



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO EN EL
DEPÓSITO DE RELAVE HUINCHULLA, HUAYTARÁ - HUANCAVELICA

PERIODO 2023 - 2024

Línea de investigación:

Procesamiento digital de imágenes y señales

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

Autor:

Aguirre Sánchez, Martín Joaquín

Asesor:

Sánchez Carrera, Dante Pedro

ORCID: 0000-0002-1241-0483

Jurado:

Zevallos Paredes, Jhon

Hinojosa Pedraza, Karina Inés

Díaz Villalobos, Carlos Alberto

Lima - Perú

2024

AGUIRRE SANCHEZ

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.iiap.gob.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uts.edu.co:8080 Fuente de Internet	1%
5	PROYECTOS, ASESORIA, SERVICIOS A LA MINERIA Y ASUNTOS AMBIENTALES SAC - PASMINGA SAC. "Segunda Modificación del Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Antapite-IGA0003646", R.D. N° 356-2016-MEM/DGAAM, 2020 Publicación	1%
6	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante	<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO EN EL

DEPÓSITO DE RELAVE HUINCHULLA, HUAYTARÁ - HUANCAMELICA

PERIODO 2023 - 2024

Línea de investigación:

Procesamiento digital de imágenes y señales

Informe suficiencia profesional para optar el título profesional de Ingeniero Geógrafo

Autor:

Aguirre Sánchez, Martín Joaquín

Asesor:

Sánchez Carrera, Dante Pedro

ORCID: 0000-0002-1241-0483

Jurado:

Zevallos Paredes, Jhon

Hinojosa Pedraza, Karina Inés

Díaz Villalobos, Carlos Alberto

Lima - Perú

2024

DEDICATORIA

A mi madre Betty Sánchez y padre Víctor Aguirre por brindarme su amor, apoyo y su fe en mí, quienes me otorgaron la vida y educación, un especial sentimiento de amor y gratitud.

ÍNDICE

RESUMEN	8
ABSTRACT.....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Trayectoria del autor	10
1.2 Descripción de la empresa	12
1.3 Organigrama de la empresa.....	14
1.4 Áreas y funciones desempeñadas	15
II. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON VEHÍCULO AÉREO NO TRIPILADO (VANT) EN DEPÓSITO DE RELAVES.....	17
2.1. Objetivos.....	18
2.1.1. Objetivo General.....	19
2.1.2. Objetivos Específicos.....	19
2.2. Antecedentes	19
2.3. Descripción del ámbito de estudio.....	21
2.3.1. Ubicación Geográfica	21
2.3.2. Área de estudio	23
2.4. Normativa.....	25
2.5. Equipos y software.....	26
2.5.1. Equipos	26
2.5.2. Software	31
2.6. Metodología	36
2.6.1. Fase I - Pre-campo	37
2.6.2. Fase II - Campo.....	39
2.6.3. Fase III - Gabinete	51

2.7. Resultados	58
2.8. Discusión de Resultados	70
III. APORTES MÁS DESTACADOS A LA EMPRESA	71
IV. CONCLUSIONES.....	72
V. RECOMENDACIONES	73
VI. REFERENCIAS	74
VII. ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Vías de acceso a la Unidad Minera Antapite</i>	22
Tabla 2 <i>Características del Depósito de Relave Huinchulla</i>	23
Tabla 3 <i>Características Técnicas del Drone Phantom 4 RTK</i>	27
Tabla 4 <i>Características Técnicas de Estación D-RTK 2</i>	28
Tabla 5 <i>Características Técnicas Estación Total</i>	30
Tabla 6 <i>Número de puntos de control según el tipo de Drone</i>	42
Tabla 7 <i>Cuadro de coordenadas de puntos BM de la Unidad Minera Antapite</i>	43
Tabla 8 <i>Resultados de datos de levantamiento topográfico Período 2023 - 2024</i>	58
Tabla 9 <i>Resultados de datos de condiciones climáticas Período 2023 - 2024</i>	58
Tabla 10 <i>Resultado de tiempo empleado en el levantamiento topográfico Período 2023 - 2024</i>	59
Tabla 11 <i>Cuadro de coordenadas de puntos BM de la Unidad Minera Antapite</i>	59
Tabla 12 <i>Cuadro de coordenadas de puntos de control año 2023</i>	61
Tabla 13 <i>Cuadro de puntos de control año 2024</i>	61
Tabla 14 <i>Resultados de error de precisión de puntos año 2023</i>	62
Tabla 15 <i>Resultados de error de precisión de puntos de control año 2024</i>	63
Tabla 16 <i>Cuadro de comportamiento de error de precisión Período 2023 - 2024</i>	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la Empresa.....	14
Figura 2 Ubicación Provincial-Distrital de la Unidad Minera Antapite	21
Figura 3 Mapa de acceso a la Unidad Minera Antapite.....	22
Figura 4 Foto aérea del Depósito de Relaves Huinchulla	24
Figura 5 Componentes del Drone Phantom 4 RTK.....	26
Figura 6 Estación móvil RTK 2.....	28
Figura 7 Estación Total Leika.....	29
Figura 8 Interfaz de (a) aplicación DJI GS RTK, (b) aplicación UAV Forecast.....	31
Figura 9 Interfaz del programa Agisoft Metashape.....	32
Figura 10 Interfaz del programa Qgis 3.28.3	33
Figura 11 Interfaz del programa AutoCAD Civil 3D	34
Figura 12 Interfaz del programa Autodesk InfraWorks.....	35
Figura 13 Diagrama de metodología	36
Figura 14 Interfaz de plan de vuelo programa GoogleEarth.....	38
Figura 15 Ubicación óptima de punto de control.....	40
Figura 16 Distribución óptima de los puntos de control terrestre.....	41
Figura 17 Marca de punto BM como punto de control	44
Figura 18 Fotografía aérea con alta nubosidad	45
Figura 19 Fotografía aérea con presencia de sombra	46
Figura 20 Fotografía aérea distorsionada por el viento.....	47
Figura 21 Grados de Índice Kp	48
Figura 22 Despegue de Drone Phantom	50

Figura 23 <i>Interfaz de proceso de importación de fotografías aéreas</i>	51
Figura 24 <i>Interfaz de proceso de orientación de fotografías aéreas</i>	52
Figura 25 <i>Interfaz de proceso de georreferenciación de puntos de control</i>	53
Figura 26 <i>Interfaz de nube de puntos densa</i>	54
Figura 27 <i>Interfaz de proceso de construcción de MDE</i>	55
Figura 28 <i>Interfaz de proceso de construcción de Ortomosaico</i>	56
Figura 29 <i>Interfaz de curvas de nivel en software AutoCAD Civil 3d</i>	57
Figura 30 <i>Numeración y distribución de puntos de control periodo (a) 2023 - (b)2024</i>	60
Figura 31 <i>Gráfica de resultados de error de precisión de puntos de control periodo 2023</i>	62
Figura 32 <i>Gráfica de resultados de error de precisión de puntos de control periodo 2024</i>	63
Figura 33 <i>Comportamiento de error de precisión Periodo 2023 – 2024</i>	64
Figura 34 <i>Imágenes por iluminación periodo (a) 2023 - (b) 2024</i>	65
Figura 35 <i>Imágenes por distorsión periodo (a) 2023 - (b) 2024</i>	66
Figura 36 <i>Imágenes por nubosidad periodo (a) 2023 - (b) 2024</i>	67
Figura 37 <i>Resultado en modelado 3D en programa Autodesk InfraWorks</i>	68
Figura 38 <i>Secciones transversales periodo (a) 2023 - (b) 2024</i>	69

RESUMEN

El presente informe de suficiencia profesional describe una actividad relevante de la experiencia profesional y laboral obtenida, la descripción general de la empresa, así como su misión, visión, organigrama y funciones desempeñadas en la trayectoria de mi formación profesional y laboral a su vez tiene como objetivo realizar un análisis comparativo entre los resultados de levantamiento con vuelo de vehículo aéreo no tripulado (VANT) Drone en los años 2023 y 2024, con la finalidad de determinar los factores que influyen para la ejecución de un levantamiento topográfico con vuelo de Drone. Este estudio se enfoca en la relavera Huinchulla de la unidad minera Antapite realizado en base a la experiencia profesional obtenida en la empresa SINCO Ingeniería & Construcción S.A.C. en mi cargo de especialista del área de topografía y fotogrametría. Esta experiencia sirvió como un aporte y herramienta eficaz para implementar la óptima metodología para el levantamiento fotogramétrico con vuelo de Drone y así poder comparar los resultados obtenidos para determinar los factores que influyeron que el trabajo resulte más eficiente, a modo de conclusión se estima que los factores de altura de vuelo, distribución de puntos de control y factores ambientales influyen en los resultados del procesamiento de vuelo de Drone como una topografía y ortofoto precisamente georreferenciada y actualizada en cual se captura las formas topográficas características del área de estudio.

Palabra clave: Levantamiento fotogramétrico, VANT, relaves

ABSTRACT

This professional sufficiency report describes a relevant activity of the professional and work experience obtained, the general description of the company, as well as its mission, vision, organizational chart and functions performed in the trajectory of my professional and work training. The objective is to carry out a comparative analysis between the survey results with a Drone unmanned aerial vehicle (UAV) flight in the years 2023 and 2024, in order to determine the factors that influence the execution of a topographic survey with a Drone flight. This study focuses on the Huinchulla tailings dam of the Antapite mining unit, carried out based on the professional experience obtained in the company SINCO Engineering & Construction S.A.C. in my position as a specialist in the area of topography and photogrammetry. This experience served as a contribution and effective tool to implement the optimal methodology for the photogrammetric survey with Drone flight and thus be able to compare the results obtained to determine the factors that influenced the work to be more efficient. In conclusion, it is estimated that Flight height factors, control point distribution and environmental factors influence the results of Drone flight processing as a precisely georeferenced and updated topography and orthophoto in which the characteristic topographic forms of the study area are captured.

Keyword: *Photogrammetric survey, UAV, tailings*

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Trayectoria del autor

Martín Joaquín Aguirre Sánchez, bachiller en Ingeniería Geográfica, especializado en el manejo de datos geoespaciales y su aplicación In situ, he alcanzado una experiencia de más de 3 años con competencia profesionales y tecnológicas en el uso de la Geomática y en actividades relacionadas al análisis y gestión de datos espaciales enfocado en la automatización de datos al manejo cartográfico, modelado, edición, digitalización, elaboración e interpretación de mapas temáticos, catastrales, topográficos y planos de cierre contemplados en diferentes sectores públicos y privados tanto en el sector urbano, arqueológico, minero; entre otros.

