autor, desde el año 2019 hasta la fecha llevó una relación de cursos que hacen un total de 654 horas lectivas, los cuales les permitieron estar actualizado en los diferentes temas. (ver Tabla 2).

**Tabla 2***Capacitación continua - Cursos varios*

<b>Año</b>	<b>Título</b>	<b>Organizado</b>	<b>Horas Lectivas</b>
2024	Configuración, manejo y pruebas de vuelo en los modelos Industriales DJI Mavic 3 Enterprise, Matrice 30 Enterprise y Matrice 350 RTK	DATACONT	10
2020	Fotogrametría con rpas phantom4 rtk pro y ebeesensefly procesamiento en agisoft photoscan y pix4d	LINELCON SAC	60
2020	Curso de Topografía aplicada a Líneas de Transmisión eléctrica	LINELCON SAC	16
2019	Especialista en fotogrametría con drones	MASTERGIS	180
2019	Programa de instrucción y entrenamiento de piloto remoto RPAS	CENTRO DE INSTRUCCIÓN AERONÁUTICA CIVIL CIAC	72
Totales de horas lectivas			338

### ***1.1.3. Áreas de experiencia***

El autor, gracias a la experiencia adquirida, está capacitado para desempeñarse en diversas áreas especializadas, incluyendo servicios de topografía, cálculo geodésico y control vertical, así como fotogrametría con drones. También cuenta con habilidades en el procesamiento de datos LiDAR y en el manejo de tecnología de escaneo láser 3D. Además, ofrece servicios en CAD Civil 3D y posee amplias competencias en planificación y gestión de proyectos.

### ***1.1.4. Experiencia profesional***

En la experiencia profesional del autor inició en el año 2018, fecha en que viene combinando sus conocimientos en Ingeniería geográfica en la incorporación y/o actualización de

la información técnica que remiten las entidades públicas y privadas Acero Estudio, especialistas en: Empresa de Topografía. Se detalla brevemente la experiencia profesional del autor:

- Realizo representación geográfica de datos a un nivel superior a través de nuestro servicio de fotogrametría con drones. Con el uso de esta tecnología nos permitimos crear mapas digitales con información detallada, precisa y personalizada que se adapta a las necesidades específica de cada proyecto.
- Identificar y evaluar los documentos técnicos como: planos perimétricos, memorias descriptivas, referencias geográficas (coordenadas), y otros documentos relacionados a la identificación del ámbito territorial.
- Además los servicios de fotogrametría aérea complementa con la combinación de conocimiento y experiencia de nuestro equipo con proveer datos generando soluciones medidos para la toma de decisiones, que minimicen los costos de construcción.
- Estudios de Restitución digital urbana/rural que han Permitido la creación de representaciones digitales de áreas urbanas y rurales, facilitando la planificación y el desarrollo de proyectos.
- Elaboración de modelos digitales de terreno (MDT): Modelos digitales de terreno que ofrecen información esencial sobre la topografía y la elevación del terreno, esencial en proyectos de construcción y gestión del territorio.

## **1.2. Descripción de la empresa Acero Estudio**

Acero Estudio es una empresa española especializada en servicios técnicos avanzados para los sectores de ingeniería, arquitectura y construcción.

### ***1.2.1. Antecedentes de la empresa***

Acero Estudio es una empresa fundada en 1998 en Valencia, España, que inició sus actividades en delineación, diseño gráfico y desarrollo de aplicaciones informáticas. En 2002 amplió sus servicios incorporando la topografía, la compañía ha expandido su presencia internacional en Latinoamérica, incluyendo una oficina en Lima, Perú. Consolidándose actualmente como una firma especializada en escaneo láser 3D, fotogrametría con drones, consultorías BIM y servicios topográficos de alta precisión.

Su principal valor radica en identificar y asumir las necesidades del cliente como propias, ofreciendo soluciones personalizadas alineadas a sus objetivos. Cuenta con un equipo humano altamente calificado y con tecnología de vanguardia, lo que le permite afrontar proyectos complejos con eficacia y obtener un alto grado de fidelidad por parte de sus clientes.

Con más de 40 colaboradores en sus instalaciones, Acero Estudio fomenta un entorno de trabajo colaborativo, impulsando el crecimiento sostenido de la empresa en el sector de la construcción e ingeniería.

### ***1.2.2. Valores***

Acero Estudio, empresa especializada en topografía, basa su actuación en valores fundamentales e irrenunciables que guían cada uno de sus proyectos: identificación con el cliente, ética, profesionalismo, compromiso, responsabilidad, neutralidad y transparencia.

### ***1.2.3. Política de seguridad y salud en el trabajo***

Acero Estudio, empresa de topografía, está comprometida con brindar a sus trabajadores un entorno laboral seguro y saludable, promoviendo además la educación en el cuidado del medio

ambiente. Este compromiso se refleja en sus políticas claras y en la inclusión de planes de seguridad y salud en todos los niveles de la organización y en cada uno de sus proyectos.

#### ***1.2.4. Política ambiental***

Acero Estudio, empresa de topografía, Como política es dar cumplimiento a las medidas de protección ambiental establecidas por las normas (leyes, reglamentos, resoluciones, guías y otros) de los diferentes sectores.

#### ***1.2.5. Responsabilidad social y seguridad***

Acero Estudio, empresa de topografía, asume una firme responsabilidad ambiental, social y en materia de seguridad, integrando estos principios en sus instrumentos de gestión y cumplimiento normativo. Para ello, proporciona los recursos humanos, materiales y técnicos necesarios. Además, colabora únicamente con proveedores y subcontratistas que comparten sus valores y políticas.

Entre sus principales acciones destacan:

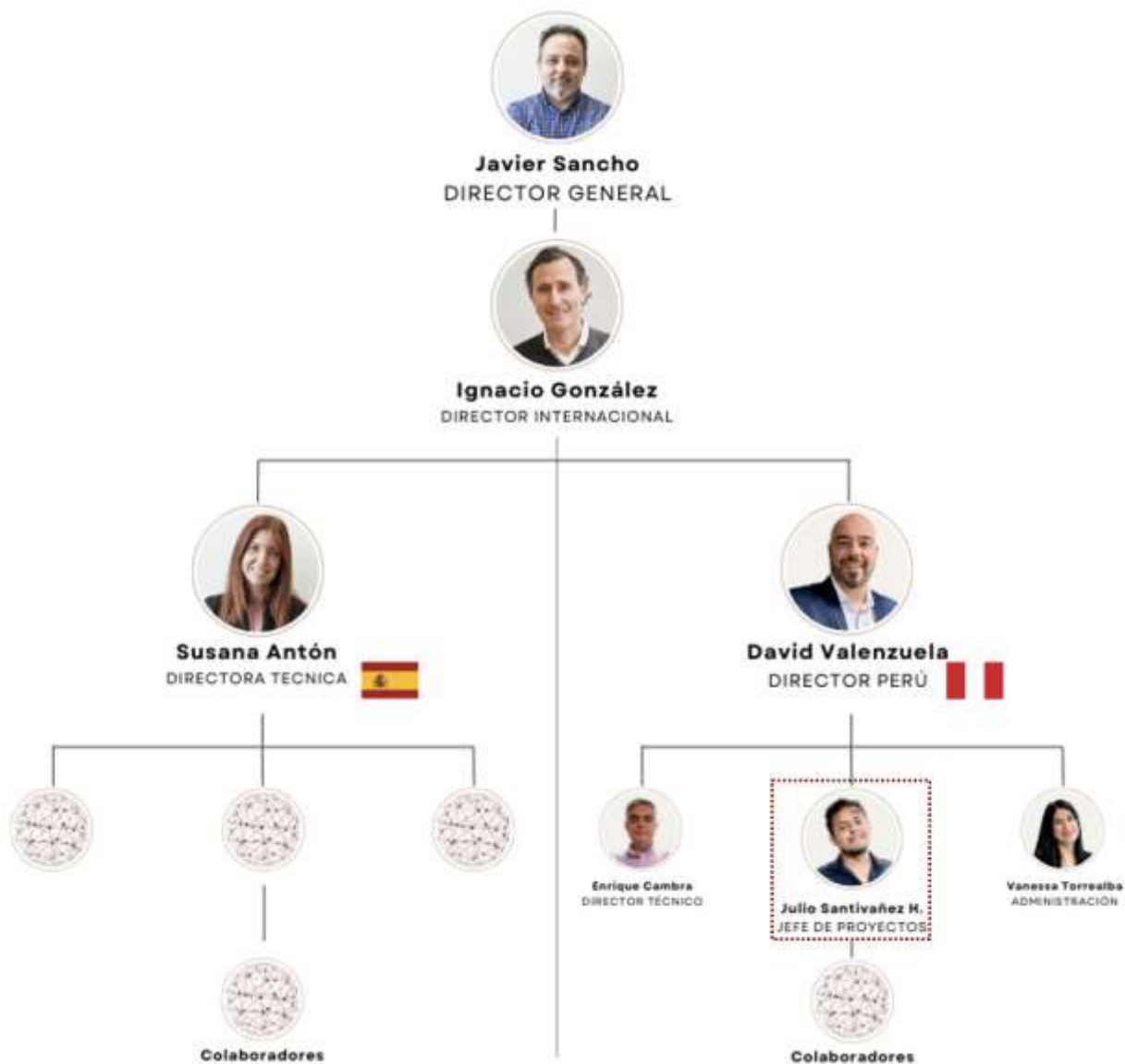
- Promoción de temas de Seguridad y Salud en el Trabajo para mejorar el clima laboral.
- Sensibilización del personal sobre posturas ergonómicas.
- Capacitación continua en riesgos laborales y medidas de prevención.

### **1.3. Organigrama**

Cuenta con un equipo de aproximadamente 40 empleados y colaboradores altamente calificados, comprometidos con brindar servicios profesionales de excelencia.

Figura 1

Organigrama de la empresa



*«Ninguno de nosotros es tan bueno como todos nosotros juntos»*

Nota. Elaborado a partir de la información de Acero Estudio LATAM.

#### 1.4. Áreas y funciones desempeñadas

El autor inició su labor en Acero Estudio, empresa de topografía, en marzo de 2018, especializándose en fotogrametría y proyectos con tecnología HDS (Escaneo Láser 3D). A lo largo de su trayectoria, ha participado en diversos proyectos especializados para los sectores de construcción e ingeniería, aplicando conocimientos avanzados y tecnologías de vanguardia. Entre sus principales funciones se incluyen:

- Soporte en la planificación y ejecución de proyectos de fotogrametría.
- Dirección y soporte en levantamientos topográficos, obras de arte y batimetría.
- Planificación y coordinación integral de levantamientos topográficos en cuencas y sistemas de drenaje pluvial.
- Estudios topográficos de alta precisión que incluyen levantamientos poligonales, nivelación geométrica y geodesia, minimizando riesgos y optimizando procesos en construcción e ingeniería.
- Creación de mapas digitales detallados mediante fotogrametría con drones.
- Elaboración de modelos digitales de terreno (MDT) y estudios de restitución digital urbana y rural.

Actualmente, el autor desempeña el cargo de Jefe de Proyectos, liderando y desarrollando múltiples proyectos, garantizando el cumplimiento de objetivos técnicos y administrativos, así como la coordinación efectiva de los equipos involucrados.

## **II. DESCRIPCIÓN DE LA RED POLIGONAL SATELITAL PARA MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL: TAMBOPATA, PROVINCIA DE TAMBOPATA, MADRE DE DIOS**

### **2.1. Generalidades**

El distrito de Tambopata, ubicado en Madre de Dios, enfrenta serias deficiencias en su infraestructura de drenaje pluvial, lo que genera inundaciones frecuentes en zonas urbanas debido a lluvias intensas. Esta problemática se ve agravada por la falta de cartografía actualizada, información topográfica precisa y un inventario técnico de los elementos del sistema de drenaje existentes. Ante esta situación, se propone realizar un levantamiento topográfico, geodésico, una red poligonal satelital y un inventario georreferenciado de los componentes pluviales a partir de tecnologías modernas, con el fin de diseñar soluciones sostenibles que mejoren la gestión de las aguas pluviales. Esta intervención permitirá reducir riesgos de inundación y mejorar la calidad de vida de la población, en concordancia con los lineamientos técnicos del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014).

### **2.2. Objetivos**

#### ***2.2.1. Objetivo general***

Desarrollar un levantamiento topográfico integral y elaborar un inventario técnico georreferenciado de los componentes del sistema de drenaje pluvial en el distrito de Tambopata, mediante la implementación de una red poligonal satelital y el uso de tecnologías geoespaciales modernas, con el fin de generar información precisa y confiable que contribuya al diseño de soluciones sostenibles para la gestión de aguas pluviales, en cumplimiento con la Política Ambiental del BID – OP-703.

### **2.2.2. Objetivos específicos**

- Diseñar y ejecutar una red poligonal satelital de alta precisión para sustentar el levantamiento topográfico y el diseño de ingeniería.
- Generar productos geospaciales de alta resolución (MDT, MDS y ortofotos) mediante vuelos fotogramétricos y tecnología LiDAR.
- Integrar tecnologías topográficas convencionales y modernas para elaborar un inventario georreferenciado del sistema de drenaje pluvial.

### **2.3. Marco normativo**

El presente estudio se encuentra en un conjunto de normas técnicas, legales y ambientales de cumplimiento obligatorio, tanto a nivel nacional como internacional, con el fin de garantizar la calidad, la sostenibilidad y la viabilidad del proyecto de levantamiento topográfico e inventario de drenaje pluvial en el distrito de Tambopata.

#### **2.3.1. Normas nacionales**

- Resolución Jefatural N.º 147-2016-IGN/J – Normas Técnicas de Geodesia y Cartografía del IGN.
- Directrices para el uso de drones en trabajos de fotogrametría y LIDAR (DGAC - MTC).
- Manual Técnico para el Diseño de Sistemas de Drenaje Pluvial Urbano (MVCS, 2014).

#### **2.3.2. Normas internacionales**

- Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección (ISPRS).

- Política de Medio Ambiente y Cumplimiento de Salvaguardas del Banco Interamericano de Desarrollo – OP-703.
- Normas ISO 19115 e ISO 19157.

#### **2.4. Antecedentes**

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) es responsable de formular, dirigir y supervisar las políticas nacionales en saneamiento. En 2007 se creó el Programa Agua para Todos, que en 2012 pasó a denominarse Programa Nacional de Saneamiento Urbano (PNSU), con alcance en áreas urbanas y facultado desde 2017 para intervenir en drenaje pluvial.

En 2018, mediante Ley N° 30789, se declaró de interés nacional la mejora y ampliación de servicios de agua potable, alcantarillado y drenaje pluvial en Madre de Dios. Actualmente se ejecuta el proyecto PTAR Puerto Maldonado, que mejora el sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas bajo modalidad APP.

El Informe N° 026-2021-VIVIENDA recomienda complementar este proyecto con obras de drenaje pluvial para evitar sobrecarga en la planta de tratamiento y asegurar la sostenibilidad del servicio.

En 2020, se firmó un crédito con el BID para implementar un Programa Integral de Drenaje Pluvial, y se creó la Unidad de Gestión de Programas y Proyectos BID (UGPP BID) para su ejecución.

En abril de 2021, el MVCS y la Municipalidad Provincial de Tambopata firmaron un convenio para formular y ejecutar el proyecto de mejoramiento y ampliación del drenaje pluvial en Puerto Maldonado y el Centro Poblado Mayor El Triunfo. Se acordó también la operación,

mantenimiento y sostenibilidad financiera del sistema, con la creación de una unidad de gestión en la municipalidad.

En agosto de 2021 se aprobó el Estudio de Preinversión a nivel de perfil del proyecto y en marzo de 2022 se firmó una operación de crédito para su ejecución. Por ello, se requiere contratar consultoría para elaborar el Expediente Técnico del proyecto de drenaje pluvial en Puerto Maldonado y C.P. Mayor El Triunfo, con código único de inversión (CUI) 2519940.

## **2.5. Conceptos**

Para facilitar el desarrollo y la comprensión del presente informe, es esencial definir previamente los siguientes términos:

### ***2.5.1. Topografía***

La topografía es una disciplina de la ingeniería geográfica que se encarga de estudiar y representar detalladamente la superficie terrestre, identificando sus formas naturales y artificiales. Utiliza métodos directos e indirectos de medición para establecer posiciones relativas y absolutas de puntos en el terreno, siendo esencial para obras de ingeniería, planificación territorial y estudios geodésicos (Chávez, 2011).

### ***2.5.2. Poligonal satelital***

Una poligonal satelital es una red de puntos establecidos mediante tecnología GNSS, permitiendo el control horizontal y vertical del levantamiento topográfico. Estos puntos se ajustan a un sistema geodésico de referencia y proporcionan exactitud espacial para proyectos a gran escala. La implementación de estas redes es indispensable en áreas urbanas, rurales o de difícil acceso (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2020).

### ***2.5.3. Fotogrametría con Drones***

La fotogrametría es una técnica de teledetección que permite la obtención de información geométrica a partir de fotografías aéreas. Cuando se emplea con drones, esta técnica permite capturar imágenes de alta resolución que, procesadas mediante software especializado, generan modelos digitales de superficie (MDS), ortomosaicos y nubes de puntos. Esta metodología se caracteriza por su eficiencia, cobertura rápida y bajo costo operativo en comparación con métodos tradicionales (Colomina & Molina, 2014).

### ***2.5.4. Geodesia y Posicionamiento Global***

La geodesia se encarga de medir y representar la Tierra, su forma, dimensiones y campo gravitacional. A través de sistemas de referencia globales, como el WGS 84, se establecen redes geodésicas que permiten el posicionamiento preciso mediante tecnologías GNSS. Esta precisión es fundamental para proyectos de infraestructura, monitoreo de deformaciones y estudios geodinámicos (Ghilani & Wolf, 2012).