Inicie mi formación laboral asumiendo el cargo de asistente de sistema de información geográfica aplicando procesamiento y georreferenciación de data delictivas mediante recolección de datos de carpetas fiscales para la elaboración de mapas de delitos en el área de Observatorio de Criminalidad del programa de voluntariado del Ministerio Publico en el año 2018.

Posterior a ello, asumo el cargo de especialista técnico profesional en procesamientos de fotogrametría en el área de Dirección General de Patrimonio Arqueológico Inmueble, donde se identificaron las zonas de ubicación de los restos arqueológicos en el Perú, data de importancia para el Ministerio de Cultura, actualizo la base de datos primigenia en el registro del CIRA (Certificados de Inexistencia de Restos Arqueológicos) en el año 2019.

Seguidamente, asumí el cargo de especialista de sistema de información geográfica aplicada en estudios ambientales como EIA (Evaluación de impacto ambiental), MEIA (Modificatoria de un Estudio de Impacto Ambiental), etc. en proyectos civiles, mineros e hidráulicos, desarrollados por la empresa Geosant Consulting E.I.R.L. en el año 2020.

En la actualidad vengo desarrollando el cargo de técnico y profesional líder en Geodesia, topografía, batimetría y Fotogrametría, donde dirigí los proyectos logrando una eficiencia operativa y asertiva para la toma de decisiones estratégicas para los proyectos donde se realizó; levantamientos topográficos, batimétrico y levantamiento fotogramétrico mediante el vuelo de Drone Phantom RTK (del inglés Real Time Kinematic o navegación cinética satelital en tiempo real) , para diferentes proyectos mineros desarrollados en los años 2022, 2023 a la actualidad en la empresa SINCO Ingeniería & Construcción S.A.C.

1.2 Descripción de la empresa

SINCO Ingeniería & Construcción S.A.C. es una empresa peruana líder en consultoría especializadas en desarrollar:

- Estudios de Ingeniería básica.
- Estudios de Ingeniería de prefactibilidad.
- Estudios de Ingeniería de factibilidad.
- Estudios de Ingeniería de Detalle.
- Evaluaciones y Monitoreo de obras civiles.
- Supervisiones de obras.
- Asesoramiento y acompañamientos EOR.

La empresa SINCO Ingeniería y Construcción S.A.C., es especializada en construcción, planificación y desarrollo de proyectos en el sector civil, minero, energético, hidráulico, mecánico, eléctrico, transporte, saneamiento y medio ambiente.

Cuenta con un staff de ingenieros especializado y reconocidos en las diferentes áreas de ingeniería asesorando con su vasta experiencia en la planificación y desarrollo de proyectos a nivel nacional e internacional como los países de Ecuador y Colombia.

Misión - Visión**Misión:**

Brindar proyectos de ingeniería basada en la gestión del conocimiento, la calidad y eficiencia operativa, generando valor con soluciones innovadoras y un servicio de alta calidad para el proceso de desarrollo de proyectos.

Visión:

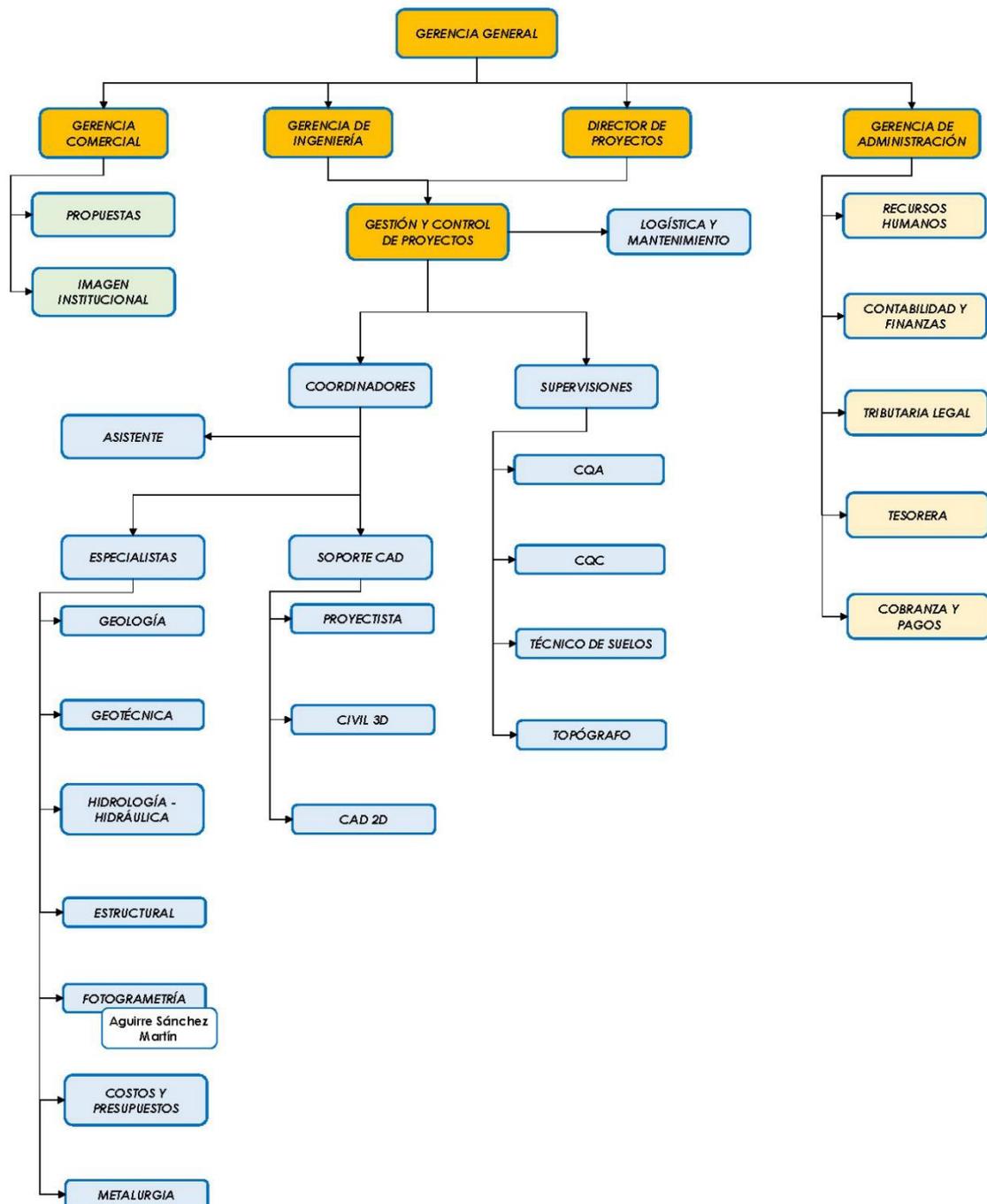
Ser una empresa consultora reconocida a nivel nacional e internacional por su eficiencia e innovación en la ejecución de los proyectos en estudios de ingeniería en la prestación de servicios profesionales, aplicando altos estándares de calidad, capacidad técnica, innovación y tecnología.

1.3 Organigrama de la empresa

La empresa SINCO Ingeniería y Construcción S.A.C., tiene las diferentes áreas de estudios de ingeniería el cual se presenta a continuación:

Figura 1

Organigrama de la Empresa



1.4 Areas y funciones desempeñadas

Dentro de la empresa SINCO Ingeniería & Construcción S.A.C. el área donde me he desempeñado es topografía, fotogrametría, batimetría donde vengo desarrollando las siguientes funciones:

- Cargo de Especialista en el área de Topografía y fotogrametría.
- Revisión de información de la data alcanzada por el cliente.
- Elaboración de planes de vuelo, ya sea para estudios de batimetría o fotogrametría.
- Verificación y ejecución de colocación optima de puntos de control en trabajos de campo.
- Ejecución de levantamiento topográfico con vuelo de Drone.
- Procesamiento de información con softwares especializados.

A continuación, se expone los siguientes proyectos donde se participó como asistente y líder en trabajo de campo como en oficina:

- Levantamiento topográfico para la actualización de la estabilidad física de las relaveras y desmontaras de la Unidad Minera Cobriza. (abril 2024).
- Estudios de Ingeniería Complementarios al MEIA U.M. Antapite. (abril 2024).
- Levantamiento Fotogramétrico para la ejecución de una cancha relavera de la planta procesadora de minerales de 350 TMD. en la zona pampa blanca del centro poblado de la Rinconada – Distrito de Ananea (diciembre 2023).
- Elaboración del Levantamiento Batimétrico de la presa de relaves Alpamarca (noviembre 2023).
- Ingeniería de Detalle de la VI etapa de recrecimiento del depósito de relaves D (septiembre 2023).

- Levantamiento Fotogramétrico con Drone para estudios de Ingeniería Geológica y Geodinámico del talud del acantilado del depósito de relaves área norte, determinación de las obras para estabilizar el talud y rehabilitación depósito relaves área norte (septiembre 2023).
- Levantamiento Fotogramétrico para la Ingeniería de detalle de cierre de 17 componente - U.M. Morococha (junio 2023).
- Servicio de Batimetría de los depósitos de relaves para los estudios de Ingeniería Complementaria a la MEIA Sumaq Rumi – Sierra Sumaq (marzo 2023).
- Servicio de Batimetría de los depósitos de relaves para los estudios de Ingeniería Complementaria a la MEIA Antapite – Sierra Antapite (mayo 2022).
- Ingeniería de detalle para el bombeo de Relave en Pulpa hacia el interior Mina por el Nv. 70 Unidad Minera Cobriza – Doerun Perú (febrero 2022).
- Levantamiento Batimétrico y Topográfico del área de Decantación del Depósito de Relaves Atacocha – Nexa Resources Atacocha (agosto 2021).
- Levantamiento Batimétrico y Topográfico del área de Decantación del Depósito de Relaves El Provenir – Nexa Resources Atacocha (junio 2021).

II. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON VEHÍCULOS AÉREO NO TRIPULADO (VANT) EN DEPÓSITO DE RELAVES

El levantamiento topográfico con vuelo Drone es una tecnología que avanza de manera rápida esto implica que surja la necesidad de realizar mejoras en la metodología para así poder aumentar el rendimiento y tener resultados óptimos, es por ello que en el presente capítulo está enfocado en ejecutar la metodología del levantamiento fotogramétrico y tiene como finalidad en analizar los resultados de levantamiento fotogramétrico con vuelo de Drone realizados en el año 2023 y 2024 en el depósito de relave minero Huinchulla localizado entre los distritos de Ocoyo y Laramarca, provincia de Huaytará del departamento de Huancavelica. Esto como parte de mi experiencia laboral como especialista en el área de Fotogrametría en la empresa SINCO Ingeniería & Construcción. Se presenta la metodología por fases esto incluye las consideraciones generales como planificación de vuelo y el alcance de estudio, consideraciones durante la fase de campo como la ubicación correcta los puntos de control y factores ambientales a tener en cuenta durante el vuelo. Para posteriormente realizar el proceso de orientación de imágenes, y esto conlleva como resultado una topografía y ortofoto optima, que facilita una cartografía precisa, la cual permite la elaboración de los planos para el posterior estudio de geología, geotecnia y movimientos de tierras para las fases del recrecimiento del relave.

2.1 Objetivos

2.1.1. Objetivo General

- Realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos del levantamiento topográfico con vuelo de Drone en la relavera Huinchulla de la Unidad Minera Antapite, Huancavelica para el periodo 2023 – 2024.

2.1.2. Objetivo Especifico

- Desarrollar la metodología del levantamiento topográfico con vuelo de Drone la cual permita evaluar un comparativo de los resultados.
- Determinar los factores que influyen en la optimización del levantamiento topográfico con vuelo de Drone para el periodo 2023 – 2024.
- Analizar la precisión obtenida a través del levantamiento fotogramétrico en los años 2023 y 2024 del depósito de relave Huinchulla.

2.2 Antecedentes

Ocsa (2022), en su tesis “Aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frente de minado, Unidad Minera Las Bambas”, determino la aplicación del Drone como precisión, tiempo e importancia en zonas de alto riesgo, para ello determinó el volumen de material de mina donde se concluye que el levantamiento permite elaborar con mayor precisión, tiempo y seguridad para este tipo de proyectos de zona de riesgo.

Ríos (2021) en su tesis “Identificación de la cantidad de puntos de control que optimicen un levantamiento fotogramétrico para diferentes características de terreno por medio de un análisis comparativo de precisiones. Caso de estudio la Mesa de los Santos en el año 2021” identifica la cantidad de puntos de control el cual optimice un levantamiento fotogramétrico por medio de un estudio de análisis comparativo de precisiones teniendo como resultados que en un área de vuelo de 3 hectáreas existe evidencias claras en precisión tomado 3 puntos de control con respecto a 8 puntos de control respecto a diferente tipos de terreno con diferencia de 0.018 mm de error en terrenos escarpados concluyendo que para un terreno con topografía planas o llanos 3 puntos de control son suficientes y usar más representa mayor exactitud y menor error en los resultados en cambio para terreno escarpado y pendientes altamente moderado presenta mayor error de precisión por lo cual se requiere mayor número de puntos de control.

Matías (2020) en su trabajo de investigación “Aplicación de Drone para mejorar los procesos productivos en Minera Chinalco Perú S.A., Morococha 2020”, desarrollado en la Unidad Minera Chinalco Perú SA, Morococha desarrolla la mejora de procesos productivos en la mina implementando novedades tecnológicas en el ámbito de la topografía mediante el uso del Drone y a la vez su importancia como herramienta eficiente en las operaciones minera los cuales se tiene como resultados que fueron en su totalidad positivos obteniendo bajo costo operativo, eficiente y sostenible. Concluyo que el empleo de la tecnología de Drone está en auge en diferentes aplicaciones en el ámbito de la minería.

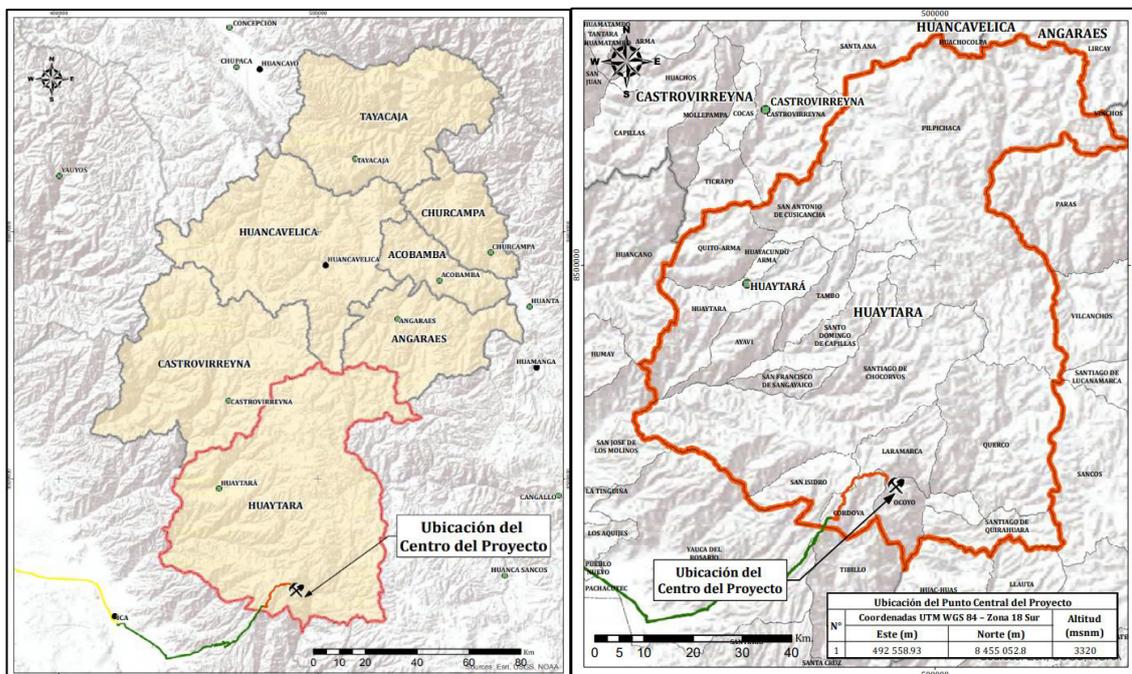
2.3 Descripción del ámbito de estudio

2.3.1 Ubicación Geográfica

El depósito de relaves Huinchulla ubicado en la Unidad Minera Antapite de Sierra Antapite S.A.C, entre los distritos de Ocoyo y Laramarca, provincia de Huaytará, en la parte meridional del departamento de Huancavelica; está ubicada a una altitud promedio de 3350 m.s.n.m.

Figura 2

Ubicación Provincial-Distrital de la Unidad Minera Antapite



El acceso a la Unidad Minera Antapite es por medio de vía terrestre desde la capital de Lima al departamento de Ica, a través de la Carretera Panamericana Sur en un recorrido de 290 km, luego se continúa por la Carretera asfaltada pasando por los centros poblados de Aquijes a Córdova en un recorrido de 97 km, por último, desde Córdova hacia la Unidad Minera con un tramo de 27 km.

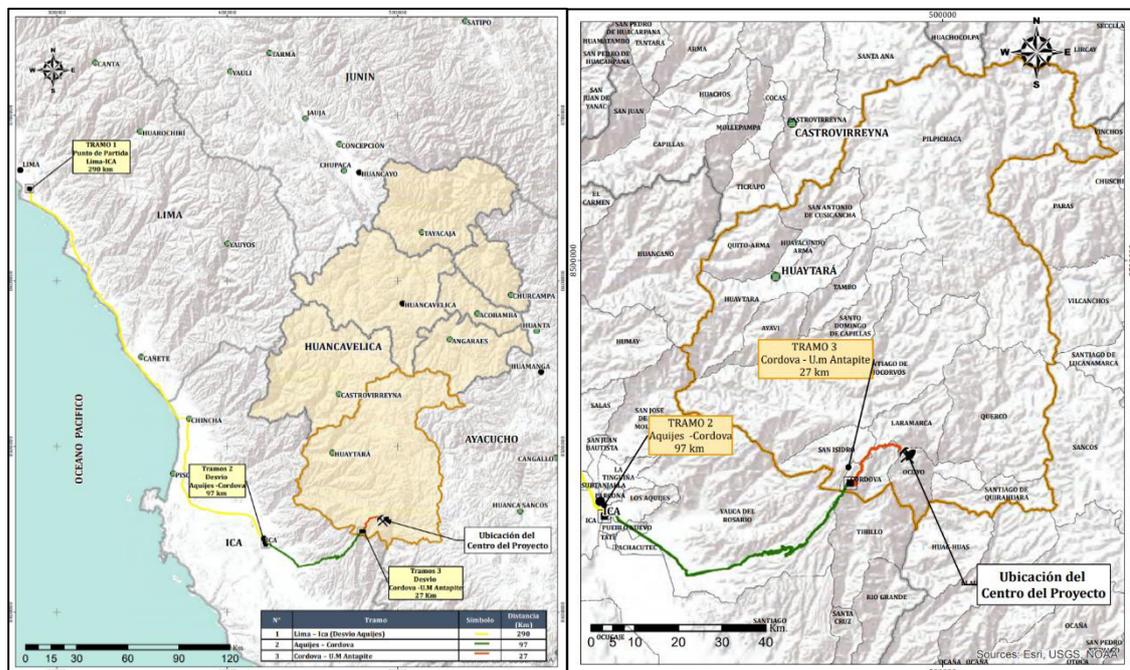
Tabla 1

Vías de acceso a la Unidad Minera Antapite

Tramo	Distancia (km)
Lima - Ica	290
Aquijes - Córdova	97
Córdova – U.M. Antapite	27

Figura 3

Mapa de acceso a la Unidad Minera Antapite



2.3.2 Área de estudio

El componente en el cual se va a realizar el levantamiento topográfico mediante vuelo de Drone es el depósito de relaves Huinchulla, localizada en la quebrada de mismo nombre en la parte occidental de la Unidad Minera.

A continuación, se presenta las características más importantes del depósito de relave Huinchulla el cual es un punto de alcance de estudio para el levantamiento fotogramétrico.

Tabla 2

Características MENSURABLES del Depósito de Relave Huinchulla

Características	
Componente	Depósito de relaves
Código	DRA-01
Coordenadas UTM WGS84 18S	
Norte	Este
8454056	492444
Coordenadas PSAD56 18S	
Norte	Este
8454056	492444
Altura	3280
Localización	Localizada en la quebrada Huinchulla
Parámetro área superficial (m ²)	149028
Parámetro profundidad (m)	2.20
Geometría del componente sección – Base (m)	1100
Geometría del componente sección – Alto (m)	401.5
Geotextil	600 g/m ² de peso
Geomembrana	HDPE 2mm

La siguiente figura muestra la foto aérea realizada del levantamiento en el 2024 en el depósito de relaves Huinchulla.