### ***2.5.5. Tecnología LIDAR Aerotransportada***

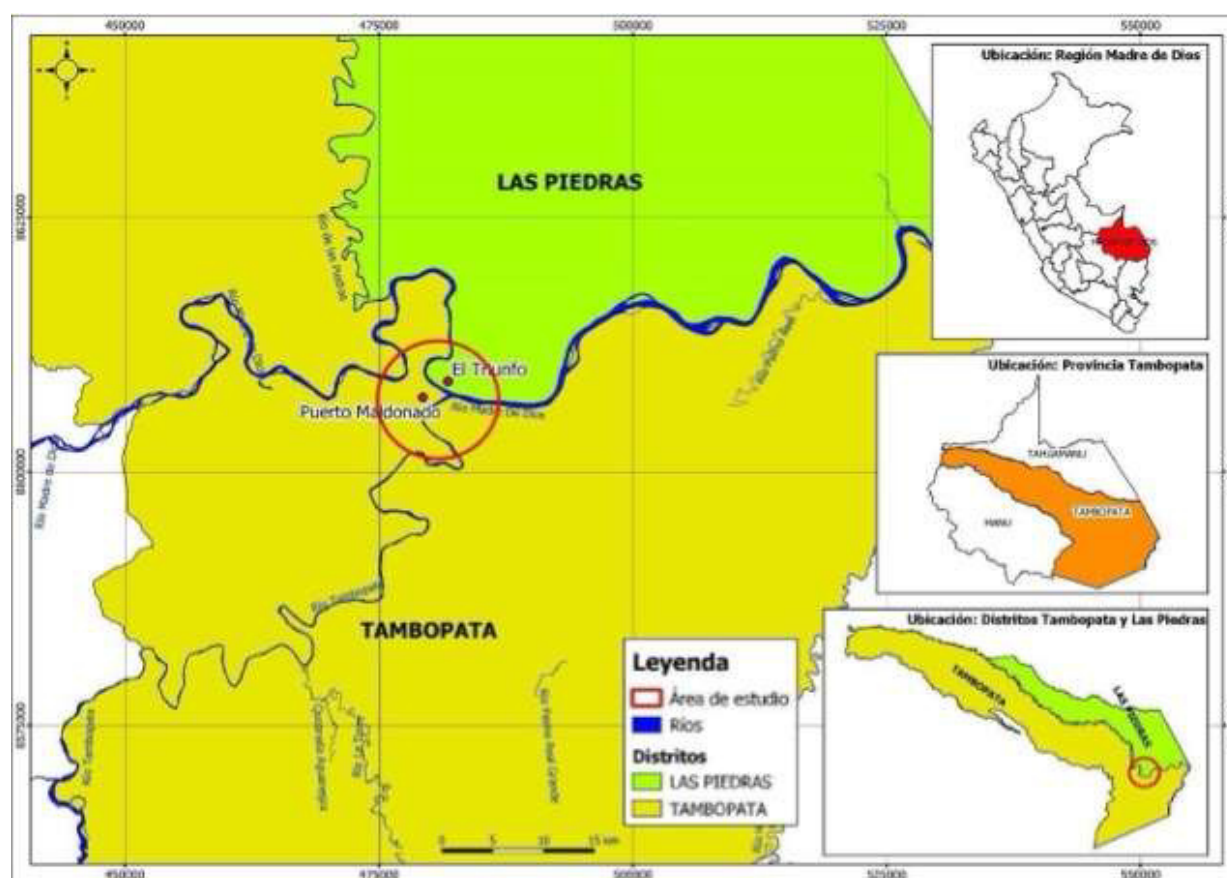
El LIDAR (Light Detection and Ranging) es una tecnología activa que utiliza pulsos láser para medir distancias desde una plataforma aérea hacia el terreno. Los drones equipados con sensores LIDAR permiten adquirir datos tridimensionales del terreno con alta densidad y precisión, incluso bajo cobertura vegetal. Esta información se utiliza para generar Modelos Digitales del Terreno (MDT), Modelos Digitales de Superficie (MDS) y análisis morfométricos. El LIDAR es especialmente valioso en zonas con vegetación densa o terrenos accidentados donde la fotogrametría tiene limitaciones (Shan & Toth, 2018).

## 2.6. Ubicación del proyecto

El sector Tambopata se encuentra dentro de la ciudad de Puerto Maldonado, en el distrito y provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. Su ubicación geográfica corresponde a las coordenadas  $12.59367493^\circ$  de latitud sur y  $-69.17680284^\circ$  de longitud oeste.

### Figura 2

*Mapa político-administrativo de la Provincia de Tambopata*



*Nota.* Obtenido de AAS-PGAS (Anexo 14 estudio Preinversión).

El sector Tambopata forma parte del área de influencia de Puerto Maldonado dentro del Plan de Desarrollo Urbano 2014–2024 y del estudio de preinversión realizado en 2021, que abarca 1,920 ha. De este total, 676 ha corresponden al sector Tambopata, donde se proyectan obras en las

microcuencas 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 18. Se excluyen los sectores 2 y 3 de la microcuenca 7, ya que pertenecen al área de aporte de la microcuenca 8. Todas las microcuencas drenan hacia los ríos Madre de Dios o Tambopata.

### Figura 3

*Área de estudio (microcuencas) y área de influencia del estudio de preinversión y sector*

*Tambopata*



*Nota.* Obtenido de MVCS.

**Tabla 3***Sector Tambopata Expedientes Técnicos*

<b>N°</b>	<b>Expediente Técnico / Obra / Operación Asistida</b>	<b>Descarga</b>
1	Centro (Microcuenca 6)	Cárcava Muyuna
2	Cuartel (Microcuenca 9)	Cárcava Cuartel
3	Norte (Microcuenca 12-13-14-18-19)	Cárcava Costanera Norte
4	Puerto Tambopata (Microcuenca 7)	Puerto Tambopata, calle Ucayali
5	Balcón (Microcuenca 10-11)	Cárcava Balcón, cárcava Pioneros
6	Tropezón (Microcuenca 15)	Cárcava Tropezón

*Nota.* Obtenido de MVCS.

## **2.7. Metodología y procedimiento**

Para el levantamiento topográfico desarrollado en este estudio, se aplicó una metodología mixta que combina técnicas geodésicas, nivelación, poligonal satelital y la integración de modelos digitales de elevación obtenidos mediante vuelos con drones. Mediante los siguientes procesos:

- Geodesia
- Poligonal Satelital
- Nivelación
- Fotogrametría/LIDAR
- Levantamiento Topográfico
- Modelo digital de superficie (MDS)/ Modelo digital de terreno (MDT)

## Figura 4

### Metodología



*Nota.* Elaboración propia.

#### 2.7.1. Geodesia

Se estableció el enlace a la Red Geodésica Horizontal Oficial del Perú (REGEN) y a la Red Geodésica Peruana de Monitoreo Continuo (REGPMOC) mediante líneas base GNSS, siguiendo las especificaciones de la Resolución Jefatural N.º 139-2015/IGN/UCCN, “Especificaciones Técnicas para Posicionamiento Geodésico Estático Relativo con Receptores GNSS”.

Se realizó la toma de datos GNSS mediante el método Estático Diferencial a Postproceso, con ajuste a la Red Geodésica Geocéntrica Nacional del IGN utilizando efemérides precisas. Las observaciones se realizaron con un mínimo de 900 épocas, intervalos de 1 segundo, máscara de elevación de 10° y PDOP menor a 4. El procesamiento se efectuó con software especializado y efemérides rápidas con antigüedad mínima de 17 horas. La monumentación se ejecutó según las directrices del IGN, mediante pilares de concreto de base y tope cuadrangular de 40 cm de lado, con profundidad mínima de 60 cm, reforzados con fierros corrugados de ½” si fuera necesario. El

Punto de Control Geodésico (PCG) fue identificado con una pieza metálica de bronce. El procesamiento se realizará en líneas bases.

### Figura 5

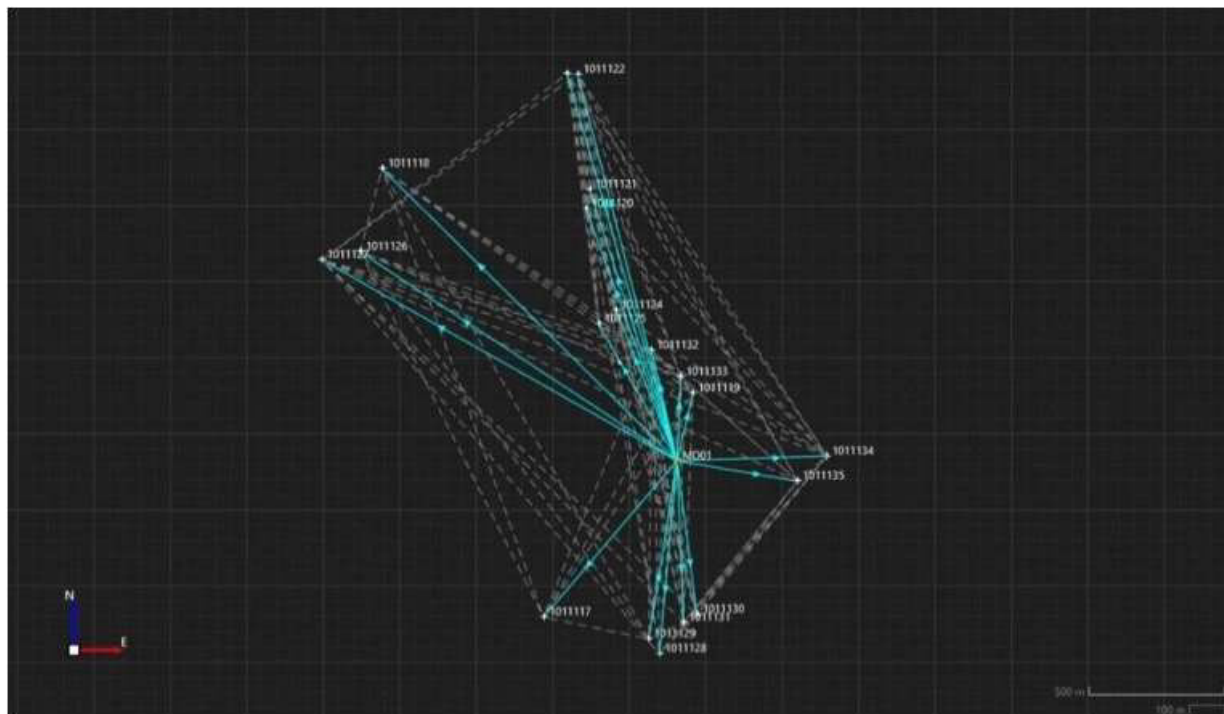
*Diseño Red geodésica primaria*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 6**

*Línea base Red Geodesia Primaria*



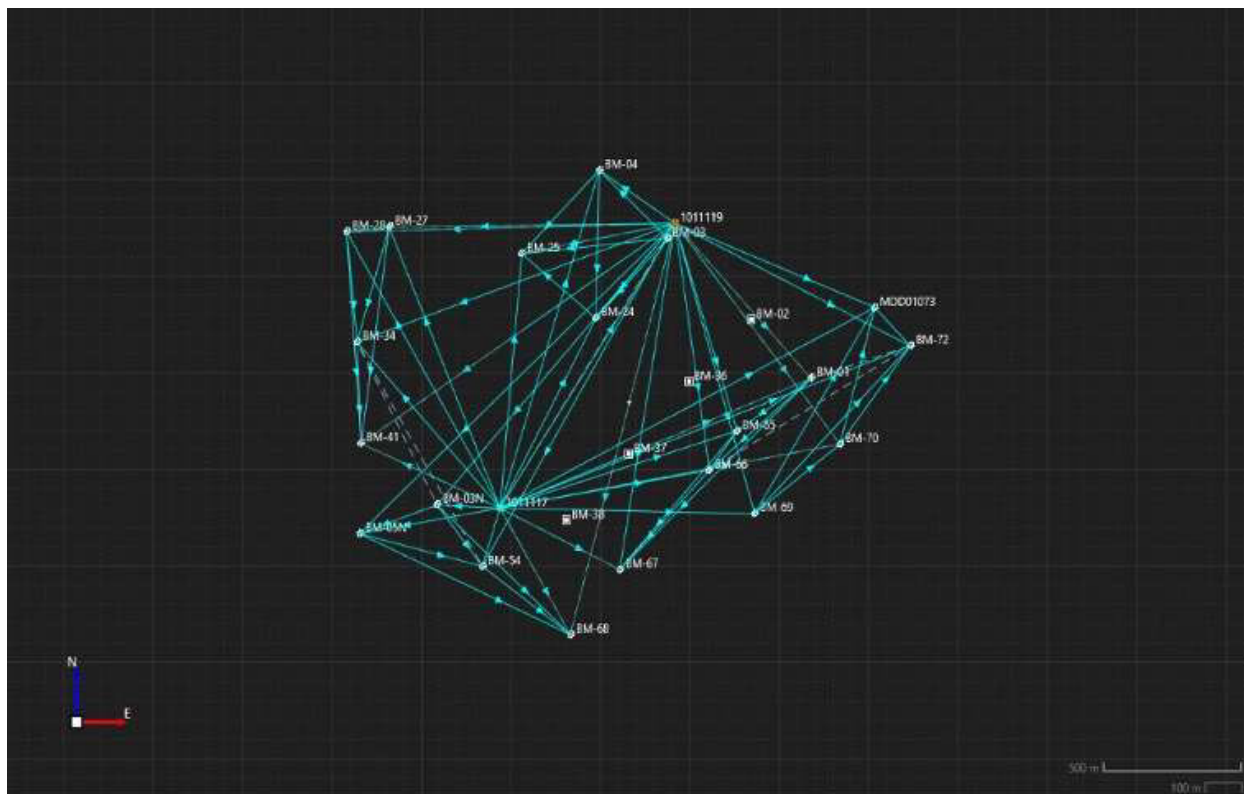
*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 7**

*Diseño de Red geodésica Secundaria*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 8***Línea base Red Geodesia Secundaria*

*Nota.* Elaboración propia.





### **2.7.2. Poligonal satelital**











Una poligonal satelital es una red de vértices ajustado y georreferenciados cuyas coordenadas se determinan mediante equipos GNSS (Global Navigation Satellite System), utilizando técnicas geodésicas como el posicionamiento estático, cinemático (RTK/PPK) u otros métodos avanzados. Esta red proporciona un marco de referencia preciso y confiable para el desarrollo de trabajos topográficos, sirviendo como base para levantamientos detallados, control de obras civiles o la generación de modelos digitales del terreno. En comparación con los métodos topográficos tradicionales, su principal ventaja radica en la alta precisión, la rapidez en la

adquisición de datos y la posibilidad de vincular directamente los resultados al sistema oficial de coordenadas del país. Se instalaron 67 vértices en campo; en la zona urbana se colocaron clavos identificados con pintura, mientras que en la zona rural se construyeron monumentos de concreto con varilla de fierro. La ubicación de los puntos fue seleccionada estratégicamente en áreas donde se proyectan obras del sistema de drenaje pluvial, garantizando su intervisibilidad y asegurando una red de referencia precisa para la orientación de los equipos topográficos durante la ejecución del proyecto.

### Figura 9

#### *Vértices de Poligonal Satelital*

Red poligonal		
V-06		
V-07		

V-10		
V-11		
V-13		
V-15		
V-18		

V-24		
V-25		
V-65		

*Nota.* Elaboración propia.

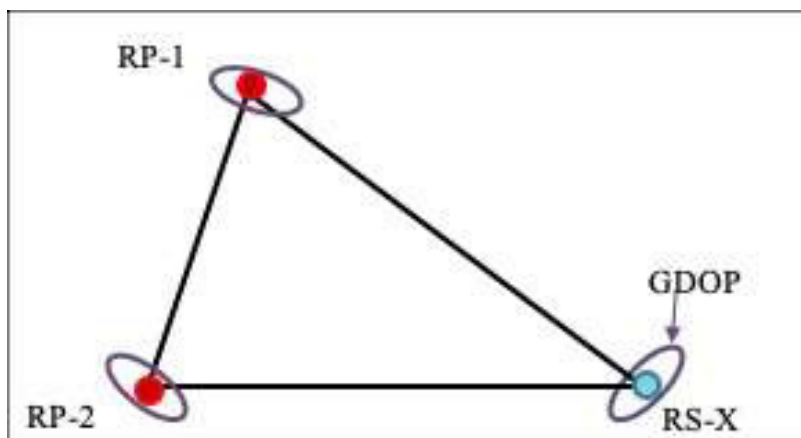
El ajuste geodésico tiene como finalidad minimizar los errores observacionales mediante el método de los mínimos cuadrados, garantizando que la red cumpla con criterios de precisión y confiabilidad. En este caso se realizó los cálculos con software Leica Infinity que permite gestionar, procesar y ajustar observaciones GNSS bajo estándares internacionales (RTCM, RINEX, etc.).

El procedimiento en campo debe ser medida en red o “figura”. Una "figura" geodésica es típicamente un polígono, como un triángulo, que se forma conectando varias estaciones

geodésicas. Al medir los ángulos y/o las distancias entre los vértices del polígono, se pueden calcular las coordenadas de nuevos puntos con relación a puntos conocidos.

### Figura 10

*Calculo por figuras*

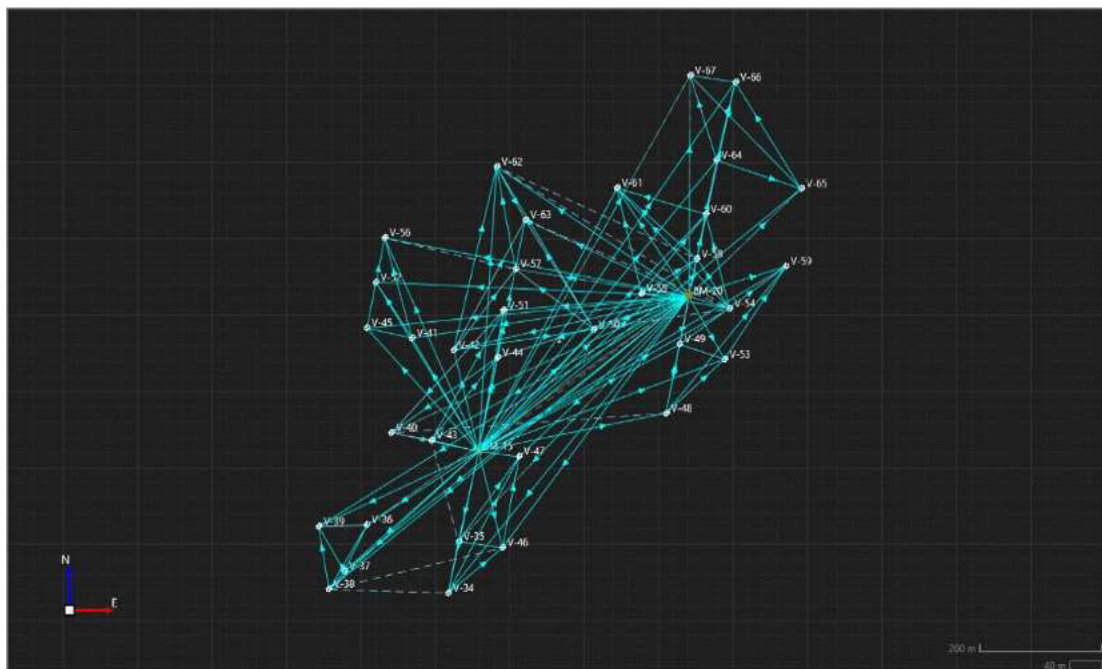


*Nota.* Elaboración propia.

Al realizar ajustes basados en figuras geodésicas puede comprometer la precisión, representada por el GDOP (Dilución Geométrica de Precisión). El GDOP es un concepto clave en sistemas de posicionamiento por satélite, como el GPS, y evalúa la calidad geométrica de los satélites en relación con un receptor. Este valor cuantifica cómo los errores en la estimación de distancias entre satélites y el receptor impactan en la precisión de la determinación de la ubicación. Un GDOP bajo indica una geometría satelital favorable y, por lo tanto, una mayor precisión, mientras que un GDOP alto señala lo contrario.