Figura 4

Foto aérea del Depósito de Relaves Huinchulla



2.4 Normativa

Para operar un Drone o también llamado por su nombre técnico RPA (Aeronave Pilotada a distancia), se debe estar al tanto con la legislación vigente por la DGAC (Dirección General Aeronáutica Civil) del Ministerio de transporte y Comunicaciones (MTC) aprobada por el congreso, ley que regula el uso y operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia, esta ley establece que los operadores de RPA se debe tramitar una licencia la cual es otorgada luego de llevar un curso con una capacitación de 20 horas el cual proporciona los conocimientos teóricos y practico

Es importante seguir los lineamientos de la Ley de Aeronáutica Civil del Perú para el proceso de levantamiento topográfico con vuelo Drone ya que para operar debe tenerse en cuenta que el equipo deberá estar registrado en la DGAC (Dirección General Aeronáutica Civil) y el operador del RPA (Drone) deberá contar con la licencia de piloto de acreditación, a continuación, se menciona la base legal:

- Ley 27261. Ley de Aeronáutica Civil y su reglamento DS N° 050-2001-MTC.
- Ley N° 30740 21.03.2018 Ley que regula el uso y las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) 21.03.2018.
- NTC-001-2015 Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia – RPAS.
- Documento 10019 AN/507 de la OACI “Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)”, abril 2015

2.5 Equipos y Softwares utilizados

Para poder realizar el levantamiento topográfico mediante fotogrametría aérea con Drone es necesario emplear los siguientes equipos y software.

2.5.1 Equipos

- Drone DJI Phantom 4 RTK

Equipo enfocado para proyectos de levantamiento fotogramétricos el cual ofrece un levantamiento de información eficaz con un alto nivel de precisión factible esto gracias a la tecnología RTK de las siglas posicionamiento en tiempo real (Real Time Kinematic) se define como un sistema de alta precisión de las señales GNSS de las siglas de Sistemas Global de Navegación por Satélite (Global Navigation Satélite System) mediante la estación base proporciona datos de posicionamiento en tiempo real para mejorar la precisión de los metadatos de las imágenes.

Figura 5

Componentes del Drone Phantom 4 RTK



A continuación, se expone las características más relevantes del Drone utilizado en el levantamiento.

Tabla 3

Características Técnicas del Drone Phantom 4 RTK

Características Técnicas Drone DJI Phantom 4 RTK	
Peso	1391 g.
Distancia Diagonal	350 mm
Altura máxima sobre el nivel medio del mar	6000 m. (19685 pies)
Velocidad máxima en ascenso	6 m/s (vuelo automático); 5 m/s (control manual)
Velocidad máx. en descenso	3 m/s
Velocidad máx.	50 km/h (31 mph) (modo Piloto)
	58 km/h (36 mph) (modo Automático)
Tiempo máx. de vuelo	30 minutos
Rango de temperatura de funcionamiento	0 a 40 °C (32 a 104 °F)
Rango de precisión de vuelo estacionario	RTK desactivado
	Vertical: ±0.1 m (con posicionamiento visual); ±0.5 m (con posicionamiento GNSS)
	Horizontal: ±0.3 m (con posicionamiento visual); ±1.5 m (con posicionamiento GNSS)
Rango de detección de obstáculos	0.7 -30 m (2 - 98 pies)
Voltaje	15.2 V
Tipo de batería	LiPo 4S
Energía	89.2 Wh

- Estación móvil D-RTK 2

Componente del Drone Phantom de suma importancia como base móvil GNSS con una mayor precisión el cual permite el posicionamiento por satélite en tiempo real.

Figura 6

Estación móvil RTK 2



Tabla 4

Características Técnicas de Estación D-RTK 2

Características Técnicas Estación móvil D-RTK-2	
Dimensiones	168 mm x 168 mm x 1708 mm
Frecuencia	GPS, BEIDOU, GLONASS, Galileo
Precisión de posicionamiento	Punto único Horizontal : 1,5 m(RMS) Vertical : 3,0 m(RMS) RTK Horizontal : 1 cm+ 1 ppm(RMS) Vertical : 2 cm+ 1 ppm(RMS)
Capacidad de almacenamiento	16 GB
Batería	Tipo: batería de iones de litio, Capacidad: 4920 mAh, Energía: 37,3 WH

- Estación Total Leika y accesorios:

Este equipo permitirá llevar a cabo la tarea levantamiento de puntos de control terrestre para determinar de manera precisa las coordenadas de puntos de control.

Figura 7

Estación Total Leika



Para un buen funcionamiento del equipo y garantizar el óptimo levantamiento de puntos de control se realizar una calibración del equipo a continuación se presenta las características técnicas del equipo.

Tabla 5

Características Técnicas Estación Total

Características Técnicas de la Estación Total	
Equipo	Estación Total
Marca	Leica
Modelo	TS06 PLUS
N° de Serie	1892443
Precisión	±1"
Aumento	30X
Lectura Mínima	01" / 01"
Alcance EDM	3500m C/P 500m S/P
Fecha de calibración	02 de marzo del 2024
Fecha de próxima calibración	02 de setiembre del 2024

2.5.2 Softwares

Software de planeamiento de vuelo, para realizar la planificación de vuelo del área de estudio se opta por usar los siguientes programas como herramienta eficaz

- DJI GS RTK

Aplicación incluida en el mando del Drone RTK donde se ejecuta las misiones, se configura los parámetros, tipos de vuelo y condición de la batería.

- Aplicación UAV Forecast

Aplicación para vuelos fotogramétrico donde se detalla a tiempo real los pronósticos de tiempo, numero de satélites, radiación electromagnética de la actividad solar, entre otros.

Figura 8

Interfaz de (a) aplicación DJI GS RTK, (b) aplicación UAV Forecast



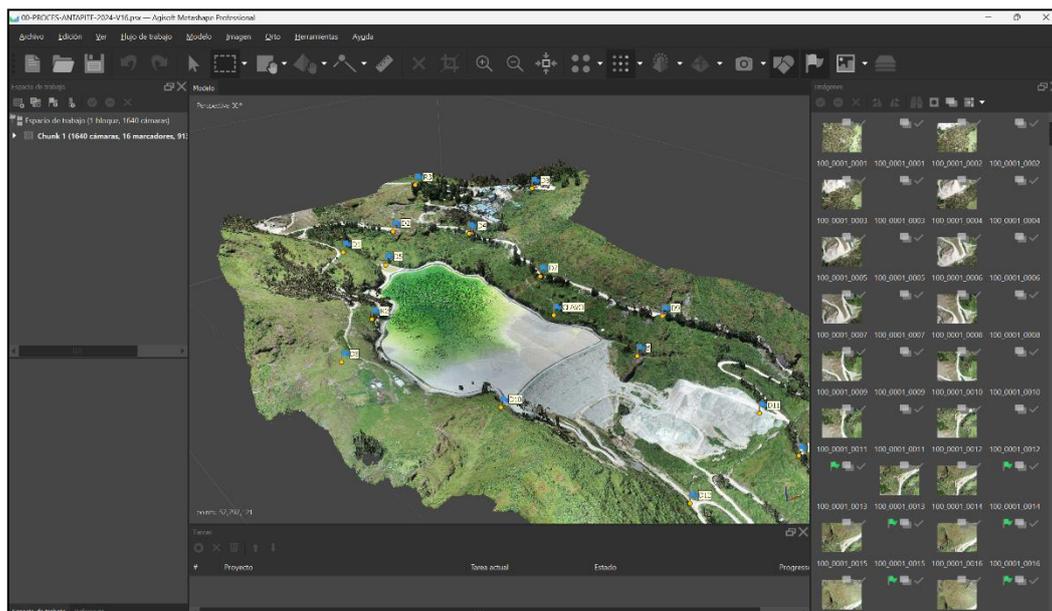
Software de procesamiento, existen diversos programas para realizar dicha tarea, sin embargo, con respecto a la calidad, tiempo y eficiencia se opta por el uso del siguiente programa:

- Agisoft Metashape Professional:

Programa donde se importan las fotos ejecutadas en vuelo donde posteriormente mediante procesos se genera la nube de puntos densa la cual da lugar a la obtención del MDE (Modelo Digital de Elevación) y la ortofoto del área de estudio.

Figura 9

Interfaz del programa Agisoft Metashape



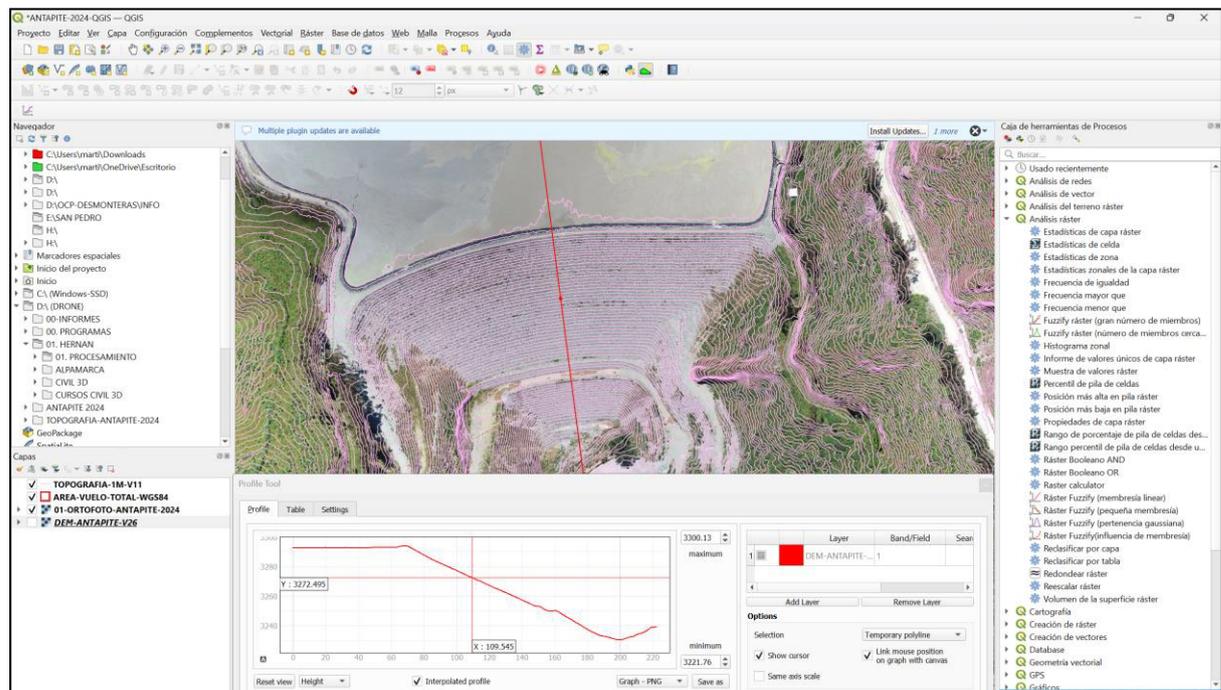
Software de post-procesamiento, posteriormente de la etapa a de procesamiento se requiere realizar un tratamiento de los productos en este caso del MDE

- QGIS 3.28.3

Programa de código abierto donde se analiza, gestiona, interpreta, desarrolla mediante procesos datos geográficos, se aplica en este estudio para la extracción de curvas de nivel de MDE.

Figura 10

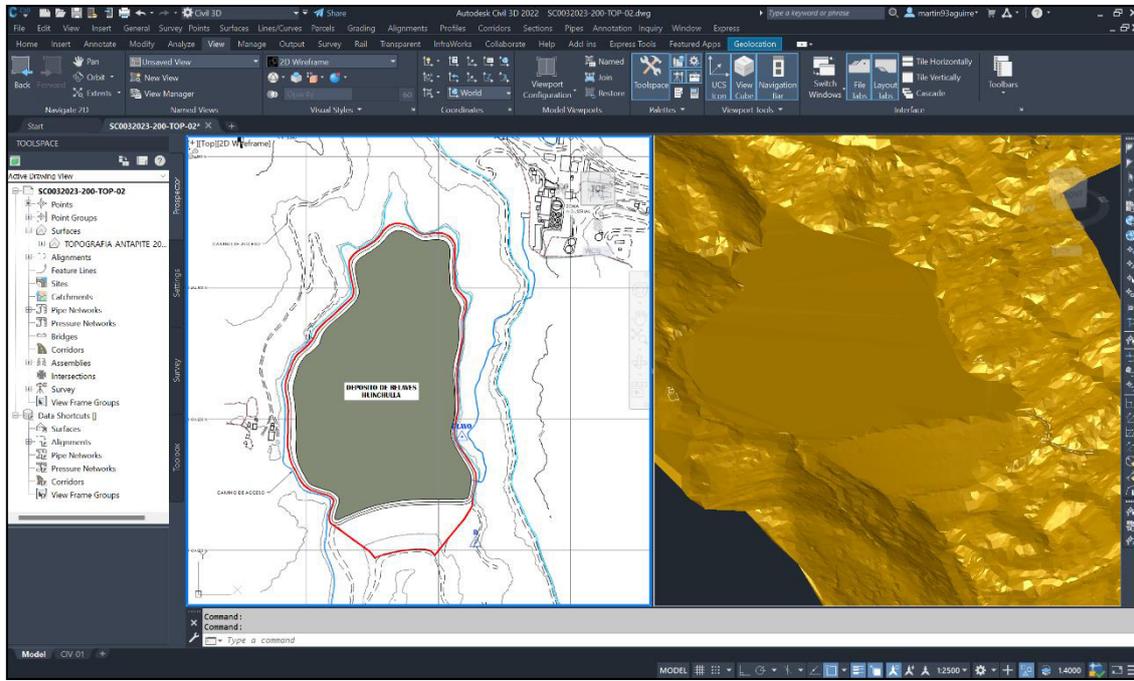
Interfaz del programa Qgis 3.28.3



- AutoCAD Civil 3D

Figura 11

Interfaz del programa AutoCAD Civil 3D

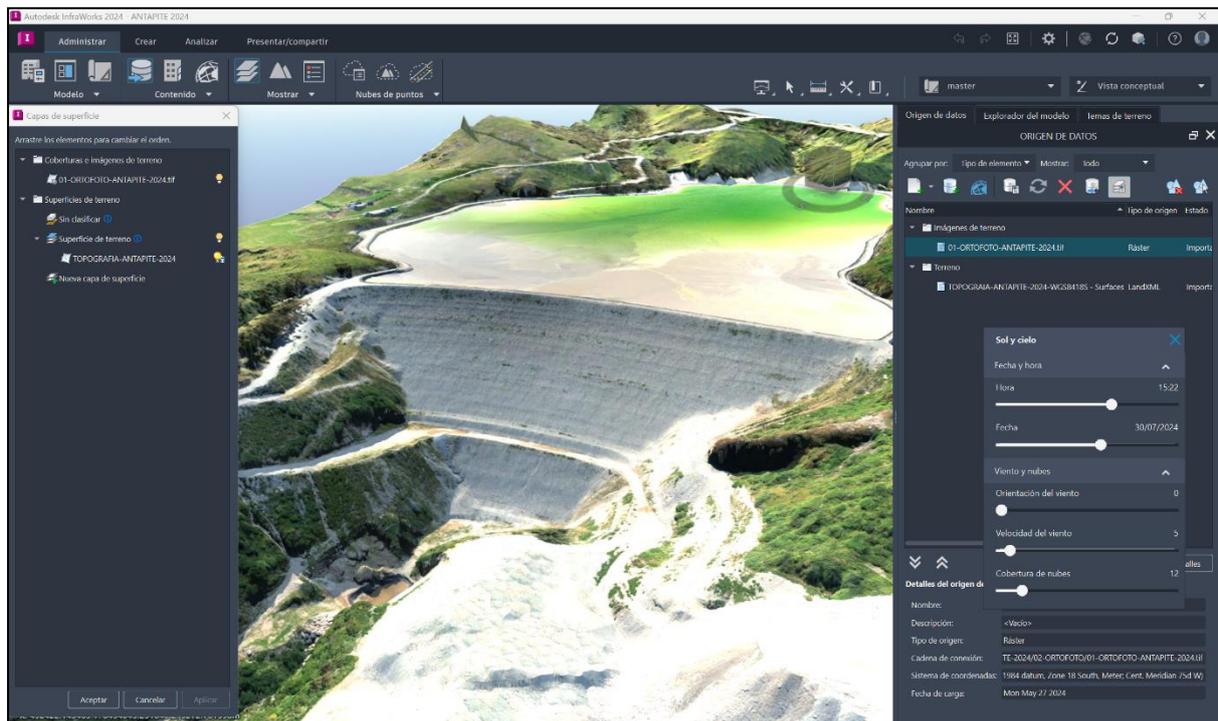


- Autodesk InfraWorks

Programa donde se genera un entorno realista como presentación para definir obras de ingeniería.

Figura 12

Interfaz del programa Autodesk InfraWorks



2.6 Metodología

La metodología para el estudio se detalla en tres fases en la siguiente figura:

Figura 13

Diagrama de metodología



Se ha desarrollado una metodología precisa y ordenada, la cual muestra actividades realizadas en campo como en gabinete las cuales tienen fases que facilitaron a alcanzar los resultados del levantamiento topográfico mediante vuelo de Drone, dicha información cartográfica es de suma importancia para la generación de planos de ingeniería de factibilidad, ingeniería de detalle e informes de estudios básicos.

2.6.1 Fase I : Pre-Campo

- Alcance de Estudio

Se debe conocer el objetivo del proyecto a volar, ya que esto es de suma importancia para realizar la planificación del área de vuelo y los parámetros de uso a ejecutar.

- Factor Normativo

Antes de realizar la operación de vuelo de Drone se debe tener en cuenta los reglamentos y regulaciones, como la acreditación transitoria de operador piloto RPAS, lineamientos como normas para las operaciones con vuelo de Drone; además en los vuelos en las unidades mineas se requiere el procedimiento escrito de trabajo seguro así como la Identificación de Peligros y la Evaluación de Riesgos y Controles (IPERC) para ejecutar los trabajos de levantamiento fotogramétrico con Drone.

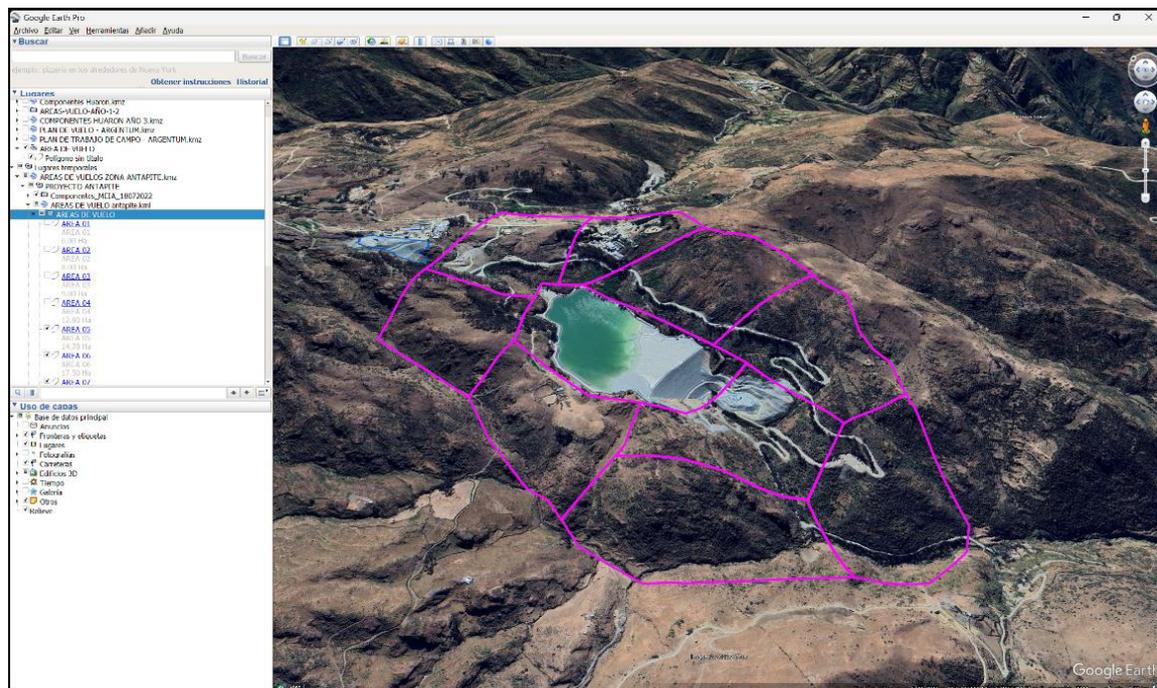
- Planificación de misión de vuelo

Punto de suma importancia para realizar los vuelos, donde se evidencia la ruta planificada del RPA para lograr un óptimo vuelo y disminuir la probabilidad de error, también se debe conocer el alcance de estudio para realizar el plan de misión de vuelo delimitando toda la zona de estudio teniendo en cuenta la morfología del terreno y si el caso se requiera se distribuye o aumenta las áreas de vuelo según el área total esto debido al tiempo de vuelo que realiza el RPA.