**Figura 11**

*Grafico de ajuste en Red Geodésica Poligonal*



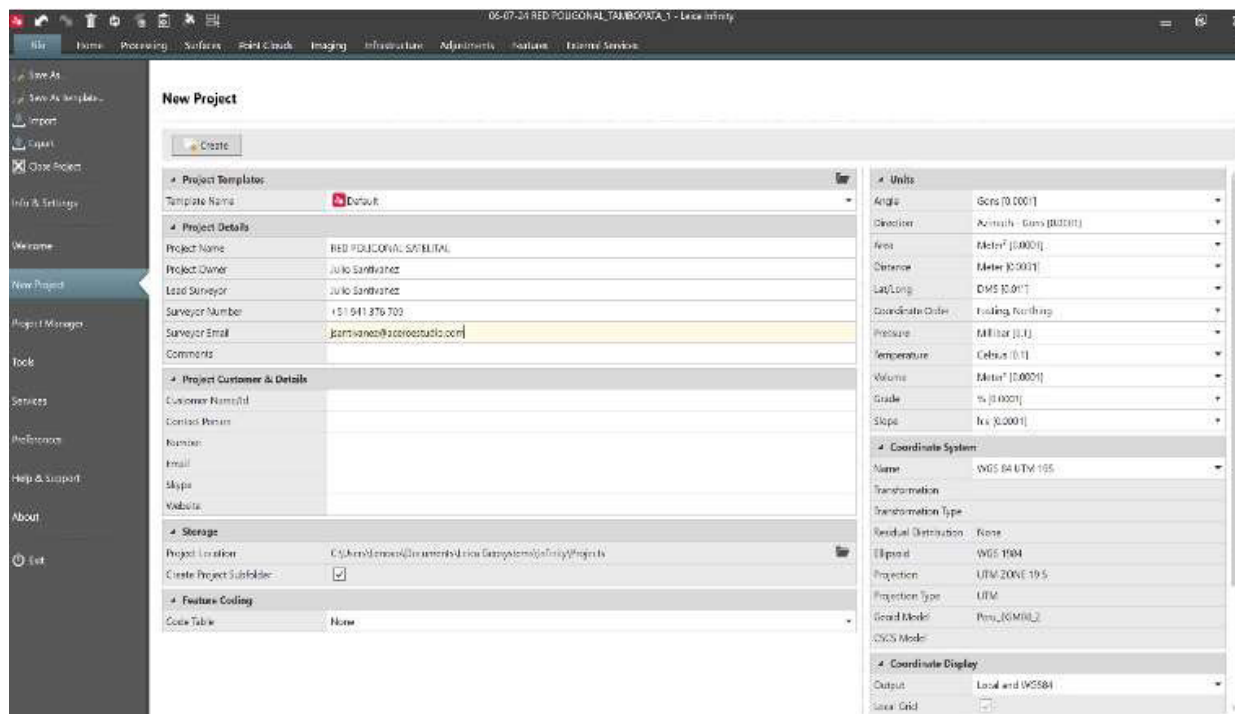
*Nota.* Elaboración propia.

### **Procedimiento**

Se inicia un nuevo proyecto de procesamiento geodésico en Leica Infinity, para lo cual es necesario definir el sistema de coordenadas adecuado. Esta configuración debe incluir la selección del sistema de referencia geodésico (datum), la zona UTM correspondiente según la ubicación del proyecto, así como el modelo de geoide que se empleará para la conversión de alturas elipsoidales a ortométricas. Una correcta definición de estos parámetros es fundamental para garantizar la coherencia y precisión de los resultados en la red geodésica.

Figura 12

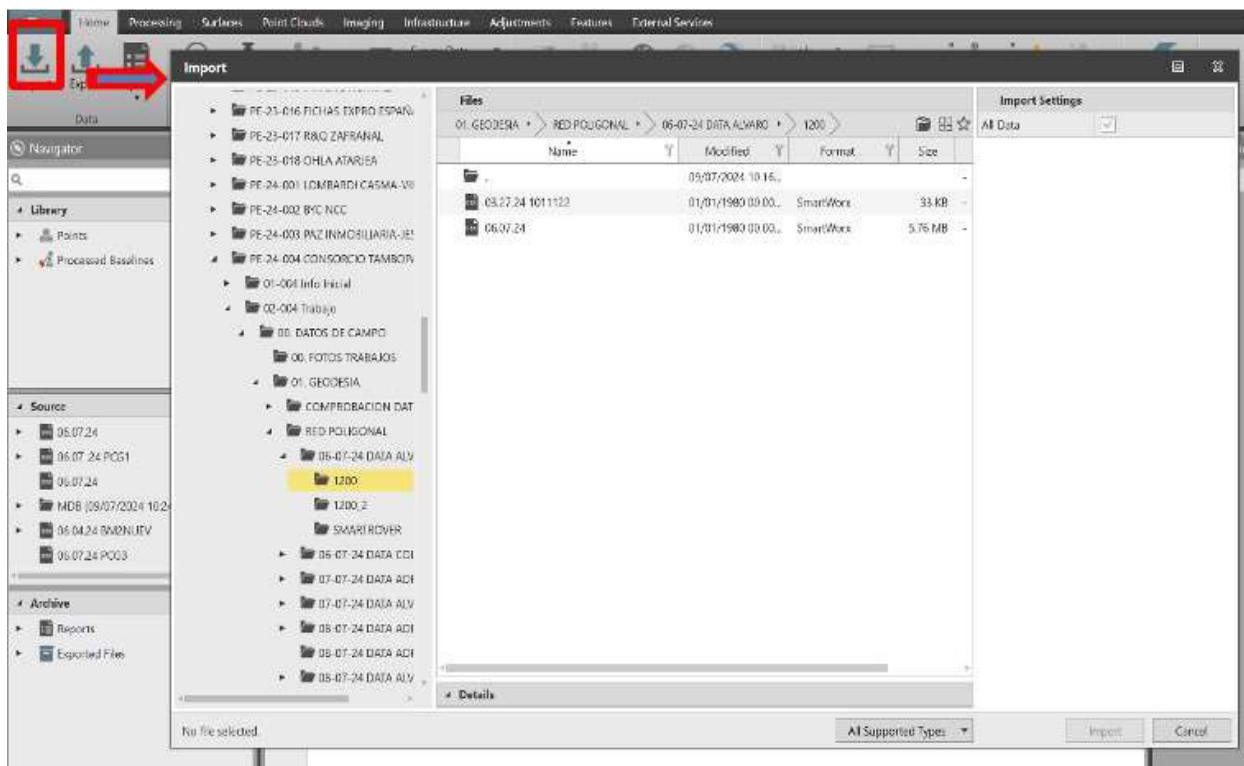
## Nuevo proyecto



*Nota.* Elaboración propia.

Luego se realiza la importación de los puntos de la red secundaria y red primaria:

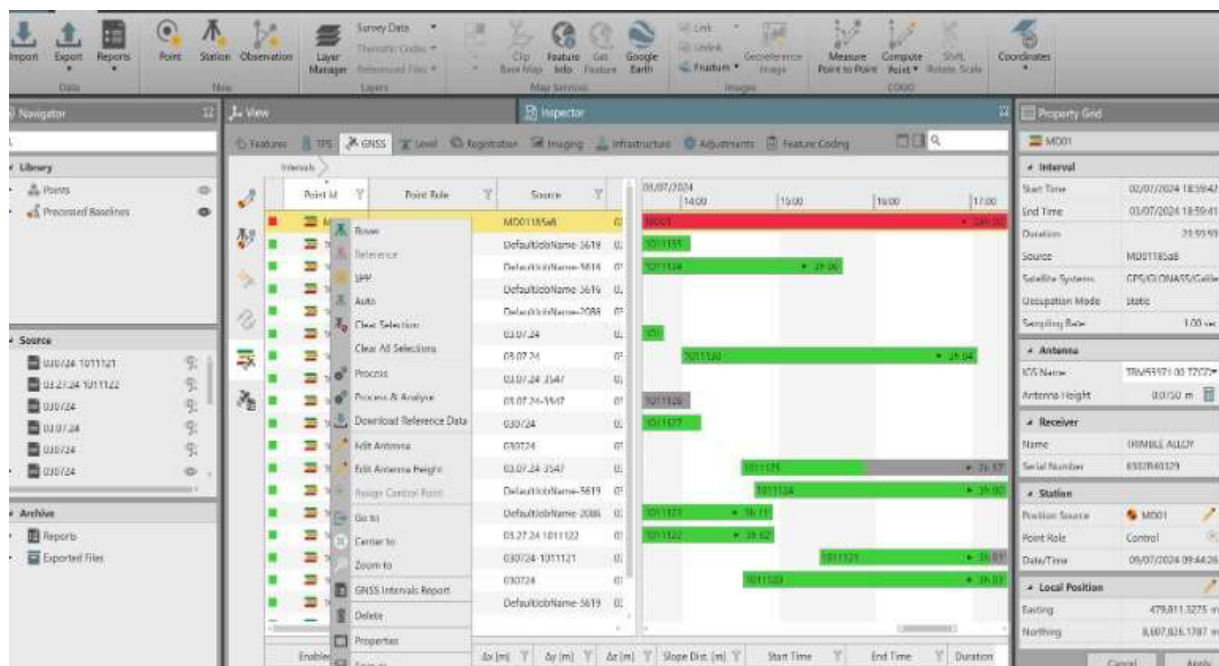
Figura 13

*Importación de los Puntos Geodésicos*

*Nota.* Elaboración propia.

Se ingresan las coordenadas conocidas del punto de partida, el cual será utilizado como punto de referencia para el procesamiento. El primer ajuste se realizará mediante el cálculo de líneas base (baseline), considerando este punto como fijo para establecer el marco de referencia de la red geodésica. Y los demás puntos geodésicos serán Rover.

Figura 14

*Puntos conocidos y Rover*

*Nota.* Elaboración propia.

En el procesamiento de observaciones GNSS dentro de entornos como Leica Infinity, la selección adecuada del tipo de efemérides es un aspecto clave que influye directamente en la precisión final del posicionamiento. Las efemérides proporcionan la información orbital de los satélites GNSS utilizada para calcular las posiciones relativas o absolutas de los receptores en tierra. Generalmente, el software permite trabajar con dos tipos principales: efemérides precisas (precise ephemerides) y efemérides broadcast.



Figura 16

Línea base

**Marcadores**

- [-] CNSS Processing Report - Summary
- [-] Baseline BM-02 - V-17
- [-] Baseline BM-37 - V-17
- [-] Baseline BM-02 - V-15
- [-] Baseline BM-37 - V-15
- [-] Baseline BM-02 - V-14
- [-] Baseline BM-37 - V-14
- [-] Baseline BM-02 - V-13
- [-] Baseline BM-37 - V-13
- [-] Baseline BM-02 - V-12
- [-] Baseline BM-37 - V-12
- [-] Baseline BM-02 - V-11
- [-] Baseline BM-37 - V-11
- [-] Baseline BM-02 - V-10
- [-] Baseline BM-37 - V-10
- [-] Baseline BM-02 - V-09
- [-] Baseline BM-37 - V-09
- [-] Baseline BM-02 - V-08
- [-] Baseline BM-37 - V-08
- [-] Baseline BM-02 - V-07
- [-] Baseline BM-37 - V-07
- [-] Baseline BM-02 - V-05
- [-] Baseline BM-37 - V-05
- [-] Baseline BM-02 - V-04
- [-] Baseline BM-37 - V-04

Leap Seconds: 18

**Results Baseline: BM-02 - V-17**

**Acquisition**

Start Time - End Time: 06/07/2024 13:24:22 - 06/07/2024 14:24:38  
 Duration: 00:00:06

**Antennas**

	Reference - BM-02	Rover - V-17
Receiver Name / SN:	LEICA GX1230 / 864810	LEICA 5014 / 205619
Antenna Name / SN:	LEICA12055 /	LEICA12055 /
Carrier Offset:	0.3600 Hz	0.3600 Hz
Height Reading:	1.1310 m	1.1800 m
Antenna Height:	1.4910 m	1.5400 m

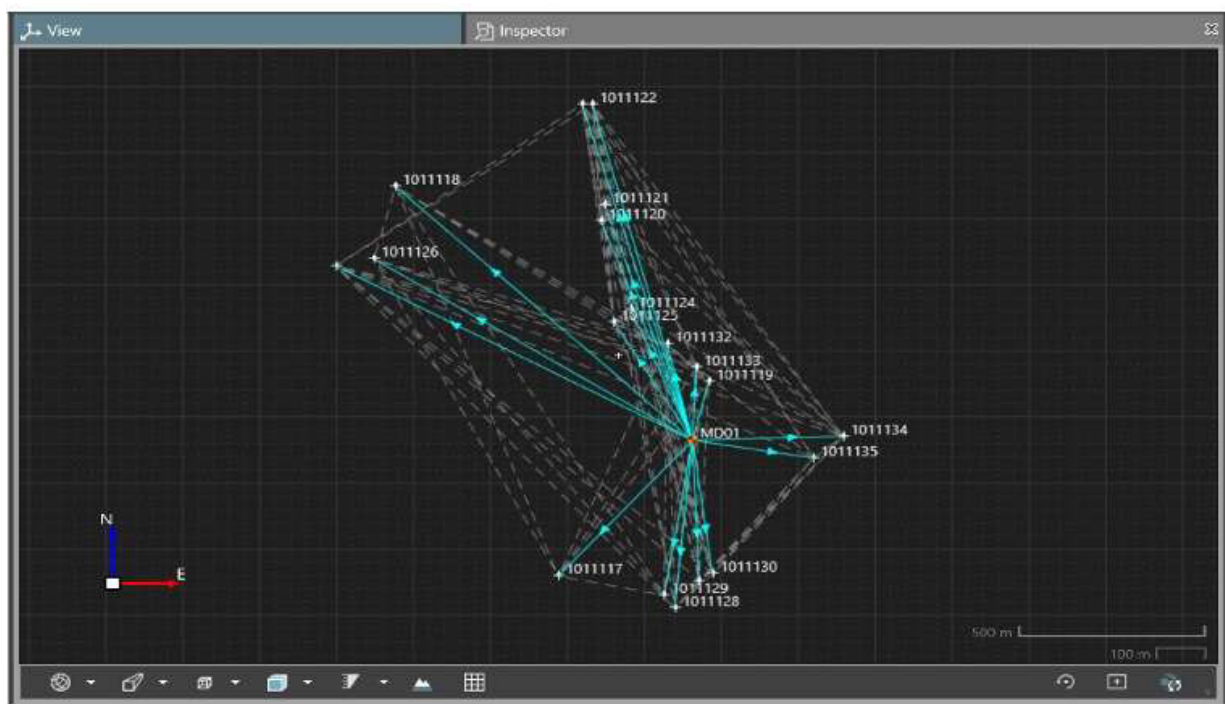
**Phase Center Offset**

GPS	Reference - LEICA12055		Rover - LEICA12055	
	L1	L2	L1	L2
East	-0.0003 m	0.0002 m	-0.0002 m	0.0000 m
North	0.0016 m	-0.0012 m	0.0002 m	0.0018 m
Up	0.0004 m	0.0021 m	0.0007 m	0.0007 m

GLONASS	Reference - BM-02		Rover - V-17	
	L1	L2	L1	L2
East	-0.0005 m	0.0002 m	-0.0002 m	0.0000 m
North	0.0016 m	-0.0012 m	-0.0002 m	0.0018 m
Up	0.0004 m	0.0021 m	0.0007 m	0.0007 m

**Coordinates**

Point Name	Reference - BM-02	Rover - V-17	Reference - BM-02	Rover - V-17
WGS84 Latitude:	12° 35' 37.815029" S	12° 35' 40.092921" S	483.336203 m	479.0012023 m
WGS84 Longitude:	69° 18' 57.686227" W	69° 18' 55.268557" W	8,007,771.0241 m	8,007,677.2339 m
WGS84 Ellip. Height:	228.3928 m	230.6685 m	197.3470 m	207.4392 m
WGS84 Proj. UTM Zone No.:	18 Q UTM Zone 18 Q	18 Q UTM Zone 18 Q		



Nota. Elaboración propia.

En el entorno de procesamiento de Leica Infinity, al disponer de dos puntos de referencia (Bench Marks - BMs) con coordenadas conocidas y utilizar los demás puntos de la red como estaciones móviles (rovers) obtenidas mediante levantamiento GNSS, es posible calcular las coordenadas de cada vértice de la red poligonal a partir de ambas bases. Esta configuración permite generar soluciones redundantes para cada punto, lo que facilita la detección de inconsistencias y errores sistemáticos en la red. Posteriormente, se procede a realizar el ajuste de la red geodésica utilizando el módulo de ajuste por mínimos cuadrados de Leica Infinity, donde se considera la calidad de las líneas base, la geometría de la red y los pesos asignados a cada observación. Este proceso permite refinar las coordenadas obtenidas, minimizar las desviaciones y garantizar la precisión y confiabilidad del modelo geodésico ajustado.

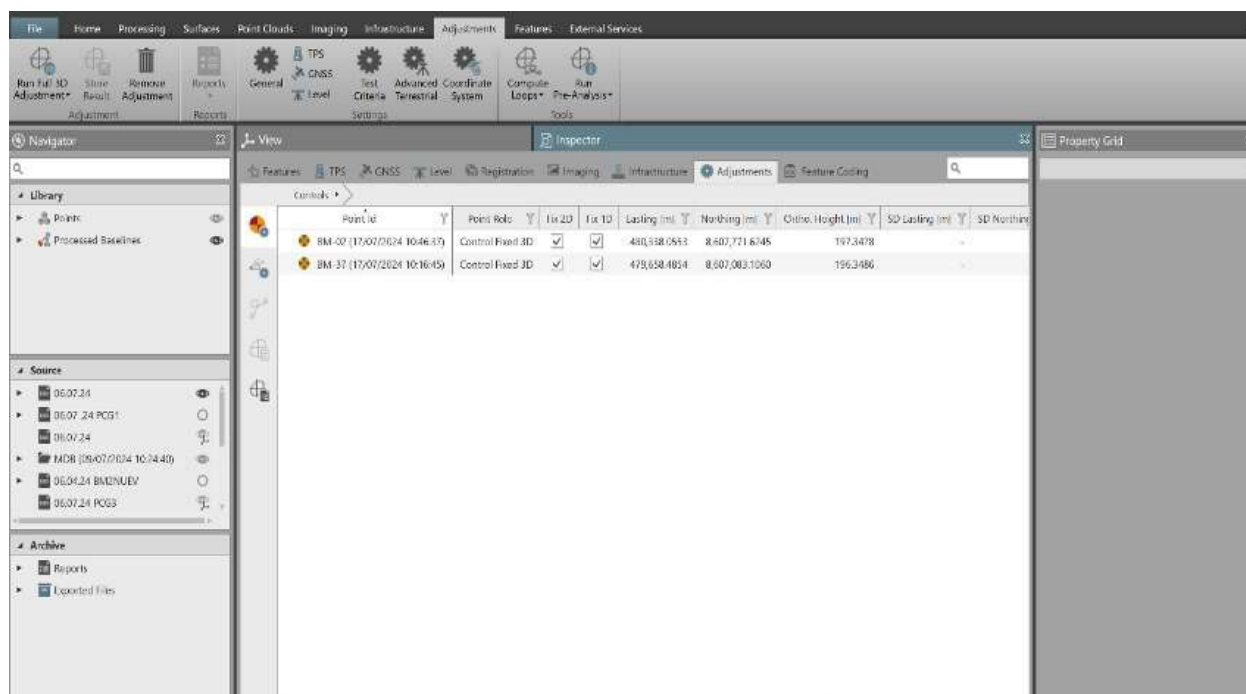
En el proceso de ajuste de redes geodésicas dentro del entorno de Leica Infinity, la aplicación de restricciones a los puntos de control es fundamental para establecer un sistema de referencia estable y preciso. Para ello, el software permite utilizar las funciones "Fix 2D" y "Fix 1D", las cuales condicionan el comportamiento de las coordenadas durante el ajuste por mínimos cuadrados:

- Fix 2D: Restringe las componentes planimétricas (Este y Norte), manteniéndolas constantes durante el ajuste. Esta opción se emplea cuando se desea preservar la posición horizontal de un punto base confiable, permitiendo que la altura sea ajustada libremente.
- Fix 1D: Restringe únicamente la componente altimétrica (Z), fijando la cota del punto y permitiendo el ajuste de las coordenadas horizontales. Es útil cuando se dispone de una altura conocida con alta precisión, proveniente de nivelación u otro método confiable.