En una misión de vuelo programada se delimita las áreas en el programa GoogleEarth para exportar en formato KML en el control del RPA, es recomendable nombrar cada misión de vuelo por zonas enumeradas, esto de forma primordial para obtener un trabajo ordenado.

Figura 14

Interfaz de plan de vuelo programa GoogleEarth



2.6.2 Fase II: Campo

Consideraciones previas al vuelo:

- Reconocimiento del área de estudio

Para ejecutar el levantamiento topográfico con vuelo de Drone es necesario realizar una inspección del área de estudio a volar para tener en cuenta las características del relieve, los límites del área de estudios, determinar puntos de despegue y aterrizaje del RPA y parámetros a tener en cuenta durante el vuelo.

- Distribución y levantamiento de Puntos de control

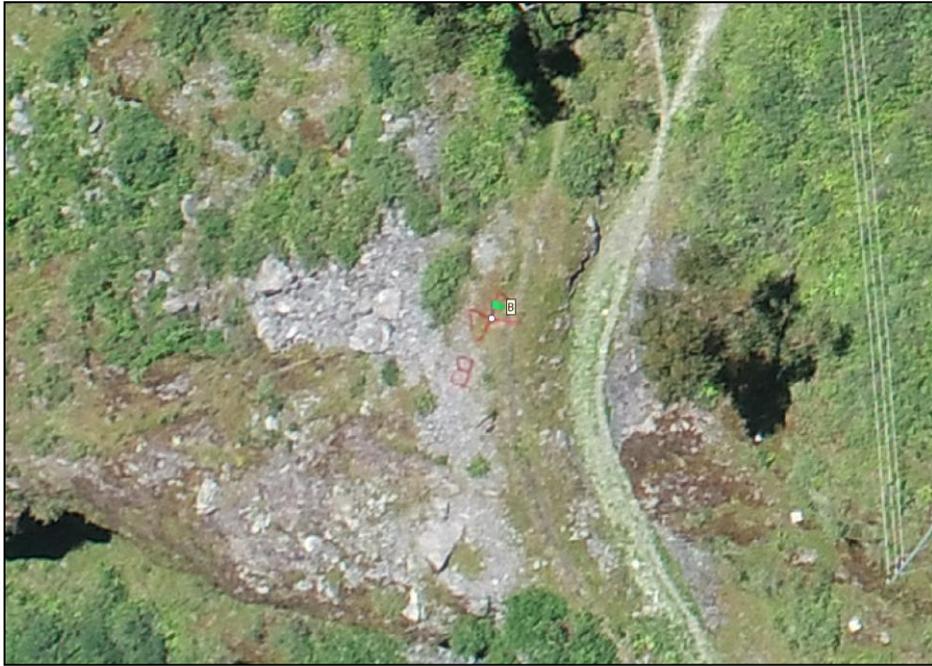
Uno de los factores más importante para la precisión de los resultados es la numeración, distribución y ubicación de los Puntos de Control Terrestres o GCPs (Colomina y Molina, 2014).

Estos factores son de suma importancia en la planificación del plan de vuelo ya que con esto se logrará disminuir los márgenes de error en la precisión y ortorectificación de los resultados.

Es necesario que los GCPs estén ubicados en zonas donde la cámara del Drone puede capturar es decir se pueda visualizar sin tener obstáculos que impida captar el punto de control, no es recomendable colocar los puntos de control bajo una zona con demasiada vegetación o alguna infraestructura que impida la visualización de la cámara del Drone.

Figura 15

Ubicación optima de punto de control

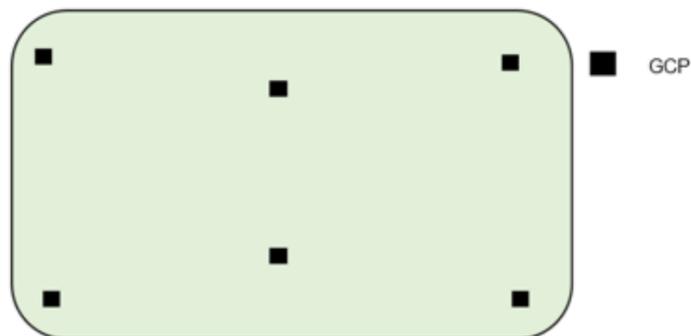


La numeración, distribución y ubicación de los Puntos de Control Terrestres incide en la precisión de los resultados, dependiendo del área de estudio se opta por usar de 8 a 10 puntos de control y deben estar de forma distribuidas en el área a volar, dependiendo de la topografía del lugar se recomienda distribuir los puntos de control terrestre en diferentes zonas con elevación alta y más bajas de forma uniforme.

Para obtener una óptima precisión en la cota del punto de control, es importante colocar los puntos de control terrestre en el centro del área de estudio o en zonas con cambios en la pendiente (Jiménez et al., 2017; Villanueva y Blanco, 2019).

Figura 16

Distribución óptima de los puntos de control terrestre



El Drone usado en este proyecto es con tecnología RTK es decir se conecta a la estación móvil D-RTK 2 a una red de posicionamiento por satélite y ayudan a realizar una precisión más exacta, y se opta por la colocación de menos puntos de control eso ofrece una gran ventaja sobre el Drone convencional con respecto a tiempo y costos.

A continuación, se muestra una tabla comparativa donde se muestra la cantidad puntos de control según el tipo de terreno y la cobertura al área a levantar.

Tabla 6

Número de puntos de control según el tipo de Drone

RPA	Terreno	N° Puntos GCPs	Cobertura (Ha)
Sin RTK	Llano – Ligeramente ondulado	10	100
	Ligeramente ondulado	12	
	Ondulado – Fuertemente ondulado	15	
Con RTK	Llano – Ligeramente ondulado	6	100
	Ligeramente ondulado	7	
	Ondulado – Fuertemente ondulado	9	

Los puntos de control terrestres se tomará su levantamiento con el equipo de estación total se realiza a partir de método de triangulación ya que se tomó en cuenta dos puntos conocidos en este caso de estudio la Unidad Minera Antapite proporcionó dos puntos de control BM (Bench Mark) reconocidos, acrónimo en inglés en el cual se refiere a un punto de referencia con coordenadas y cota conocidas.

Tabla 7

Cuadro de coordenadas de puntos BM de la Unidad Minera Antapite

Tramo	Norte	Este	Cota
B	8454014.185	492570.724	3291.644
CLAVO	8454215.809	492545.100	3303.685

Posteriormente se marca los puntos de control en forma de cruz con spray rojo de 1.5 metros de longitud y de ancho, teniendo en cuenta como se indicó en la anterior fase la ubicación para que sea identificado por RPA estas marcas por lo general deben ser visibles y constante al terreno para que se puede identificar claramente en el vuelo y la fase procesamiento.

Figura 17

Marca de punto BM como punto de control



- Factores Ambientales

Para lograr el vuelo del RPA es de suma importancia tener en cuenta las condiciones ambientales, estos factores influyen en los resultados del procesamiento del vuelo de Drone, los cuales detalla a continuación:

Nubosidad, la incidencia de falta de iluminación debida a la nubosidad en el área de vuelo influye mucho en la calidad de las imágenes obtenida durante el vuelo de Drone, ya que en diferentes zonas existirá disposición o carencia de nubosidad por lo cual va influir en la tonalidad de las imágenes tomadas por el Drone.

Figura 18

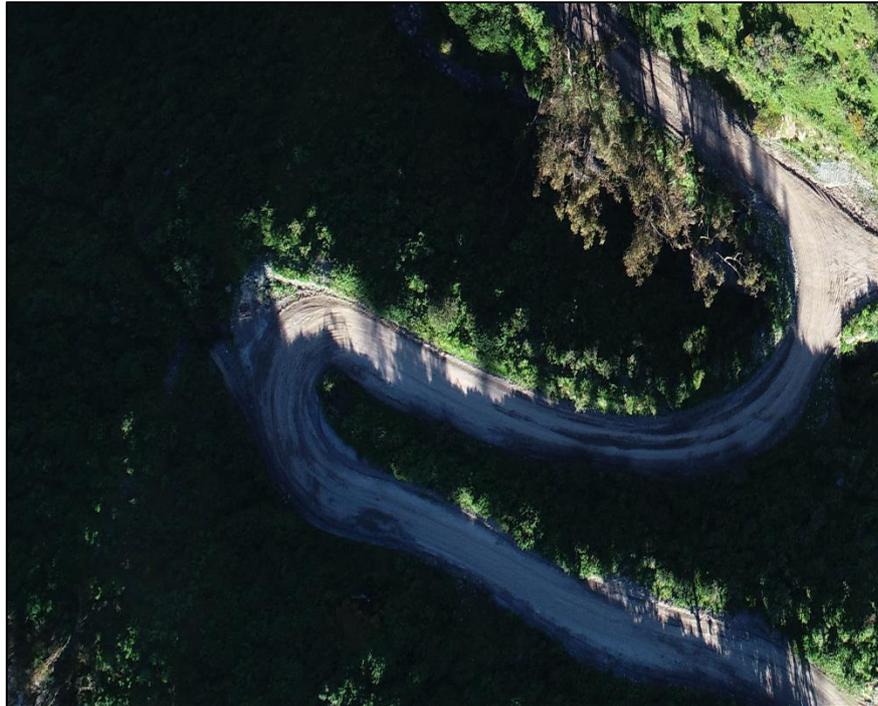
Fotografía aérea con alta nubosidad



Luz Solar, este factor ambiental se basa en la presencia de luz solar captadas por el Drone según la hora, la ubicación del área de estudio y en ángulo cenital, este último influye en la presencia o ausencia de sombras en las imágenes captadas por el Drone.

Figura 19

Fotografía aérea con presencia de sombra



El viento, este factor influye durante el despegue, durante el vuelo y aterrizaje, ya que un fuerte viento puede desestabilizar el Drone y es fundamental en el productor de ortofoto porque puede salir la imagen desenfocada y distorsionada.