La aplicación adecuada de estas restricciones permite que el software realice un ajuste compensado, mejorando la precisión posicional de la red y garantizando resultados coherentes con el marco de referencia definido.

**Figura 17**

*Ajuste de Red Geodésica*



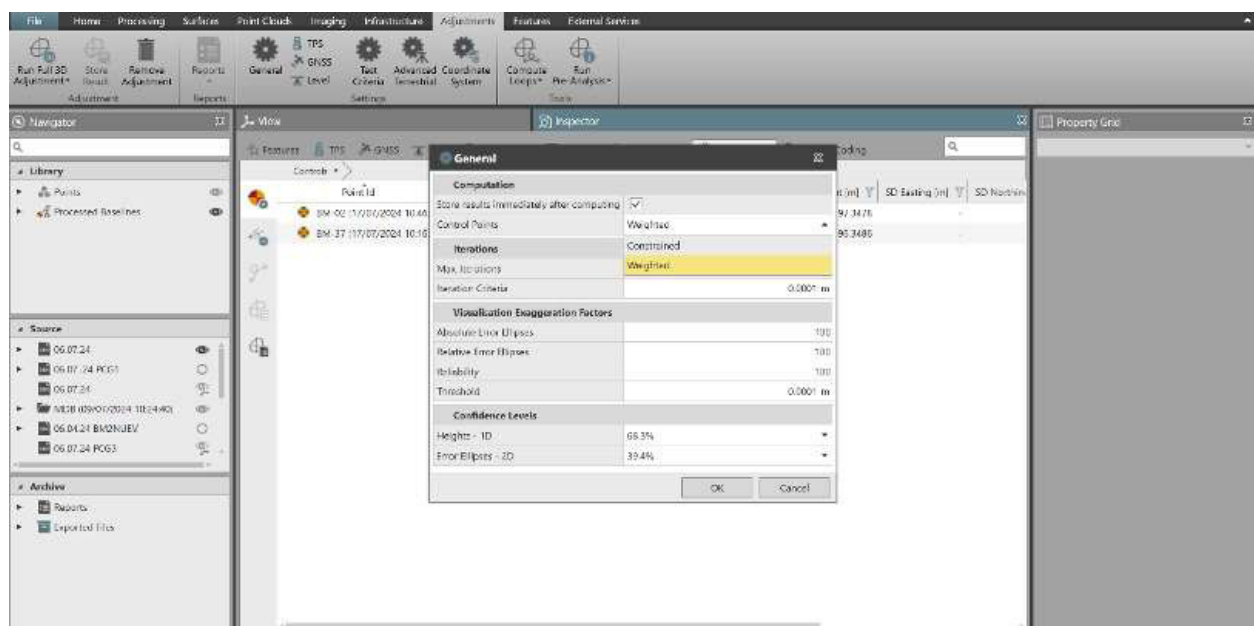
*Nota.* Elaboración propia.

En el módulo de ajuste de redes de Leica Infinity, la configuración de los puntos de control en la sección Adjustment > General > Control Points permite definir el tratamiento de sus coordenadas durante el ajuste por mínimos cuadrados, a través de las opciones Constrained y Weighted. La opción Constrained fija completamente las coordenadas del punto en una, dos o tres dimensiones (1D, 2D o 3D), impidiendo cualquier modificación durante el proceso de compensación; se utiliza cuando se cuenta con coordenadas altamente confiables, obtenidas mediante métodos de alta precisión como GNSS estático o nivelación de primer orden, y que deben

permanecer inalterables como parte del sistema de referencia. En cambio, la opción **Weighted** asigna un peso a cada punto en función de su precisión estimada, permitiendo que el software ajuste ligeramente sus coordenadas si las observaciones lo justifican, siendo adecuada cuando se dispone de coordenadas con cierto grado de incertidumbre o se desea evaluar la coherencia interna de la red sin imponer restricciones absolutas. Por lo tanto, se recomienda aplicar la opción **Constrained** a puntos base con coordenadas validadas y de alta confiabilidad, y la opción **Weighted** a puntos auxiliares o de menor precisión, donde se prioriza la flexibilidad y validación dentro del ajuste.

## Figura 18

### *Revisión de Confiabilidad*



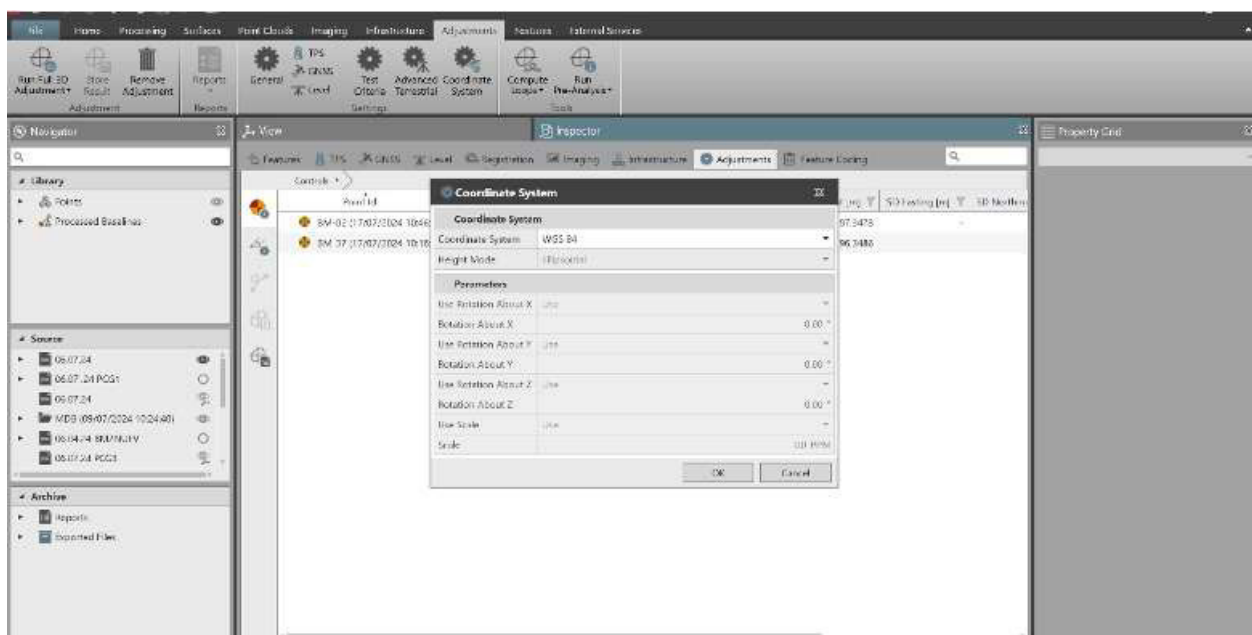
*Nota.* Elaboración propia.

Durante la creación o importación de un nuevo proyecto, se debe seleccionar cuidadosamente el sistema de coordenadas, de preferencia alineado al sistema geodésico oficial del país o región donde se realiza el levantamiento. Por ejemplo, en el caso del Perú, se emplea

comúnmente el sistema WGS 84 / UTM zona 19S junto con un modelo geoidal como el EGM 2008 o uno generado localmente por entidades como el IGN.

**Figura 19**

*Sistema de coordenadas*



*Nota.* Elaboración propia.

En el ajuste de redes GNSS dentro de Leica Infinity, el apartado GNSS Accuracy Information – A-priori permite definir las precisiones esperadas de las observaciones satelitales antes del ajuste. Estas configuraciones influyen directamente en el cálculo de la matriz de varianzas y covarianzas, afectando el peso relativo de las observaciones en el modelo de mínimos cuadrados.

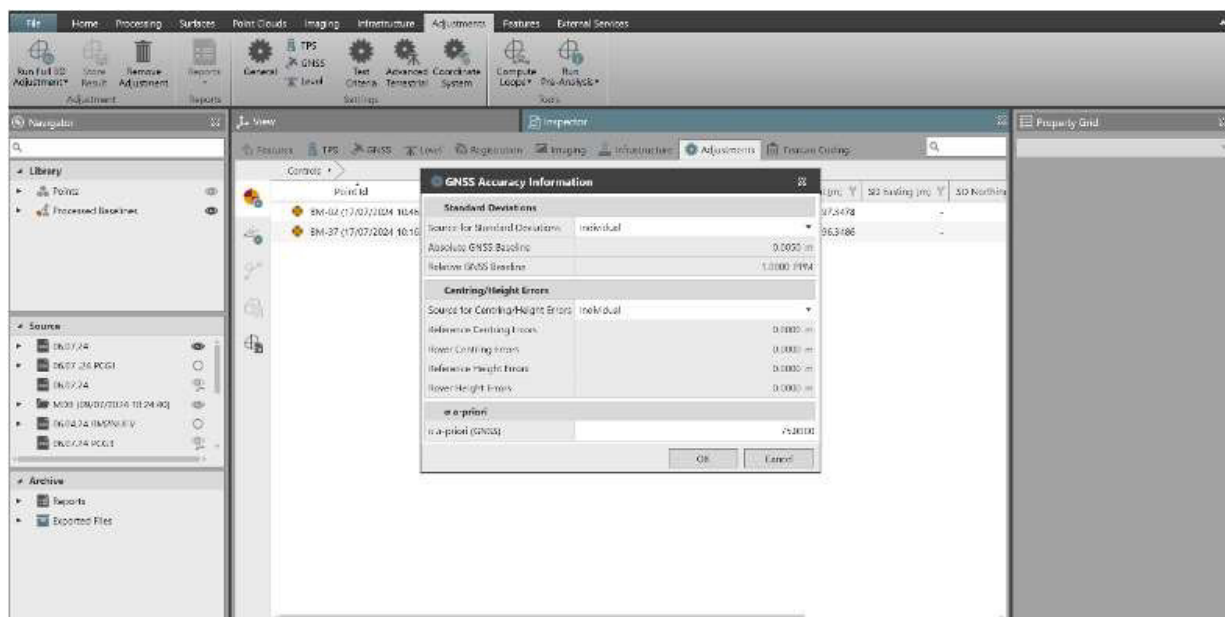
Los valores a-priori representan la estimación de incertidumbre de las observaciones (fase de portadora y código) basada en las condiciones esperadas del levantamiento: calidad de los equipos, condiciones atmosféricas, obstrucción del cielo, distancia entre estaciones y tipo de

configuración GNSS utilizada. Estos valores deben definirse de manera realista para evitar que el software sobreestime o subestime la influencia de cada línea base durante el ajuste.

El software ofrece valores por defecto (típicamente del orden de milímetros + ppm), pero es recomendable ajustarlos según la experiencia de campo o los reportes de calidad del procesamiento. Por ejemplo, para líneas base cortas con buena geometría satelital, se pueden usar valores más bajos (mayor confianza); mientras que, para líneas largas, con obstrucciones o multitrayectoria, se deben asignar mayores incertidumbres a-priori.

## Figura 20

### *Geometría satelital*



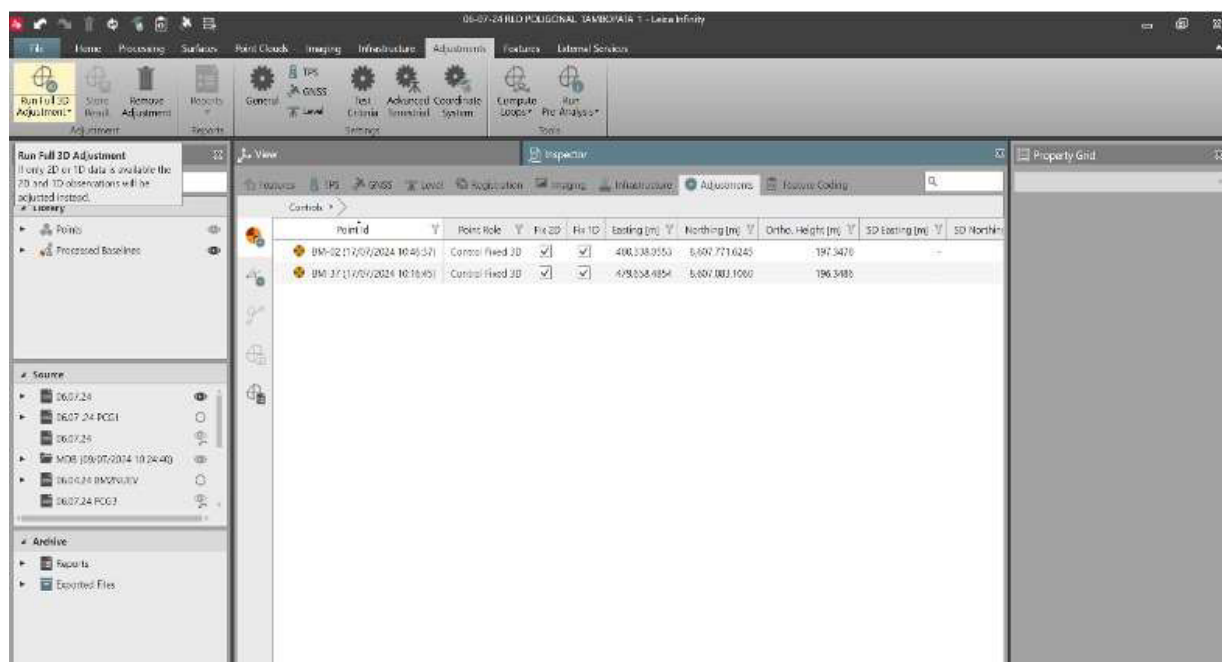
*Nota.* Elaboración propia.

Una vez configurados correctamente todos los parámetros del proyecto (puntos de control, sistema de coordenadas, efemérides, valores a-priori y observaciones GNSS procesadas), se procede a ejecutar el comando Run Full 3D Adjustment en Leica Infinity. Esta función realiza el

ajuste por mínimos cuadrados en las tres dimensiones (X, Y, Z), considerando todas las observaciones y restricciones impuestas a la red geodésica.

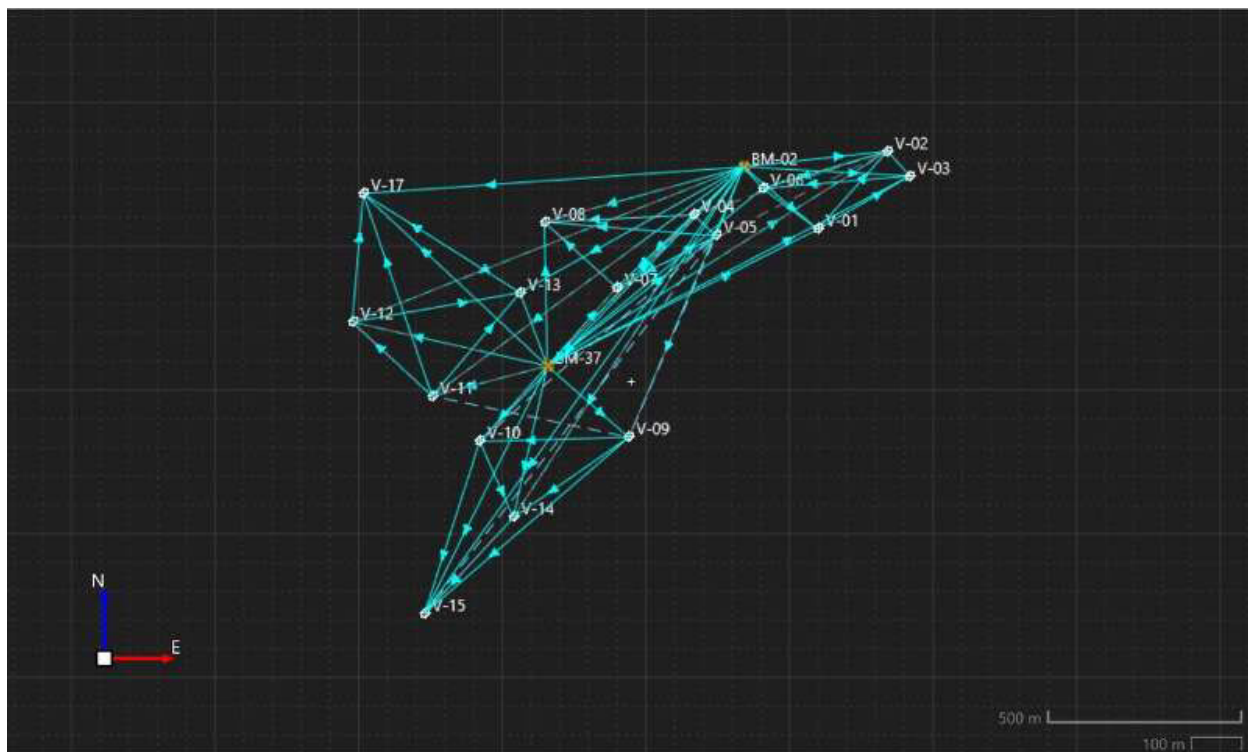
**Figura 21**

*Ajuste poligonal*



*Nota.* Elaboración propia.

Durante esta etapa, el software calcula las coordenadas ajustadas de los puntos desconocidos, compensando los errores observacionales con base en la matriz de pesos definida por los valores de precisión a-priori. También genera un informe estadístico detallado que incluye los residuos, la tensión de las líneas base, el ajuste interno de la red, y los valores de redundancia y precisión posterior de cada punto.

**Figura 22***Ajuste de red poligonal satelital*

*Nota.* Elaboración propia.

### **2.7.3. Nivelación**

La nivelación geométrica se realizó mediante el método de ida y vuelta, utilizando nivel electrónico, con el objetivo de determinar diferencias de altura entre puntos de control. Este procedimiento permitió establecer cotas precisas en zonas clave del proyecto, sirviendo de referencia para el diseño y ejecución de las obras de drenaje pluvial. Las lecturas fueron registradas cuidadosamente, asegurando cierres alimétricos dentro de los márgenes de tolerancia establecidos por la normativa vigente. En este proyecto se planteó una metodología por circuitos.

Para la instalación de las miras se han utilizado estacas metálicas o placas de apoyo.

**Figura 23**

*Placa de apoyo*

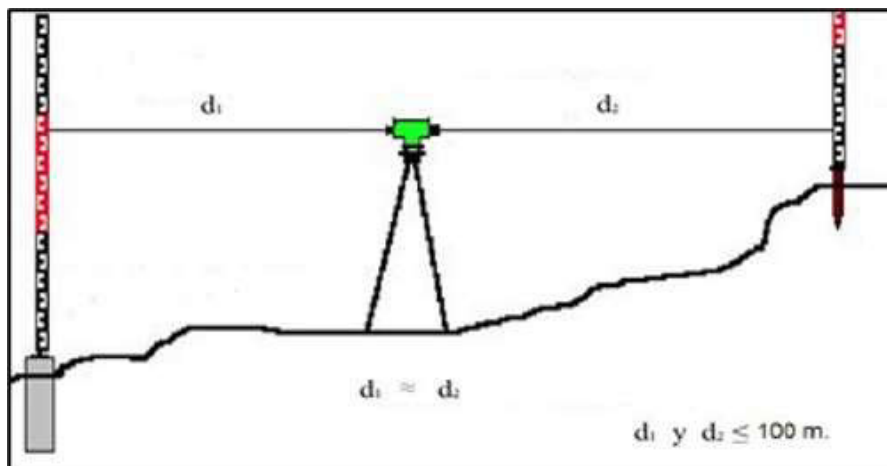


*Nota.* Elaboración propia.

Las distancias entre el nivel y la mira no han superado los 100 metros, asegurando además que las visuales hacia el punto de atrás y el punto de adelante sean aproximadamente iguales. Esta metodología se ha seguido conforme a lo establecido en el apartado 3.3.2 "Nivelación de Precisión" del documento del IGN Especificaciones Técnicas para Levantamientos Verticales.

**Figura 24**

*Distancia entre equipo y mira*



*Nota.* Norma Técnica Geodésica del IGN.

El error máximo de cierre o tolerancia (T) no ha excedido de:

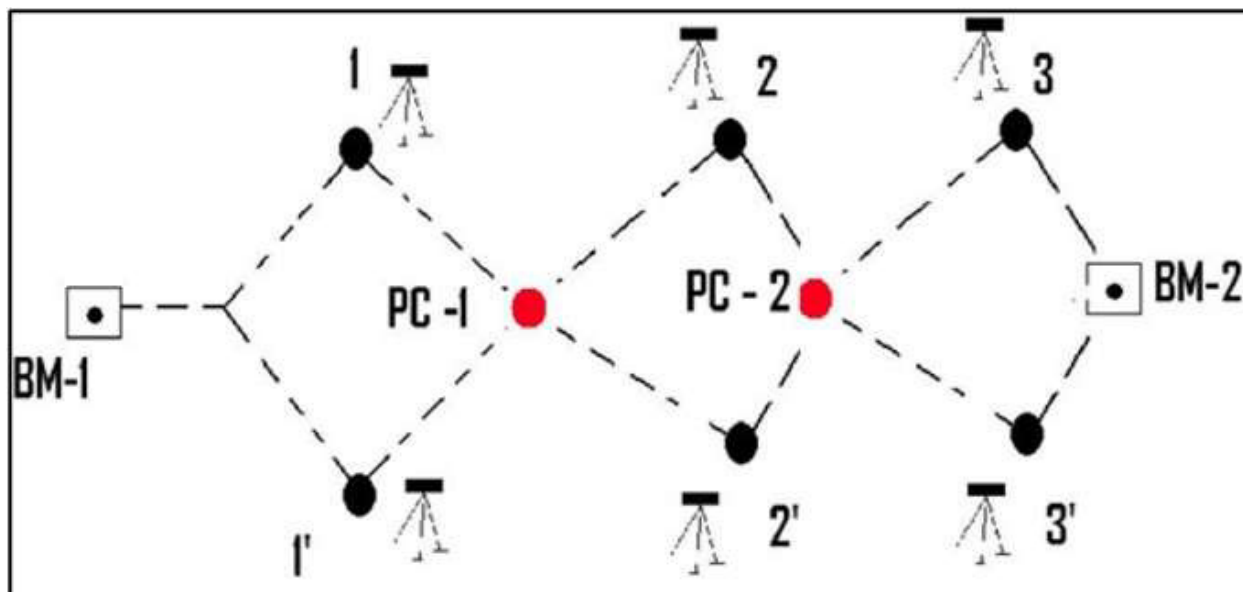
$$T = 2,5 \text{ mm } \sqrt{K}$$

Cuando el error de cierre ha superado la tolerancia establecida, se ha procedido a repetir la nivelación. En caso contrario, es decir, si el error resultó menor que la tolerancia, se continuó con la compensación correspondiente.

Se ha aplicado la metodología de doble puesta de instrumentos, la cual consiste en realizar una primera lectura con el primer nivel, comenzando con una visual hacia atrás (punto anterior en la línea de nivelación) y luego una visual hacia adelante (siguiente punto). Posteriormente, se ha repetido el mismo procedimiento con un segundo equipo, con el objetivo de garantizar la precisión del levantamiento.

**Figura 25**

*Método de doble puesta instrumental*



*Nota.* Norma Técnica Geodésica del IGN.

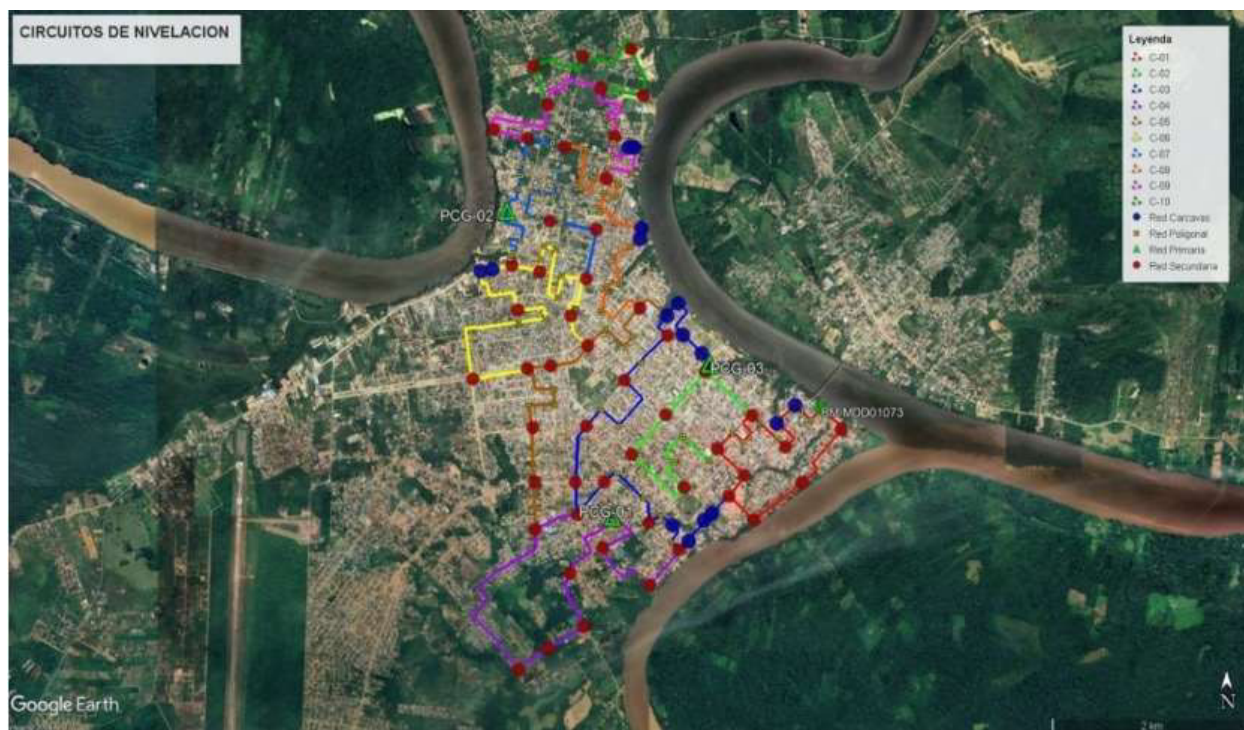
En los trabajos de nivelación se emplearon niveles electrónicos marca Leica, modelo Sprinter 250, con una precisión de 0.7 mm por cada kilómetro de doble nivelación, lo cual resulta más que adecuado para cumplir con la tolerancia máxima permitida de 2.5 mm de cierre por tramo.

Se establecieron circuitos de nivelación con el propósito de incluir en los cálculos todos los hitos monumentados, tanto de las redes geodésicas (Red Primaria y Red Secundaria), como de los vértices de la Red Poligonal Satelital, asegurando así la obtención de cotas compensadas y coherentes a lo largo de toda la red.

La distribución de los Circuitos se puede observar en la siguiente ilustración:

**Figura 26**

*Circuitos de Nivelación*



*Nota.* Elaboración propia.

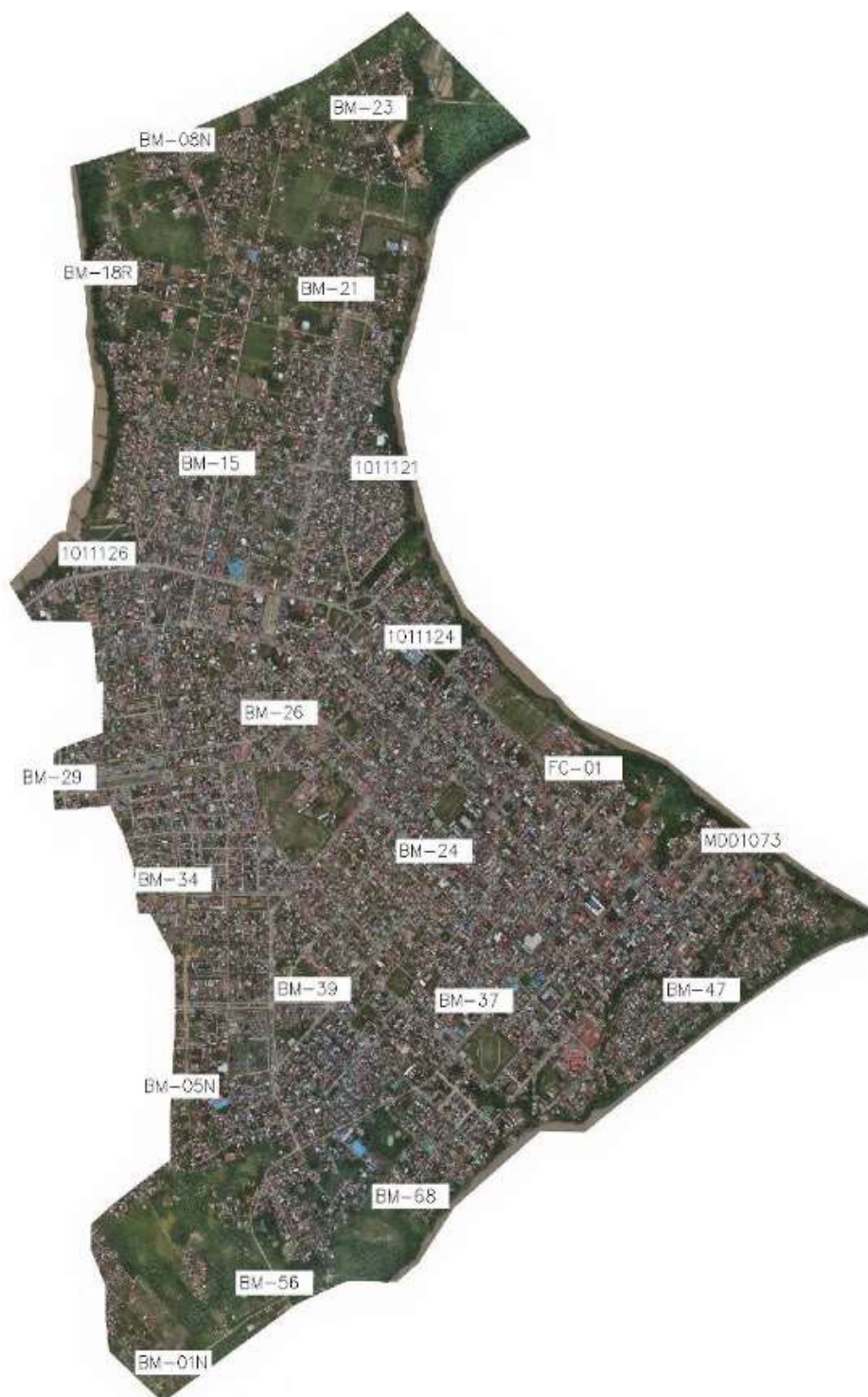
#### **2.7.4. Fotogrametría/LIDAR**

Para el presente proyecto se empleó una metodología basada en vuelos con dron, equipado con sensores fotogramétricos (Zemuse P1) y LIDAR (Zemuse L1), integrados a un sistema GNSS. Esta tecnología permite la captura de datos geoespaciales de alta precisión y densidad, adecuados para trabajos topográficos a gran escala.

La elección de estos sensores responde a la necesidad de generar productos como ortofotos, modelos digitales de superficie y del terreno con una alta fidelidad geométrica, lo cual es fundamental en proyectos de gran extensión territorial y exigencias técnicas elevadas.

El procesamiento de los datos consistió en la calibración, ajuste altimétrico y la generación de la nube de puntos, siguiendo la siguiente secuencia metodológica:

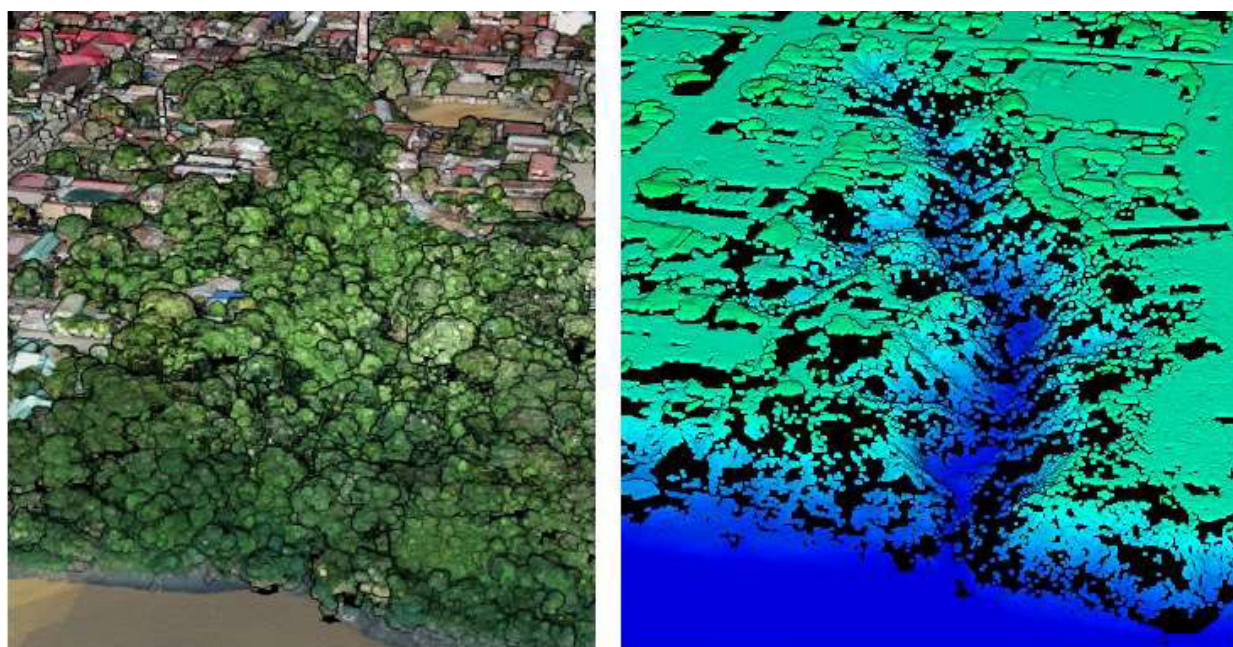
- Se integraron los datos capturados con el sistema GNSS, obteniendo información georreferenciada. En esta etapa se verificó la cobertura del área del proyecto, descartando posibles pérdidas de datos o zonas fuera de los rangos establecidos.
- En gabinete, se utilizó el software Pix4D y DJITerra. Se cargaron las imágenes capturadas durante el vuelo y se ingresaron las coordenadas de los puntos de control fotogramétrico. A continuación, se ejecutó el procesamiento fotogramétrico, evaluando los parámetros obtenidos, en particular el GSD (Ground Sample Distance), que indica la resolución espacial del modelo generado.

**Figura 27***Ortofoto**Nota.* Elaboración propia.

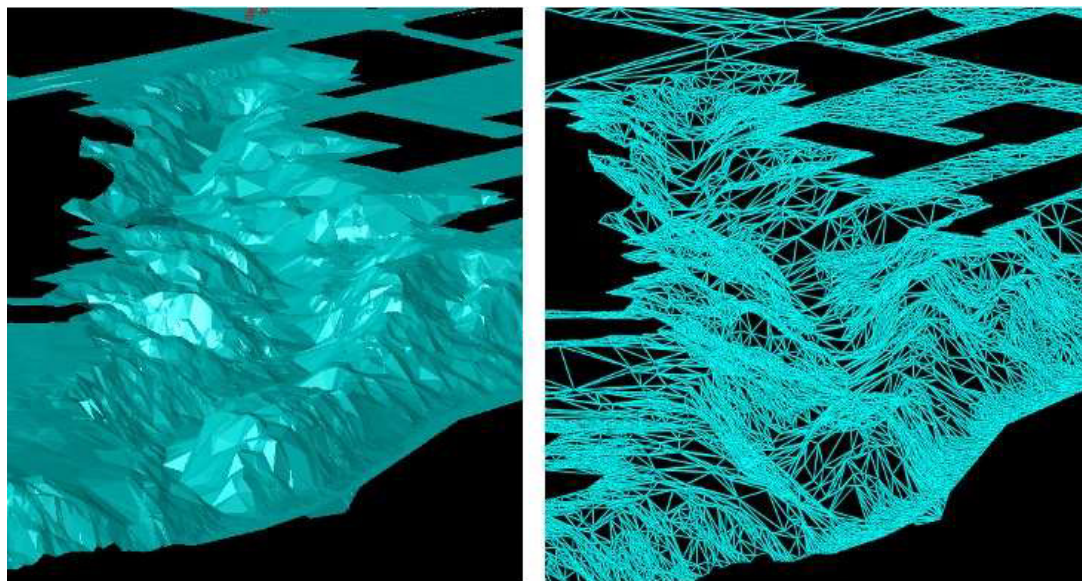
Finalmente, se depuró la nube de puntos para extraer únicamente aquellos puntos representativos del terreno, incorporando las líneas de quiebre previamente generadas, con lo cual se obtuvo el Modelo Digital del Terreno (DTM).