Figura 20

Fotografía aérea distorsionada por el viento



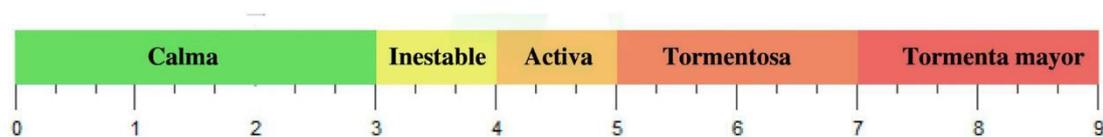
Otros factores que existen son como la precipitación la cual afecta la imagen capturada por las gotas de agua ya que al generar la ortofoto pueden reflejarse algunas zonas borrosas, a su vez la humedad afecta en los resultados de la ortofoto ya que las imágenes saldrían borrosas debida a la humedad ya que el lente de la cámara del equipo puede empañarse, la temperatura es otro factor en rango recomendable para realizar un vuelo de Drone es de $\pm 30^{\circ}$ centígrados para evitar que la batería del equipo se caliente más de lo imprevisto.

Índice de actividad Geomagnética

El índice Kp llamado también el índice de actividad geomagnética global es una condición de perturbación geomagnética el cual tiene como objetivo categorizar la magnitud de las tormentas geomagnéticas, esta alteración cuanto mayor sea el índice Kp, existe mayor dificultad en el vuelo de Drone ya que interfiere con las señales de los satélites producto de la alteración de campo magnético de la tierra, para pronosticar el Kp existe aplicaciones que mide el índice de la actividad geomagnética.

Figura 21

Grados de Índice Kp



El índice Kp mide la alteración geomagnética causada por la actividad solar en la Tierra, en una escala de 0 (calma) a 9 (tormenta mayor).

Kp 0 - 4: Totalmente seguro

Kp 4 - 6: Puede experimentar problemas menores con el GNSS

Kp 6 - 7: Puede causar lecturas de ubicación inexactas por GNSS, posible interferencia de radio / control

Kp > 7: Totalmente inseguro. Tiene múltiples bloqueos de satélite. Mayor probabilidad de lecturas de ubicación inexactas, impacto severo del rango de radio/control

Consideraciones durante al vuelo:

- Programación del plan de vuelo

Una vez en campo se va a determinar el punto de despegue y aterrizaje para ello se hace una previas inspección del área de estudio, teniendo en cuenta los puntos anteriores asi como planes de contingencia como abortar misiones de vuelo ya sea por condiciones climáticas repentinas o consumo de batería.

- Instalación de equipos

Se instalará el trípode y la antena RTK estos en zonas sin obstáculos para que se pueda captar los satélites sin interferencia, con el equipo RPA se procederá a colocar las hélices bien sujetadas y se integrada la conexión del RPA con la estación RTK, sin ates revisar las baterías del RPA y del control RC.

- Ejecución de parámetros

En este punto se va a configurar los parámetros de vuelo con el control remoto para la operación de vuelo del Drone.

El ángulo de inclinación de cámara:

El alcance del proyecto es obtener la topografía del área de estudio por ello se opta por un ángulo de -90° ya que con este parámetro será útil para generar la ortofoto de manera eficaz y visible.

La altura de vuelo

Este es un parámetro importante para el resultado de la ortofoto ya que con la altura de vuelo ejecutada se define la resolución espacial de la imagen y se tiene mayor detalle de la topografía del terreno y la ortofoto.

La superposición de las imágenes (traslape)

Debido al alcance y el área de estudio del proyecto, el traslape requerido para la generación de la ortofoto será de 80%, debido a la presencia de vegetación y evitar errores en los resultados.

- Ejecución de vuelo

Una vez definido el plan de vuelo, los factores ambientales así como parámetros a considerar mostrados se ejecutará el vuelo la captura de imágenes.

Figura 22

Despegue de Drone Phantom



2.6.3 Fase III: Gabinete

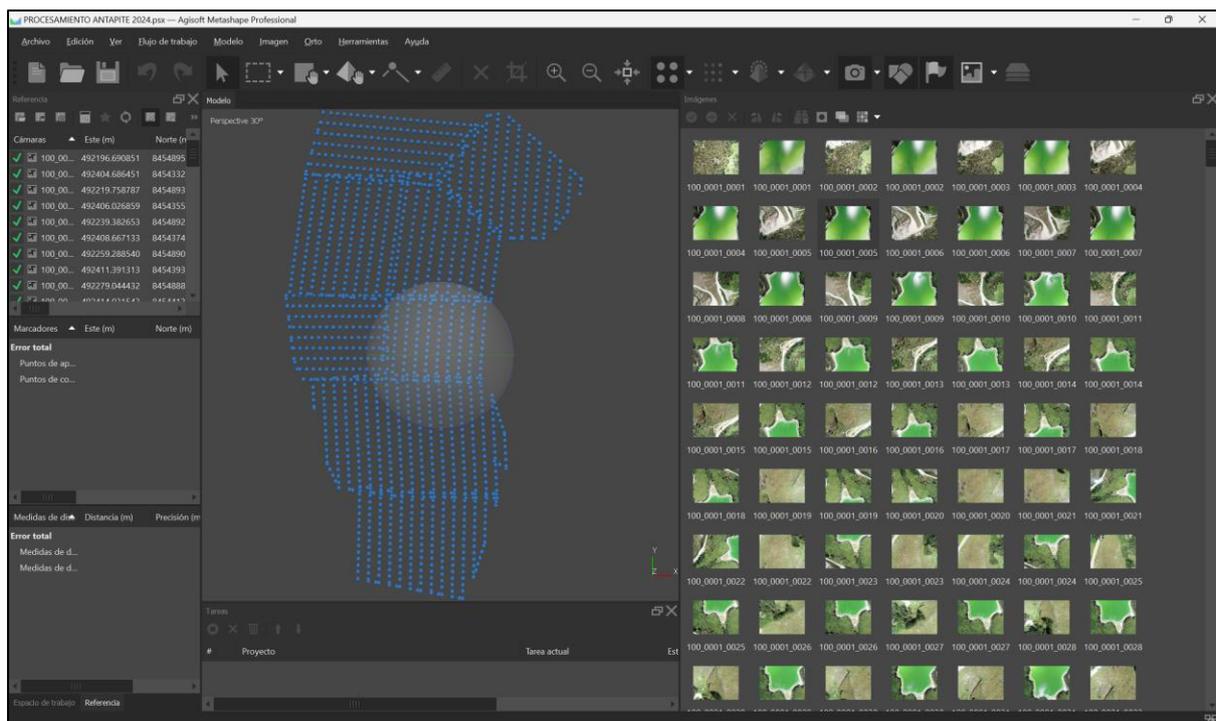
En esta fase se ejecutará el procesamiento de los datos obtenidos en campo para obtener el MDE (Modelo Digital de Elevación) y la Ortofoto en el programa Agisoft Metashape.

- Importación de imágenes

En este proceso se procede a seleccionar la carpeta donde se guardó las imágenes obtenidas en campo y posteriormente se importa todas las imágenes obtenidas por el vuelo del Drone, por último, se calibra las cámaras y se le asigna un sistema de coordenadas.

Figura 23

Interfaz de proceso de importación de fotografías aéreas

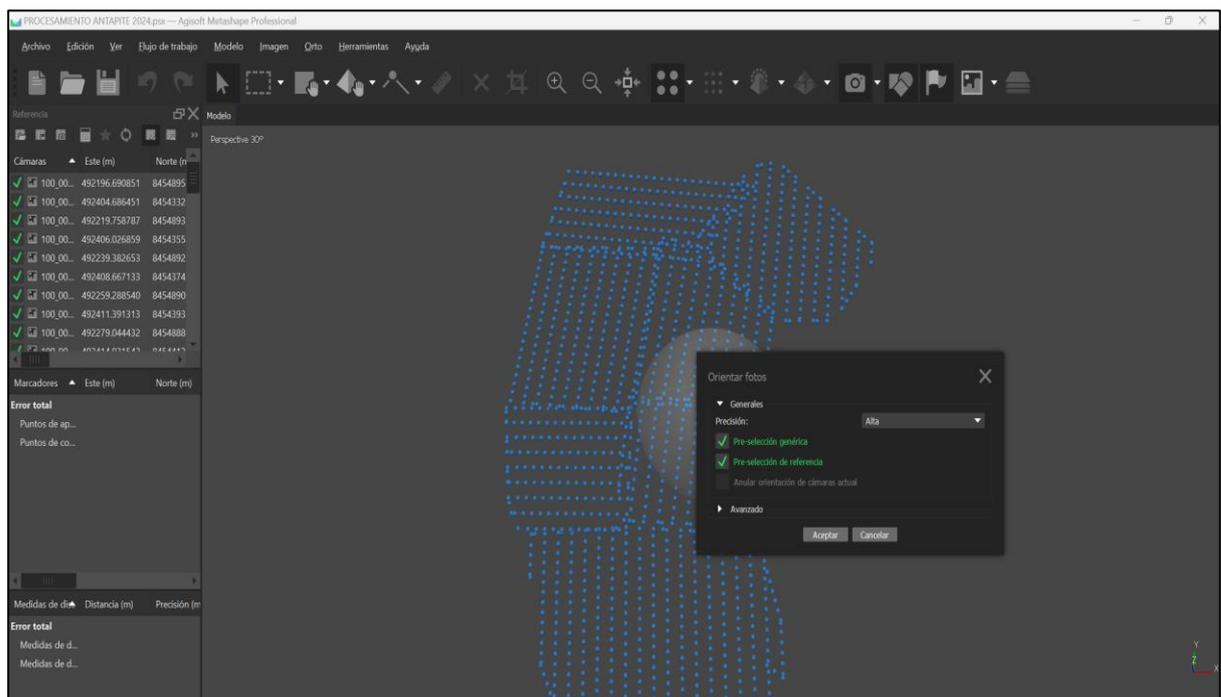


- Orientación de cámaras

En este proceso se geolocaliza y se alinea las imágenes para posteriormente obtener una nube de puntos con fotografías alineadas, estos puntos tienen la data de información obtenida como coordenadas y elevación.