### Figura 28

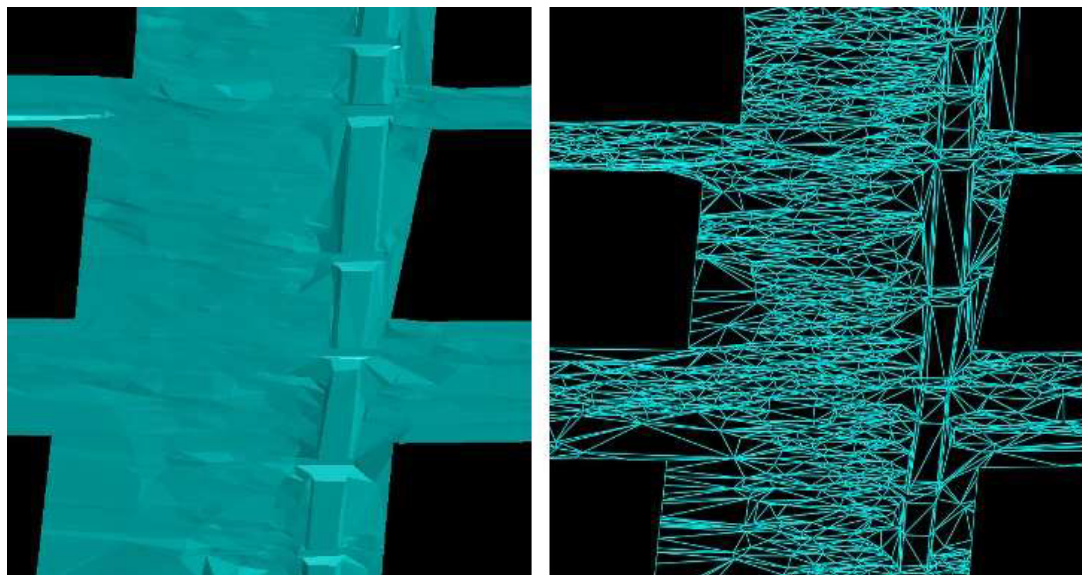
*Izquierda, nube de puntos densa. Derecha, nube de puntos clasificada*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 29***MDT LIDAR*

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 30***MDT, Fotogrametría*

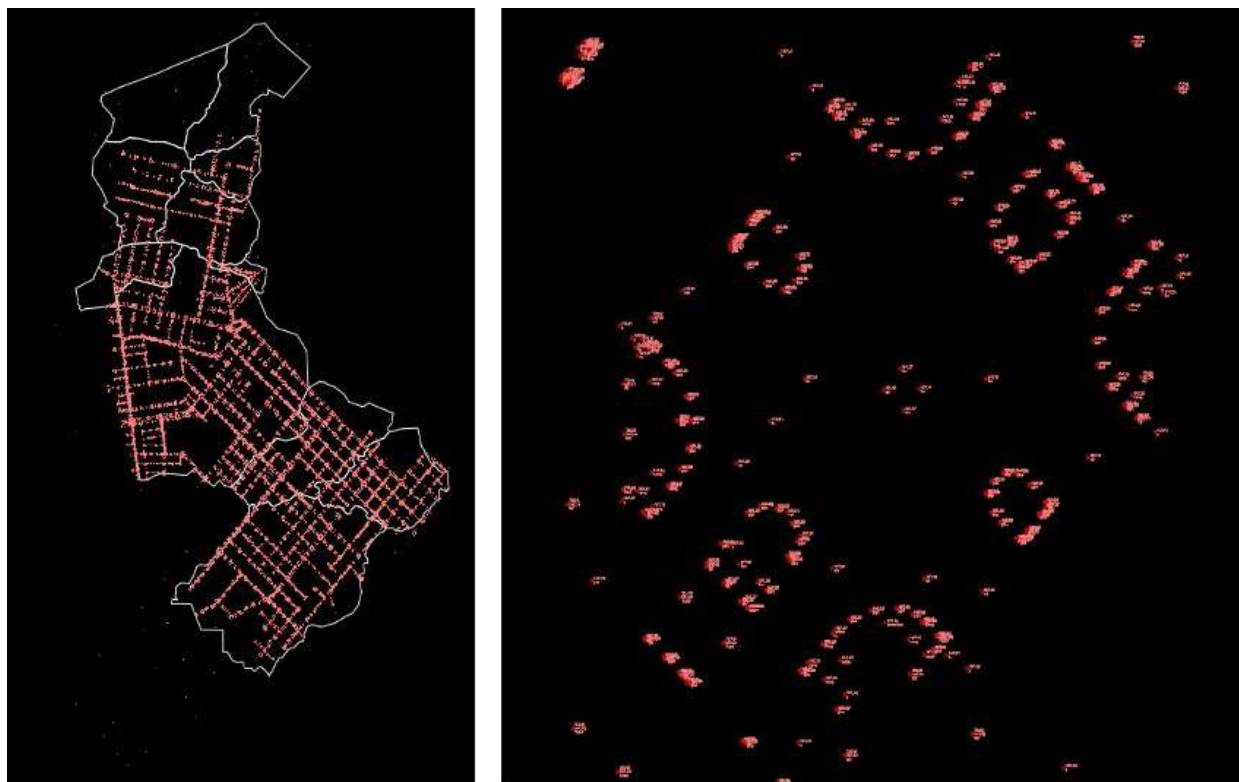
*Nota.* Elaboración propia.

### 2.7.5. Levantamiento topográfico

Los trabajos de levantamiento topográfico se desarrollarán utilizando dos tecnologías principales: Sistema GNSS con corrección diferencial en tiempo real (RTK) y estación total electrónica. La elección de ambas metodologías permitió garantizar la precisión, continuidad y confiabilidad de los datos recopilados en diversas condiciones topográficas y de cobertura.

#### Figura 31

*Puntos de Levantamientos a detalle*



*Nota.* Elaboración propia.

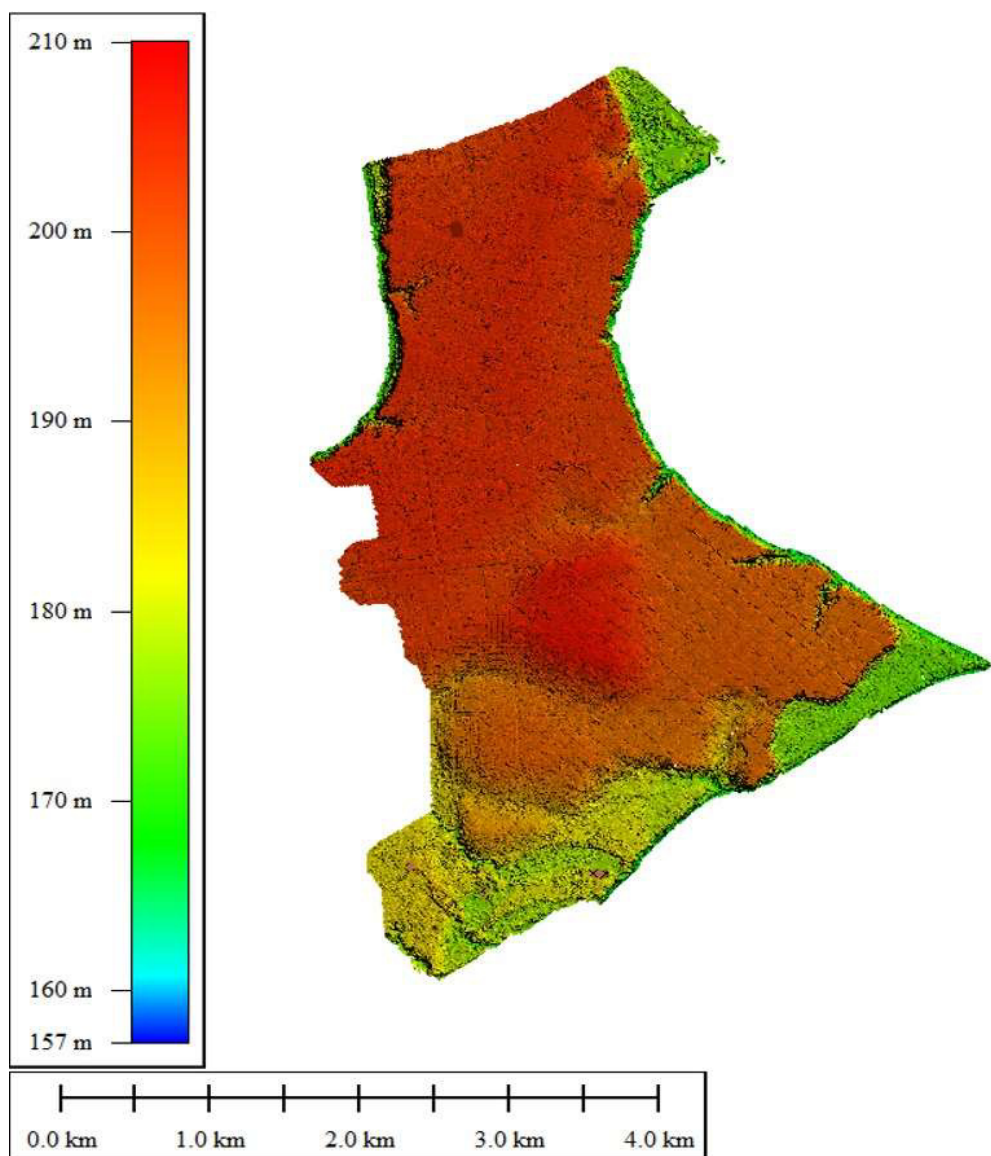
### 2.7.6. Integración MDS y MDT

Se aplicó una estrategia integral que combinó topografía convencional, tecnología LIDAR y fotogrametría digital para obtener información geoespacial precisa y confiable. Con equipos

GNSS y estación total se estableció una red de control geodésico, mientras que los vuelos con drones equipados con sensores LIDAR (Zenmuse L1) y fotogramétricos (Zenmuse P1) permitieron generar nubes de puntos, ortofotos, modelos 3D, MDT y MDS. La integración de estas metodologías proporcionó una base técnica sólida para el análisis y desarrollo del proyecto.

### Figura 32

#### *MDT Integrado*



*Nota.* Elaboración propia.

## 2.8. Resultados

### 2.8.1. Red Geodésica de Control

Se estableció una red geodésica de control compuesta por un total de 138 vértices, distribuidos estratégicamente en el área de estudio. Esta red comprende una Red Primaria de 19 puntos de control geodésico (PCG), enlazados con la estación de rastreo permanente (ERP) del IGN “MD01” y certificados como puntos geodésicos de Orden “C”; una Red Secundaria de 52 puntos de control geodésico (BM), vinculados a la Red Primaria; y una Poligonal Satelital conformada por 67 vértices, enlazados con la Red Primaria y/o Secundaria.

**Figura 33**

#### Red Primaria

RED PRIMARIA GEODESIA RESUMEN DE PUNTOS						
PTO	NORTE	ESTE	COTA ORTOMETRICA	LATITUD	LONGITUD	ALTURA ELIPSOIDAL
11117	860680.128	47894.17278	197.448	12°36' 09,40975" S	69°11' 37,99042" W	226.7239
11118	8609737.183	477889.4204	204.8731	12°34' 33,80674" S	69°12' 12,79434" W	234.068
11119	8608269.569	479915.5704	197.4923	12°35' 21,63304" S	69°11' 05,67763" W	226.7251
11120	8609476.501	479219.4822	202.491	12°34' 42,32563" S	69°11' 28,71956" W	231.6889
11121	8609603.215	479240.5076	202.525	12°34' 38,20099" S	69°11' 28,01968" W	231.7195
11122	8610356.399	479153.8066	202.061	12°34' 13,67954" S	69°11' 30,54353" W	231.2354
11123	8610357.48	479096.027	202.505	12°34' 13,64273" S	69°11' 32,78981" W	231.6792
11124	8608812.196	479410.9346	196.821	12°35' 03,95667" S	69°11' 22,39023" W	226.0373
11125	8608719.432	479301.1636	198.165	12°35' 06,97366" S	69°11' 26,03062" W	227.384
11126	8609192.268	477748.7743	204.383	12°34' 51,54267" S	69°12' 17,46971" W	233.5872
11127	8609199.402	477500.6748	204.429	12°34' 53,25736" S	69°12' 25,69378" W	233.6342
11128	8606553.845	479697.4951	179.888	12°36' 17,48274" S	69°11' 12,94594" W	209.1716
11129	8606653.124	479628.173	178.295	12°36' 14,24915" S	69°11' 15,24133" W	207.5761
11130	8606814.019	479942.0455	184.09	12°36' 09,01851" S	69°11' 04,83405" W	213.3656
11131	8606763.839	479854.4899	184.476	12°36' 10,65009" S	69°11' 07,73730" W	217.7538
11132	8608548.883	479646.2136	199.117	12°35' 12,53390" S	69°11' 14,59855" W	228.3414
11133	8608376.398	479836.0295	197.874	12°35' 18,15345" S	69°11' 08,31142" W	227.1039
11134	8607856.356	480788.9565	196.557	12°35' 35,10460" S	69°10' 36,73946" W	225.8034
11135	8607692.421	480596.5679	196.338	12°35' 40,43724" S	69°10' 43,11975" W	225.5882

*Nota.* Elaboración propia.

Figura 34

## Red Secundaria

RED SECUNDARIA GEODESIA RESUMEN DE PUNTOS						
PTO	NORTE	ESTE	COTA ORTOMETRICA	LATITUD	LONGITUD	ALTURA ELIPSOIDAL
MDD0073	8607836.15	48027.7648	196.955	12°35' 35.7676" S	69°10' 28.8247" W	226.2019
BM-01	8607469.642	480673.3291	196.9684	12°35' 47.6911" S	69°10' 40.5805" W	226.2256
BM-02	8607771625	480338.0552	197.3479	12°35' 37.8530" S	69°10' 51.6862" W	226.5958
BM-03	8608192.888	479874.613	197.6435	12°35' 24.1284" S	69°11' 07.0369" W	226.8785
BM-04	8608543.581	479493.0494	198.0207	12°35' 12.7029" S	69°11' 19.6750" W	227.245
BM-05	8608806.976	479216.8312	201.961	12°35' 04.1277" S	69°11' 28.7572" W	230.4126
BM-06	8609085.52	4786813.136	203.5497	12°34' 55.0409" S	69°11' 46.5654" W	232.7574
BM-07	8609155.651	478216.935	204.321	12°34' 52.7464" S	69°12' 01.9798" W	233.5262
BM-08	8609217.577	477937.4553	205.0722	12°34' 50.7235" S	69°12' 11.2566" W	234.2754
BM-9	8609643.353	478316.629	204.5123	12°34' 38.8719" S	69°11' 58.6381" W	233.7038
BM-10	861035.1216	478463.9504	204.4561	12°34' 13.8340" S	69°11' 53.7378" W	233.6288
BM-11	8610438.792	478093.5289	203.511	12°34' 10.9713" S	69°12' 06.0194" W	232.6809
BM-12R	861052.1613	477764.8693	203.9527	12°34' 08.2687" S	69°12' 16.9020" W	233.1201
BM-13	8609563.328	4787816918	203.0592	12°34' 39.4885" S	69°11' 43.2268" W	232.2537
BM-20	8610049.345	478880.9144	202.704	12°34' 23.6881" S	69°11' 39.9264" W	231.8856
BM-21	8610453.635	478965.7764	202.6826	12°34' 10.5093" S	69°11' 37.1046" W	231.8536
BM-22	8610850.929	4792512.764	202.7755	12°33' 57.5823" S	69°11' 27.6327" W	231.9364
BM-23	8611299.296	479128.3047	200.3758	12°33' 42.9830" S	69°11' 31.6893" W	229.5247
BM-24	8607779.599	479475.3877	200.7215	12°35' 37.5736" S	69°11' 20.2788" W	229.9678
BM-25	8608112.123	479063.352	205.7968	12°35' 26.7387" S	69°11' 33.9272" W	235.0331
BM-26	8608444.286	478696.5609	201.6155	12°35' 15.9145" S	69°11' 46.0785" W	230.842
BM-27	8608249.116	478324.9572	202.3336	12°35' 22.2610" S	69°11' 58.3975" W	231.666
BM-28	8608223.944	478089.2004	203.8207	12°35' 23.0745" S	69°12' 06.2188" W	233.0539
BM-29	8608142.149	477541.3254	202.5885	12°35' 25.7235" S	69°12' 24.3725" W	231.8241
BM-32	8608786.892	477994.8731	204.6658	12°35' 04.7782" S	69°12' 09.3236" W	233.8819
BM-33	8607670.268	478680.5009	205.8726	12°35' 41.1389" S	69°11' 46.6274" W	235.122
BM-34	8607656.803	478145.6432	202.2071	12°35' 41.5391" S	69°12' 04.3221" W	231.4571
BM-36	8607452.547	479989.4638	198.9988	12°35' 48.2325" S	69°11' 03.2476" W	228.2654
BM-37	8607083.106	479658.4854	196.3486	12°36' 00.2510" S	69°11' 14.2264" W	225.816
BM-38	8606740.964	479309.9709	198.2595	12°36' 11.3821" S	69°11' 25.7825" W	217.5374
BM-39	8607135.02	4788619489	196.5484	12°35' 58.5430" S	69°11' 40.6265" W	225.8139
BM-40	8607128.732	478571.1151	197.3538	12°35' 58.7407" S	69°11' 50.2664" W	226.6195
BM-41	8607134.64	478166.8866	192.4902	12°35' 58.5415" S	69°12' 03.6711" W	221.7559
BM-54	8606500.21	478842.0871	191.4456	12°36' 19.2085" S	69°11' 41.3004" W	220.731
BM-55	8606226.113	478535.5142	190.1921	12°36' 28.1241" S	69°11' 51.6893" W	219.4853
BM-56	8605741.681	478657.8317	181.0798	12°36' 43.8976" S	69°11' 47.4265" W	210.3894
BM-65	8607199.698	480262.0224	194.3111	12°35' 56.4701" S	69°10' 54.2140" W	223.5777
BM-66	8606996.727	480117.6484	194.4232	12°36' 03.0743" S	69°10' 59.3408" W	223.6937
BM-67	8606482.013	479607.5393	179.9418	12°36' 18.1190" S	69°11' 15.9293" W	209.228
BM-68	8606146.116	479331.5599	182.252	12°36' 30.7463" S	69°11' 25.0849" W	211.5589
BM-69	8606769.506	480381.8895	176.281	12°36' 10.4771" S	69°10' 50.9193" W	205.5386
BM-70	8607130.649	480839.5938	175.4918	12°35' 58.7308" S	69°10' 35.0772" W	204.7592
BM-72	8607638.296	48123.15636	175.812	12°35' 42.2106" S	69°10' 22.0743" W	205.0653
BM-01N	8605341.158	478021.0844	183.7471	12°36' 56.9207" S	69°12' 08.5429" W	213.0703
BM-02N	8605448.707	478193.4291	177.6326	12°36' 53.4238" S	69°12' 02.8274" W	206.952
BM-03N	8606817.859	478590.5185	198.5572	12°36' 08.8614" S	69°11' 49.6310" W	227.8326
BM-04N	8607383.753	479118.288	203.5657	12°35' 50.4516" S	69°11' 32.3381" W	232.8236
BM-05N	8606668.178	478155.8744	198.2482	12°36' 13.7236" S	69°12' 04.0412" W	217.5284
BM-06N	8608726.061	478525.3363	203.8301	12°36' 06.7392" S	69°11' 51.7439" W	233.0482
BM-07N	8610759.953	478292.4002	203.7461	12°34' 00.5208" S	69°11' 59.4130" W	232.9077
BM-08N	861155.097	478143.5799	202.393	12°33' 47.8534" S	69°12' 04.3350" W	231.544
BM-09N	8611229.014	478643.1962	204.0346	12°33' 45.2593" S	69°11' 47.7760" W	233.1845
BM-10N	8610925.037	478628.9178	204.264	12°33' 55.1697" S	69°11' 41.6282" W	233.4221

Nota. Elaboración propia.

Figura 35

## Red Poligonal Satelital

RED POLIGONAL SATELITAL RESUMEN DE PUNTOS						
PTD	NORTE	ESTE	COTA ORTOMETRICA	LATITUD	LONGITUD	ALTURA ELIPSoidal
V-01	8607555.946	480595.6788	86.9844	0°30'44.6080" S	69°07'43.5230" W	226.230
V-02	8607626.275	480636.7488	86.9696	0°30'36.0849" S	69°07'35.6609" W	226.236
V-03	8607740.447	480711.9832	87.074	0°30'28.8807" S	69°07'27.5950" W	226.238
V-04	8607805.353	480785.9738	86.9688	0°30'21.2058" S	69°07'19.3880" W	227.022
V-05	8607552.746	480242.3363	86.2276	0°30'45.0293" S	69°07'54.8576" W	227.585
V-06	8607697.388	480404.0801	87.4388	0°30'40.2708" S	69°07'49.4989" W	228.887
V-07	8607353.722	479888.7527	86.969	0°30'53.4477" S	69°07'26.2884" W	227.448
V-08	8607985.782	479688.5176	86.7374	0°30'44.0307" S	69°07'18.8978" W	228.038
V-09	8608038.833	479403.8898	84.798	0°30'38.3834" S	69°07'04.8768" W	233.388
V-10	8608621793	479423.8708	83.885	0°30'38.7374" S	69°07'22.0387" W	223.204
V-11	8608079.253	479208.8838	85.7073	0°30'33.6268" S	69°07'07.4733" W	224.977
V-12	8607234.886	479802.8485	87.4495	0°30'55.2549" S	69°07'36.0250" W	226.730
V-13	8607336.659	479864.0788	86.7404	0°30'51.0994" S	69°07'17.3495" W	228
V-14	8606586.460	479536.6098	87.4727	0°30'47.3037" S	69°07'08.2400" W	208.758
V-15	8606223.87	479230.982	83.0488	0°30'28.2509" S	69°07'28.4420" W	214.54
V-16	8607835.283	479801.2833	208.9705	0°30'35.7463" S	69°07'41.8588" W	236.249
V-17	8607677.242	479813.9852	207.458	0°30'40.6895" S	69°07'35.0935" W	236.648
V-18	8607886.739	479808.044	202.6266	0°30'34.7037" S	69°07'05.3962" W	224.0704
V-19	8607888.323	479368.7758	202.8844	0°30'34.8520" S	69°07'57.8869" W	221.0281
V-20	8608023.281	479362.4037	208.887	0°30'28.6489" S	69°07'07.8972" W	230.822
V-21	860886.8482	479874.8084	86.888	0°30'53.3807" S	69°07'40.9820" W	227.738
V-22	8608434.087	479895.8359	202.2467	0°30'56.2560" S	69°07'33.8347" W	214.757
V-23	8608280.343	479234.8884	203.0748	0°30'21.0044" S	69°07'08.2442" W	234.828
V-24	8608030.055	479765.0899	87.5476	0°30'52.6897" S	69°07'20.8428" W	226.778
V-25	8608682.816	479202.5798	204.424	0°30'38.7888" S	69°07'00.878" W	223.648
V-26	8608713.964	479272.5101	204.2888	0°30'07.4782" S	69°07'00.1888" W	223.8252
V-27	8608762.832	479822.9728	203.8472	0°30'05.2463" S	69°07'41.8738" W	220.840
V-28	8608038.824	479888.5721	202.8848	0°30'56.8837" S	69°07'36.8438" W	232.2041
V-29	8608230.022	479826.2377	203.759	0°30'47.8837" S	69°07'08.0222" W	232.872
V-30	8608035.283	479848.884	202.8880	0°30'47.8837" S	69°07'37.8880" W	231.8880
V-31	8608402.21	479818.828	202.6288	0°30'48.7888" S	69°07'32.8882" W	221.8882
V-32	8608687.372	479403.384	204.3848	0°30'03.8820" S	69°07'55.7288" W	233.8277
V-33	860876.946	479431.8781	204.388	0°30'54.0388" S	69°07'54.8388" W	233.8281
V-34	8608272.281	479254.574	203.522	0°30'48.8500" S	69°07'01.8883" W	232.738
V-35	8608407.345	479282.988	203.6844	0°30'44.5578" S	69°07'00.4880" W	232.8824
V-36	8608488.722	479811.3773	202.8882	0°30'41.8888" S	69°07'08.8880" W	232.8882
V-37	8608328.888	479855.3481	202.8881	0°30'47.8888" S	69°07'00.2388" W	221.8881
V-38	8608281803	479791.8753	203.8881	0°30'48.8320" S	69°07'08.8880" W	232.7880
V-39	8608481.772	479888.838	203.488	0°30'43.2888" S	69°07'08.8422" W	232.8072
V-40	860882.030	479882.2888	204.8301	0°30'38.2888" S	69°07'08.2782" W	232.7201
V-41	8608838.731	479787.8448	204.328	0°30'37.2888" S	69°07'04.8888" W	233.8872
V-42	8608888.816	479248.8878	204.3287	0°30'28.2884" S	69°07'00.8888" W	233.816
V-43	8608872.821	479885.7308	204.888	0°30'38.8884" S	69°07'02.8880" W	233.748
V-44	8608888.784	479388.888	204.8728	0°30'28.8888" S	69°07'08.8880" W	233.7377
V-45	8609485.820	479116.388	204.284	0°30'28.3884" S	69°07'08.8880" W	233.8880
V-46	8609392.551	479380.5888	203.8880	0°30'40.8342" S	69°07'08.5253" W	232.7394
V-47	8609428.031	479435.2581	204.2584	0°30'37.3207" S	69°07'05.8880" W	233.739
V-48	8609743.283	479811.8788	202.7042	0°30'33.8888" S	69°07'41.8888" W	233.8888
V-49	8609823.87	479888.8887	202.888	0°30'27.7683" S	69°07'40.7278" W	233.8787
V-50	8609962.733	479826.882	204.3826	0°30'28.4826" S	69°07'48.3728" W	233.8488
V-51	8610012.378	479388.8482	204.4237	0°30'28.8826" S	69°07'58.4184" W	233.8084
V-52	8610081.6	479440.848	203.8232	0°30'22.4383" S	69°07'07.7870" W	232.8232
V-53	8609484.921	479879.7888	202.2882	0°30'29.0288" S	69°07'30.788" W	233.8284
V-54	8610012.378	479900.488	202.888	0°30'24.7202" S	69°07'36.2580" W	233.8480
V-55	8610080.879	479753.748	203.488	0°30'23.4202" S	69°07'44.888" W	232.8447
V-56	8610102.863	479888.828	203.5881	0°30'18.8673" S	69°07'06.8880" W	232.7232
V-57	8610105.823	479411.8878	204.888	0°30'21.8278" S	69°07'08.2889" W	233.8844
V-58	8610187.884	479883.8888	202.888	0°30'20.8888" S	69°07'08.8880" W	233.8888
V-59	861027.876	479782.0876	201.8261	0°30'21.8888" S	69°07'02.8880" W	231.8881
V-60	8610284.885	479827.884	202.5251	0°30'18.7888" S	69°07'38.8884" W	231.7018
V-61	861032.216	479887.8888	204.288	0°30'18.4584" S	69°07'46.3888" W	231.788
V-62	8610388.888	479383.8758	204.0221	0°30'18.8880" S	69°07'07.0270" W	231.8887
V-63	8610448.888	479411.8882	204.4887	0°30'17.8888" S	69°07'04.8880" W	231.8881
V-64	8610488.888	479888.028	203.488	0°30'18.0684" S	69°07'37.4888" W	231.888
V-65	8610512.87	479882.8881	201.8387	0°30'18.4884" S	69°07'29.888" W	231.8884
V-66	8610618.846	479905.378	202.8882	0°30'05.3888" S	69°07'35.7884" W	231.888
V-67	8610627.881	479884.4288	203.8183	0°30'04.8388" S	69°07'38.7884" W	232.7884

Nota. Elaboración propia.

### 2.8.2. Nube de Puntos LIDAR

Se ejecutaron vuelos con drones DJI Matrice 300 RTK, equipados con el sensor LIDAR Zenmuse L1, cubriendo una superficie aproximada de 100 hectáreas en zonas de cárcavas. Como resultado, se obtuvo una nube de puntos de alta densidad, con un promedio de 160 a 200 puntos por metro cuadrado, lo que permitió capturar información detallada incluso en zonas con cobertura vegetal densa. Mediante procesamiento en software especializado DJI Terra y MicroStation, se clasificaron los puntos según su retorno, generándose una separación entre suelo, vegetación y estructuras artificiales. A partir de la nube clasificada se generó el Modelo Digital del Terreno (MDT) con una resolución espacial de 0.5 m, libre de interferencias superficiales.

#### Figura 36

*Nube de puntos, LIDAR*



*Nota.* Elaboración propia.

### ***2.8.3. Productos Fotogramétricos***


La captura fotogramétrica se realizó utilizando el sensor Zenmuse P1 montado en un dron DJI Matrice 300 RTK, abarcando una extensión aproximada de 1,200 hectáreas. Las imágenes aéreas fueron adquiridas con un traslape longitudinal del 80 % y lateral del 70 %, generando un total de aproximadamente 11,750 imágenes. El procesamiento fotogramétrico se llevó a cabo en software especializado, utilizando puntos de control terrestre (GCPs) para garantizar la precisión geométrica de los productos generados. Los resultados obtenidos incluyen:

- Ortofotomosaico con una resolución espacial (GSD) de 2.5 cm/píxel, georreferenciado al sistema WGS84 – UTM zona 19S.
- Modelo Digital de Superficie (MDS), que representa las elevaciones incluyendo edificaciones, árboles y demás estructuras sobre el terreno.
- Modelo tridimensional (3D) de alta fidelidad, útil para la visualización detallada y análisis del relieve natural y construido.

Figura 37

Reporte de calidad Pix4d

# Quality Report



Generated with Pix4Dentipose version 4.5.8

**!** Important: Click on the different icons for:

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

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

### Summary **i**

Project	PROCESO_01_TAMBOPATA
Processed	2024-07-19 09:12:16
Camera Model Name(s)	ZenmuseP1_35.0_8192x5460 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.47 cm / 0.97 in

### Quality Check **i**

<b>?</b> Images	median of 9525 keypoints per image	<b>✓</b>
<b>?</b> Dataset	2563 out of 2661 images calibrated (96%), all images enabled, 8 blocks	<b>⚠</b>
<b>?</b> Camera Optimization	0.01% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	<b>✓</b>
<b>?</b> Matching	median of 4827.37 matches per calibrated image	<b>✓</b>
<b>?</b> Georeferencing	yes, 28 GCPs (28 3D), mean RMS error = 0.005 m	<b>✓</b>

*Nota.* Elaboración propia.

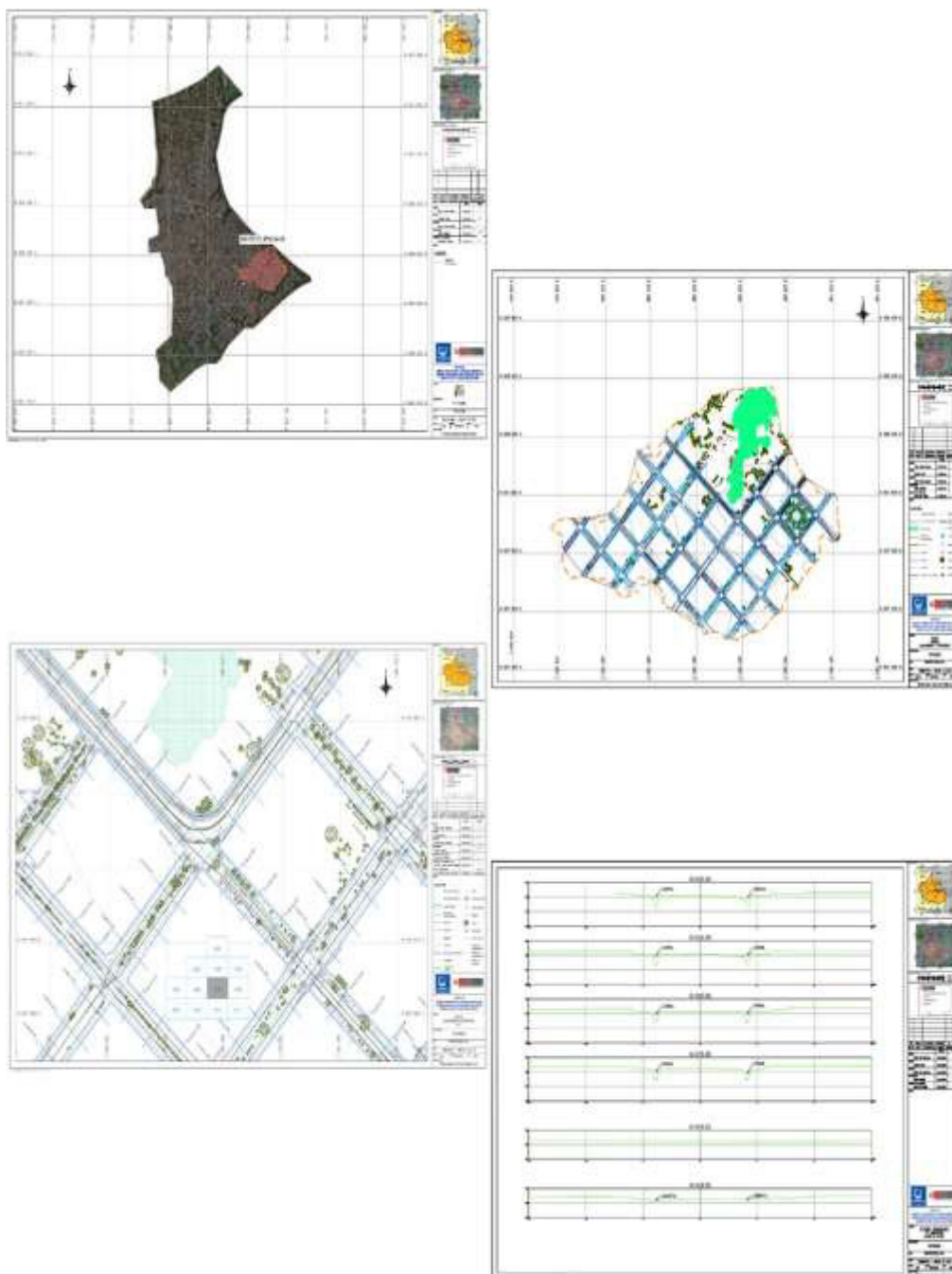
#### 2.8.4. Integración de Información Geoespacial

La integración de los datos obtenidos permitió una caracterización detallada del terreno y su entorno. Los modelos derivados sirvieron como insumo para el diseño preliminar del sistema

de drenaje pluvial, facilitando la identificación de zonas críticas, pendientes naturales, cauces existentes y posibles rutas de escurrimiento. Estas fueron representadas en planos:

### Figura 38

*Planos de Ubicación, planta y secciones*



*Nota.* Elaboración propia.

### III. APORTES MÁS DESTACABLES A LA EMPRESA

La implementación de la red poligonal satelital en el distrito de Tambopata permitió establecer una base geodésica precisa y confiable, indispensable para garantizar la exactitud de los levantamientos topográficos requeridos para el diseño del sistema de drenaje pluvial. La red fue diseñada y ejecutada utilizando tecnología GNSS en modo estático y rápido-estático, siguiendo los lineamientos del Instituto Geográfico Nacional (IGN), lo que permitió reducir los márgenes de error altimétrico y planimétrico dentro de rangos normativos. La precisión de la red primaria es menor a los 10 mm horizontal y 35 mm en vertical, según la normativa del IGN.

**Tabla 4**

*Precisiones Red Primaria*

PTO	Red Primaria			Distrito	Tambopata
	Tipo de Solución	Épocas	Precisión H	Precisión V	Tiempo de Lectura
1011117	LINEA BASE	10135	0	0.0001	0.11730324
1011118	LINEA BASE	10950	0.001	0.0002	0.12673611
1011119	LINEA BASE	9800	0	0.0001	0.11342593
1011120	LINEA BASE	10980	0.001	0.0002	0.12708333
1011121	LINEA BASE	6370	0.001	0.0005	0.07372685
1011122	LINEA BASE	10885	0.001	0.0002	0.1259838
1011123	LINEA BASE	11470	0	0.0002	0.13275463
1011124	LINEA BASE	10820	0.001	0.0002	0.12523148
1011125	LINEA BASE	6550	0.001	0.0002	0.07581019
1011126	LINEA BASE	8820	0.001	0.0002	0.10208333
1011127	LINEA BASE	7155	0.001	0.0003	0.0828125
1011128	LINEA BASE	10895	0	0.0001	0.12609954
1011129	LINEA BASE	10800	0	0.0001	0.125
1011130	LINEA BASE	11035	0.001	0.0003	0.12771991
1011131	LINEA BASE	11430	0	0.0001	0.13229167

1011132	LINEA BASE	12160	0	0.0002	0.14074074
1011133	LINEA BASE	10895	0.001	0.0002	0.12609954
1011134	LINEA BASE	11150	0.001	0.0002	0.12905093
1011135	LINEA BASE	9875	0.001	0.0003	0.11429398
MDD01073	AJUSTE DE RED	4738	0.003	0.0079	0.05483796

*Nota.* Elaboración propia.

Uno de los indicadores clave para evaluar la consistencia del ajuste fue el factor de varianza unitaria ajustado ( $\sigma_0$  a posteriori), cuyo valor obtenido fue de 0.951. Este valor cercano a 1 indica que las varianzas a priori asignadas a las observaciones fueron coherentes con la dispersión real de los residuos, validando así la correcta ponderación de los datos y la calidad de las mediciones.

En cuanto a la validación estadística del modelo global, se aplicó la prueba de Chi Cuadrado al 95% de confianza, obteniéndose un valor observado de 0.90, mientras que los límites críticos se situaron entre 0.76 (inferior) y 1.27 (superior). Dado que el valor observado se encuentra dentro del rango aceptable, se concluye que el modelo es estadísticamente válido y no existen inconsistencias significativas en el conjunto de observaciones.

Adicionalmente, se evaluaron otros indicadores estadísticos como el F-Test (valor observado: 0.90 frente a un valor crítico de 0.95), y diversas pruebas T y W para evaluar la significancia de diferencias entre observaciones. Todos estos valores se mantuvieron dentro de los márgenes aceptables, indicando la ausencia de errores groseros y una distribución homogénea de las observaciones.

En conjunto, estos resultados reflejan un ajuste geométrico confiable, con un buen nivel de precisión y control de errores. La red ajustada proporciona una base sólida para la georreferenciación de futuros trabajos topográficos, así como para el monitoreo y control de estructuras dentro del alcance del proyecto.

**Figura 39***Reporte T-Test, Chi Cuadrático 95 %*

<b><math>\sigma</math> a-posteriori:</b>	<b>0.951</b>
<b>Testing</b>	
Critical value W-Test:	1.96
Critical value T-Test (2 dimensional):	2.42
Critical value T-Test (3 dimensional):	1.89
Critical value F-Test:	0.95
F-Test:	0.90
Chi Square Test (95.0%)	
Critical value lower bound:	0.76
Critical value upper bound:	1.27
Chi Square Test:	0.90

Nota. Elaboración propia.

**Tabla 5***Precisiones Red BMS*

PTO	Red BMS			Distrito	Tambopata
	Tipo de Solución	Épocas	Precisión H	Precisión V	Tiempo de Lectura
BM-01	AJUSTE DE RED	2772	0.003	0.0058	0.03208333
BM-02	AJUSTE DE RED	1853	0.005	0.0135	0.02144676
BM-03	AJUSTE DE RED	3549	0.005	0.011	0.04107639
BM-04	AJUSTE DE RED	1911	0.006	0.012	0.02211806
BM-05	AJUSTE DE RED	1845	0.008	0.0173	0.02135417
BM-06	AJUSTE DE RED	4006	0.008	0.0308	0.04636574
BM-07	AJUSTE DE RED	2646	0.012	0.0616	0.030625
BM-08	AJUSTE DE RED	1906	0.008	0.033	0.02206019
BM-15	AJUSTE DE RED	2071	0.017	0.0529	0.02396991
BM-16	AJUSTE DE RED	4959	0.006	0.0158	0.05739583
BM-17	AJUSTE DE RED	8945	0.007	0.0409	0.10353009
BM-18R	AJUSTE DE RED	5647	0.013	0.0956	0.0653588

BM-19	AJUSTE DE RED	4281	0.014	0.0315	0.04954861
BM-20	AJUSTE DE RED	2254	0.018	0.0442	0.02608796
BM-21	AJUSTE DE RED	3783	0.014	0.0344	0.04378472
BM-22	AJUSTE DE RED	2474	0.018	0.0425	0.02863426
BM-23	AJUSTE DE RED	7334	0.008	0.0613	0.08488426
BM-24	AJUSTE DE RED	1810	0.008	0.0163	0.02094907
BM-25	AJUSTE DE RED	2259	0.006	0.0133	0.02614583
BM-26	AJUSTE DE RED	1499	0.011	0.0232	0.01734954
BM-27	AJUSTE DE RED	2126	0.004	0.0114	0.02460648
BM-28	AJUSTE DE RED	1814	0.004	0.0113	0.02099537
BM-29	AJUSTE DE RED	4184	0.006	0.0118	0.04842593
BM-32	AJUSTE DE RED	2753	0.012	0.0419	0.03186343
BM-33	AJUSTE DE RED	3753	0.004	0.009	0.0434375
BM-34	AJUSTE DE RED	1837	0.005	0.0129	0.02126157
BM-36	AJUSTE DE RED	1977	0.004	0.0111	0.02288194
BM-37	AJUSTE DE RED	3295	0.003	0.0081	0.03813657
BM-38	AJUSTE DE RED	4246	0.004	0.0087	0.04914352
BM-39	AJUSTE DE RED	3244	0.005	0.0105	0.0375463
BM-40	AJUSTE DE RED	1939	0.004	0.0083	0.02244213
BM-41	AJUSTE DE RED	3753	0.004	0.0107	0.0434375
BM-54	AJUSTE DE RED	2893	0.004	0.01	0.0334838
BM-55	AJUSTE DE RED	2211	0.007	0.0179	0.02559028
BM-56	AJUSTE DE RED	1857	0.005	0.0112	0.02149306
BM-65	AJUSTE DE RED	1996	0.003	0.0066	0.02310185
BM-66	AJUSTE DE RED	1934	0.003	0.0063	0.02238426
BM-67	AJUSTE DE RED	1874	0.003	0.0067	0.02168981
BM-68	AJUSTE DE RED	1954	0.005	0.0144	0.02261574
BM-69	AJUSTE DE RED	1861	0.006	0.0128	0.02153935
BM-70	AJUSTE DE RED	1932	0.006	0.0132	0.02236111
BM-72	AJUSTE DE RED	3041	0.006	0.013	0.03519676
BM-01 N	AJUSTE DE RED	2043	0.003	0.0081	0.02364583

BM-02 N	AJUSTE DE RED	2784	0.003	0.0078	0.03222222
BM-03 N	AJUSTE DE RED	3305	0.003	0.0078	0.03825231
BM-04-101	AJUSTE DE RED	2725	0.004	0.0086	0.03153935
BM-05 N	AJUSTE DE RED	3009	0.003	0.0069	0.03482639
BM-06 N	AJUSTE DE RED	2126	0.013	0.0266	0.02460648
BM-07 N	AJUSTE DE RED	1879	0.018	0.0576	0.02174769
BM-08 N	AJUSTE DE RED	1848	0.008	0.0199	0.02138889
BM-09 N	AJUSTE DE RED	6742	0.005	0.0382	0.07803241
BM-10 N	AJUSTE DE RED	4472	0.005	0.0125	0.05175926

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 6**

*Precisiones Red Poligonal*

PTO	Red Poligonal			Distrito	Tambopata
	Tipo de Solución	Épocas	Precisión H	Precisión V	Tiempo de Lectura
V-01	AJUSTE DE RED	1832	0.007	0.0193	0.0212037
V-02	AJUSTE DE RED	2278	0.004	0.0102	0.02636574
V-03	AJUSTE DE RED	4748	0.003	0.0084	0.0549537
V-04	AJUSTE DE RED	2890	0.005	0.009	0.03344907
V-05	AJUSTE DE RED	1318	0.004	0.0083	0.01525463
V-06	AJUSTE DE RED	3263	0.002	0.0066	0.0377662
V-07	AJUSTE DE RED	2284	0.005	0.0097	0.02643519
V-08	AJUSTE DE RED	1262	0.004	0.0086	0.01460648
V-09	AJUSTE DE RED	1704	0.004	0.0103	0.01972222
V-10	AJUSTE DE RED	1746	0.005	0.0116	0.02020833
V-11	AJUSTE DE RED	3534	0.004	0.0148	0.04090278
V-12	AJUSTE DE RED	2231	0.003	0.011	0.02582176
V-13	AJUSTE DE RED	2083	0.004	0.0119	0.0241088
V-14	AJUSTE DE RED	1278	0.005	0.0127	0.01479167
V-15	AJUSTE DE RED	1581	0.004	0.0108	0.01829861

V-16	AJUSTE DE RED	1648	0.021	0.0558	0.01907407
V-17	AJUSTE DE RED	1806	0.003	0.0113	0.02090278
V-18	AJUSTE DE RED	2126	0.021	0.0553	0.02460648
V-19	AJUSTE DE RED	1228	0.029	0.0773	0.01421296
V-20	AJUSTE DE RED	3044	0.018	0.049	0.03523148
V-21	AJUSTE DE RED	3659	0.009	0.0275	0.04234954
V-22	AJUSTE DE RED	838	0.018	0.0544	0.00969907
V-23	AJUSTE DE RED	1943	0.007	0.0225	0.02248843
V-24	AJUSTE DE RED	2747	0.006	0.0182	0.03179398
V-25	AJUSTE DE RED	2436	0.005	0.0099	0.02819444
V-26	AJUSTE DE RED	1791	0.006	0.0118	0.02072917
V-27	AJUSTE DE RED	3538	0.003	0.0119	0.04094907
V-28	AJUSTE DE RED	2999	0.003	0.0125	0.03471065
V-29	AJUSTE DE RED	1369	0.008	0.0334	0.01584491
V-30	AJUSTE DE RED	2425	0.003	0.0136	0.02806713
V-31	AJUSTE DE RED	1208	0.005	0.0216	0.01398148
V-32	AJUSTE DE RED	605	0.014	0.0282	0.00700231
V-33	AJUSTE DE RED	2025	0.007	0.0138	0.0234375
V-34	AJUSTE DE RED	1845	0.003	0.0069	0.02135417
V-35	AJUSTE DE RED	1271	0.003	0.0071	0.01471065
V-36	AJUSTE DE RED	1210	0.004	0.0075	0.01400463
V-37	AJUSTE DE RED	1803	0.004	0.0074	0.02086806
V-38	AJUSTE DE RED	2467	0.004	0.0072	0.02855324
V-39	AJUSTE DE RED	2379	0.003	0.0067	0.02753472
V-40	AJUSTE DE RED	1954	0.011	0.0572	0.02261574
V-41	AJUSTE DE RED	1472	0.002	0.007	0.01703704
V-42	AJUSTE DE RED	1375	0.002	0.0066	0.01591435
V-43	AJUSTE DE RED	2483	0.004	0.0136	0.02873843
V-44	AJUSTE DE RED	2050	0.002	0.0073	0.02372685
V-45	AJUSTE DE RED	1205	0.002	0.0074	0.01394676
V-46	AJUSTE DE RED	1959	0.003	0.0065	0.02267361

V-47	AJUSTE DE RED	1326	0.003	0.0071	0.01534722
V-48	AJUSTE DE RED	4571	0.002	0.0036	0.05290509
V-49	AJUSTE DE RED	4142	0.003	0.0061	0.04793981
V-50	AJUSTE DE RED	1848	0.004	0.01	0.02138889
V-51	AJUSTE DE RED	1221	0.003	0.0099	0.01413194
V-52	AJUSTE DE RED	1640	0.002	0.0068	0.01898148
V-53	AJUSTE DE RED	1215	0.005	0.0107	0.0140625
V-54	AJUSTE DE RED	1195	0.003	0.0068	0.01383102
V-55	AJUSTE DE RED	3628	0.003	0.0068	0.04199074
V-56	AJUSTE DE RED	2270	0.002	0.0062	0.02627315
V-57	AJUSTE DE RED	1263	0.004	0.011	0.01461806
V-58	AJUSTE DE RED	2701	0.003	0.0065	0.03126157
V-59	AJUSTE DE RED	4542	0.003	0.0065	0.05256944
V-60	AJUSTE DE RED	3503	0.002	0.0054	0.04054398
V-61	AJUSTE DE RED	4634	0.003	0.0067	0.05363426
V-62	AJUSTE DE RED	2132	0.002	0.0055	0.02467593
V-63	AJUSTE DE RED	1800	0.003	0.0085	0.02083333
V-64	AJUSTE DE RED	1839	0.003	0.0074	0.02128472
V-65	AJUSTE DE RED	1211	0.005	0.0126	0.0140162
V-66	AJUSTE DE RED	2435	0.004	0.0112	0.02818287
V-67	AJUSTE DE RED	1515	0.003	0.0078	0.01753472

*Nota.* Elaboración propia.

También se comprobó el error medio cuadrático con RTK y parámetros de factor de escala:

**Tabla 7**

*RMS con RTK*

ITEM	Descripción	Valor Real ( $y_i$ =GEODESIA)	Valor Predicho ( $\hat{y}_i$ =RTK)	Error ( $y_i - \hat{y}_i$ )	Error Cuadrado
1	1011119	197.438	197.438	0	1.81E-07
2	1011124	196.744	196.745	-0.001	1.499E-06

3	1011131	188.477	188.477	0	0
4	1011132	199.056	199.067	-0.011	0.000121
5	1011134	196.54	196.549	-0.009	0.00007569
6	1011135	196.314	196.32	-0.006	0.00004096
7	BM-01	196.957	196.957	0	0
8	BM-02	197.323	197.337	-0.014	0.00018986
9	BM-03	197.599	197.595	0.004	1.8413E-05
10	BM-04	197.961	197.967	-0.006	0.00003981
11	BM-06	203.484	203.496	-0.012	0.00014679
12	BM-08	204.996	204.996	0	0
13	BM-26	201.578	201.578	0	3E-09
14	BM-36	198.979	198.945	0.034	0.00116906
15	V-01	196.972	196.968	0.004	0.0000143
16	V-02	196.961	196.966	-0.005	2.4167E-05
17	V-03	197.042	197.04	0.002	6.136E-06
18	V-07	198.171	198.149	0.022	0.00049212
19	V-32	204.336	204.353	-0.017	0.00027962
20	V-33	204.262	204.27	-0.008	0.0000635
21	V-38	203.479	203.473	0.006	3.9177E-05

*Nota.* Elaboración propia.

El Error Cuadrático Medio (RMSE) es una medida que calcula el error promedio de un modelo al predecir valores numéricos. Es ampliamente utilizado en áreas como regresión, modelos de predicción y análisis de datos.

En este caso el error promedio es de 1 cm. El NRMSE (Normalized RMSE) te dice el error relativo como porcentaje del rango de tus datos.

**Tabla 8***RMSE de la red Geodésica*

<b>D (RMSE)</b>	<b>E (Rango de los datos)</b>	<b>F (RMSE Normalizado)</b>
0.011	16.52	0

*Nota.* Elaboración propia.

Un RMSE de 0.01 m y un NRMSE de 0 % indican que el modelo o levantamiento de información posee una precisión sobresaliente, adecuada para trabajos de topografía de alta precisión. Estos valores cumplen con los estándares establecidos por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y las normativas internacionales, como la ISO 19111 y las especificaciones del OGC.

Los resultados obtenidos reflejan una mejora sustancial respecto a las metodologías tradicionales, tanto en la densidad de puntos establecidos como en la trazabilidad de los datos. La integración de tecnologías como el LIDAR aerotransportado y la fotogrametría con drones, permitió generar modelos digitales del terreno de alta resolución, incluso en zonas con cobertura vegetal densa. Esto facilitó una interpretación más precisa del relieve, crucial para la adecuada ubicación de obras de drenaje y estructuras hidráulicas.

Asimismo, el uso de software especializado como Leica Infinity para el procesamiento y ajuste de la red geodésica proporcionó un control riguroso de la calidad de los datos. Las tolerancias fueron verificadas mediante criterios como el GDOP y los residuos del ajuste por mínimos cuadrados, asegurando coherencia entre las observaciones GNSS y las restricciones impuestas.

Como Jefe de Proyectos, el autor ha liderado de forma integral la planificación, ejecución y supervisión técnica del levantamiento topográfico y geodésico. Su intervención ha sido clave

para asegurar la integración efectiva entre las actividades de campo y las tareas de procesamiento en gabinete, garantizando la calidad, trazabilidad y cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Entre los aportes más relevantes del autor se destacan:

- Diseñó, coordinó y ejecutó la Red Poligonal Satelital con tecnología GNSS en modo estático y rápido-estático, cumpliendo los estándares del IGN.
- Planificó rutas, instaló vértices, controló la calidad de datos y procesó información en Leica Infinity, capacitando al equipo en cada etapa.
- Aplicó una estrategia mixta de levantamiento con drones (Zenmuse L1 y P1), RTK, estación total y nivel electrónico.
- Validó la calidad geométrica mediante análisis de tolerancias, revisión de efemérides y ajustes por mínimos cuadrados, alineando los datos al sistema WGS 84 / UTM zona 19S.
- Lideró la integración de datos GNSS, estación total, LIDAR y fotogrametría en una base georreferenciada, consolidando una plataforma técnica para el diseño de soluciones sostenibles de drenaje pluvial.

#### IV. CONCLUSIONES

- ❖ La red geodésica y la poligonal satelital ejecutadas con tecnología GNSS presentan precisiones horizontales <10 mm y verticales <35 mm, con un  $\sigma_0$  de 0.951 y validación Chi-cuadrado satisfactoria, cumpliendo plenamente los estándares del IGN y garantizando una base geodésica sólida y confiable para el proyecto.
- ❖ Los productos geospaciales generados —ortofotos de 2.5 cm/píxel, MDT y MDS— alcanzaron una calidad superior según las normativas nacionales IGN e internacionales ASPRS, respaldados por vuelos fotogramétricos sobre 1,200 ha y más de 11,750 imágenes, aportando información precisa y suficiente para el análisis técnico y el diseño del sistema de drenaje pluvial.
- ❖ La integración de GNSS, LIDAR, fotogrametría, RTK, estación total y nivelación consolidó una base geoespacial robusta, permitiendo un inventario técnico completo y confiable. Toda la topografía ha sido aprobada y actualmente se utiliza oficialmente para el diseño de los drenajes de Tambopata, demostrando que la información producida es determinante para la ingeniería del proyecto.

## V. RECOMENDACIONES

- ❖ Reforzar el uso de redes satelitales como base para proyectos de infraestructura, en lugar de depender exclusivamente de métodos convencionales, especialmente en zonas rurales o de difícil acceso.
- ❖ Promover la integración de tecnología LIDAR y fotogrametría aérea en las etapas iniciales de diseño de proyectos de saneamiento y drenaje, ya que proporcionan una visión tridimensional y detallada del entorno.
- ❖ Establecer lineamientos técnicos unificados para el procesamiento y ajuste de redes geodésicas, lo cual permitirá una mayor coherencia entre consultoras y entidades estatales.
- ❖ Fomentar convenios entre universidades y empresas como Acero Estudio, a fin de capacitar a nuevos profesionales con un enfoque práctico, actualizado y orientado al uso de tecnologías emergentes.

## VI. REFERENCIAS

- Banco Interamericano de Desarrollo. (2006). *Política de medio ambiente y cumplimiento de salvaguardas OP-703*. <https://www.iadb.org>
- Chávez, J. (2011). *Topografía aplicada: principios y procedimientos*. Editorial Universitaria.
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- Instituto Geográfico Nacional del Perú. (2020). *Norma técnica de geodesia*. <https://www.ign.gob.pe>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2014). *Manual técnico para el diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano*.
- Organización Internacional de Normalización. (2013). *ISO 19157: Geographic information—Data quality*. ISO.
- Organización Internacional de Normalización. (2014). *ISO 19115: Geographic information—Metadata*. ISO.