Figura 24

Interfaz de proceso de orientación de fotografías aéreas

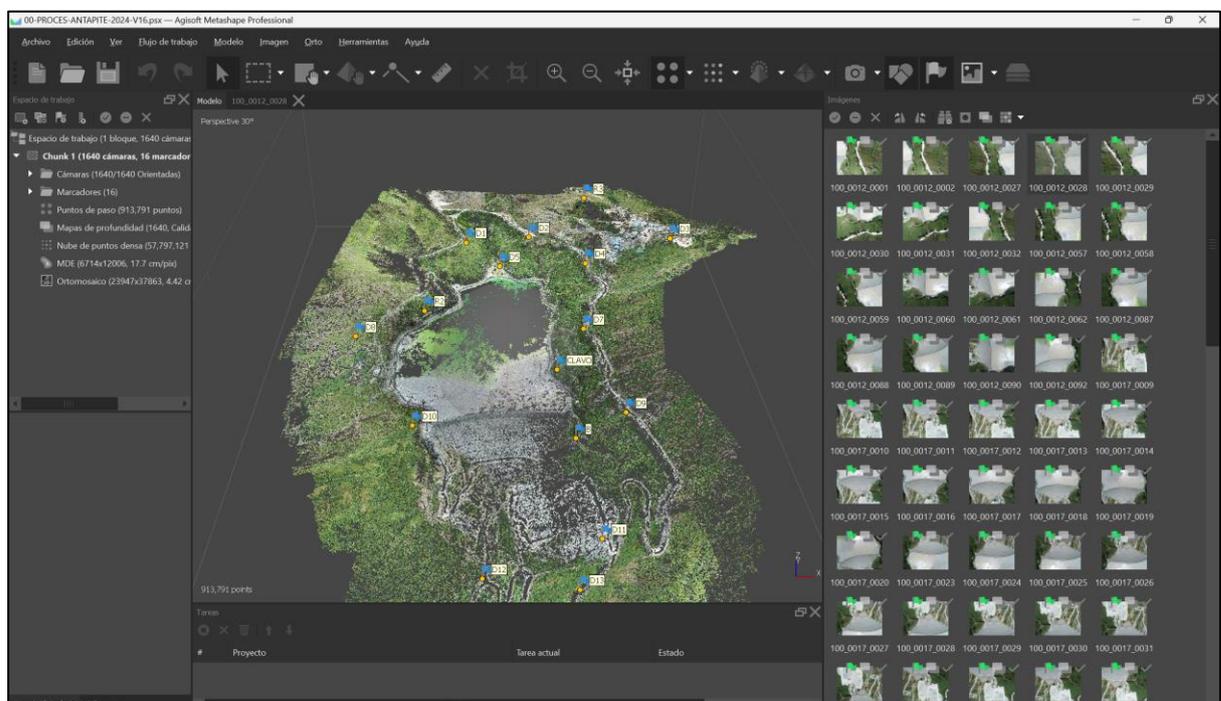


- Georreferenciación de puntos de control

Este proceso consiste en cargar las coordenadas de los puntos de control obtenidas en el trabajo de campo por la estación total, luego se georreferencia cada imagen para marcar el punto de control ubicándolo en el pixel de la imagen, una vez marcada todos los puntos de control se procede a optimizar la orientación de las cámaras como un proceso para alinear las fotos y mejorar la calidad de orientación.

Figura 25

Interfaz de proceso de georreferenciación de puntos de control

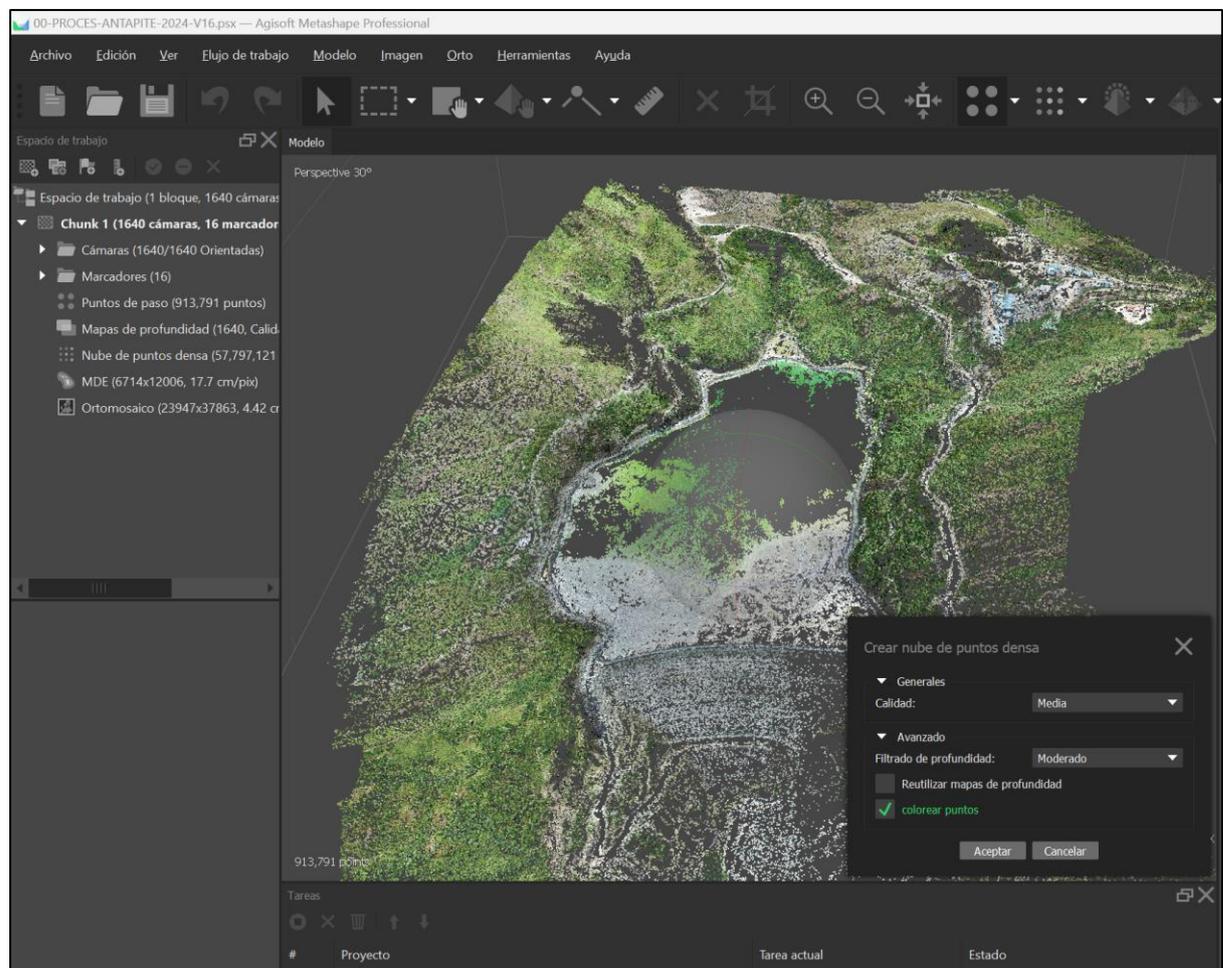


- Construcción de nube de punto Densa

En este proceso se ejecutará la creación de la nube de puntos densa, donde el resultado producto en este caso el MDE (Modelo Digital de Elevación) y la ortofoto depende del nivel de filtrado de profundidades que se obtendrá por el software, esto depende de las características del computador.

Figura 26

Interfaz de nube de puntos densa

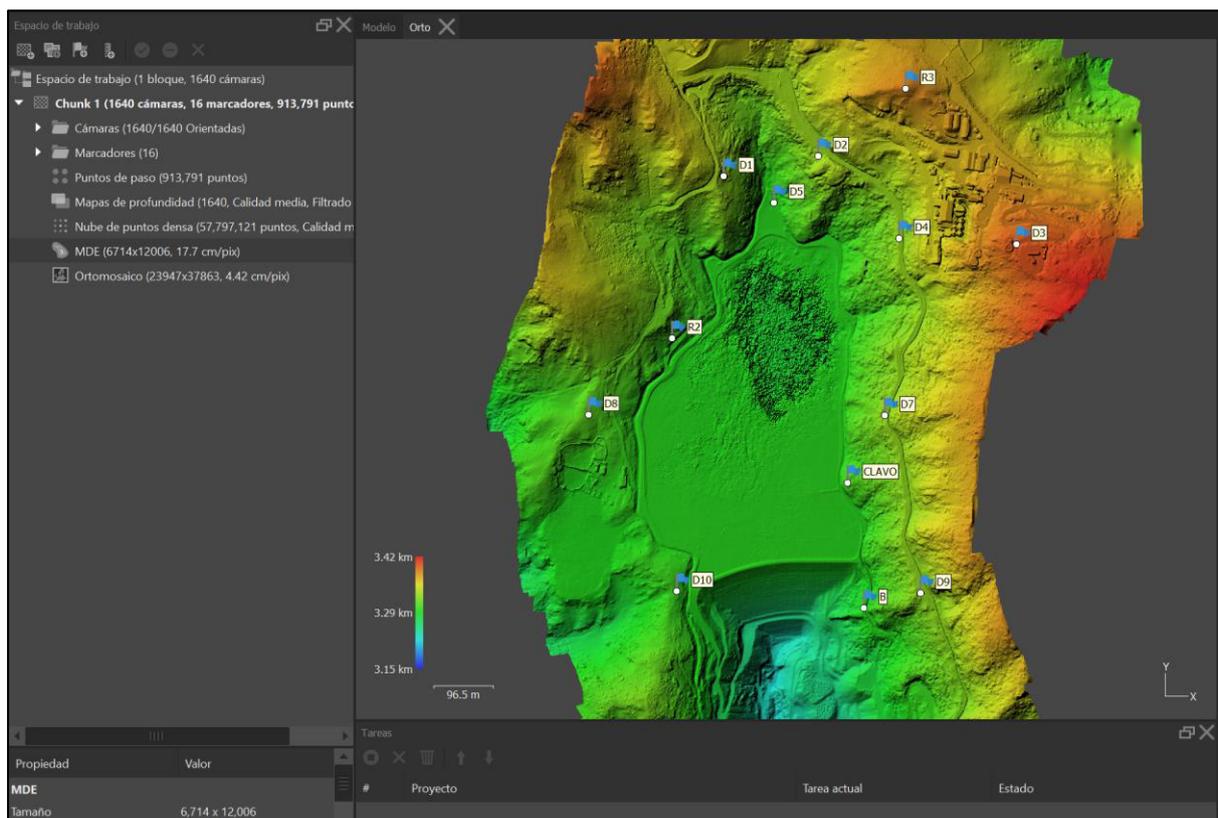


- Construcción de MDE (Modelo Digital de Elevación)

El modelo digital de elevación es el producto principal en la fase de procesamiento fotogramétrico, también llamado ráster cuenta con datos pixeles mediante celdas o cuadrículas en la que cada pixel contiene información como coordenadas y elevación.

Figura 27

Interfaz de proceso de construcción de MDE

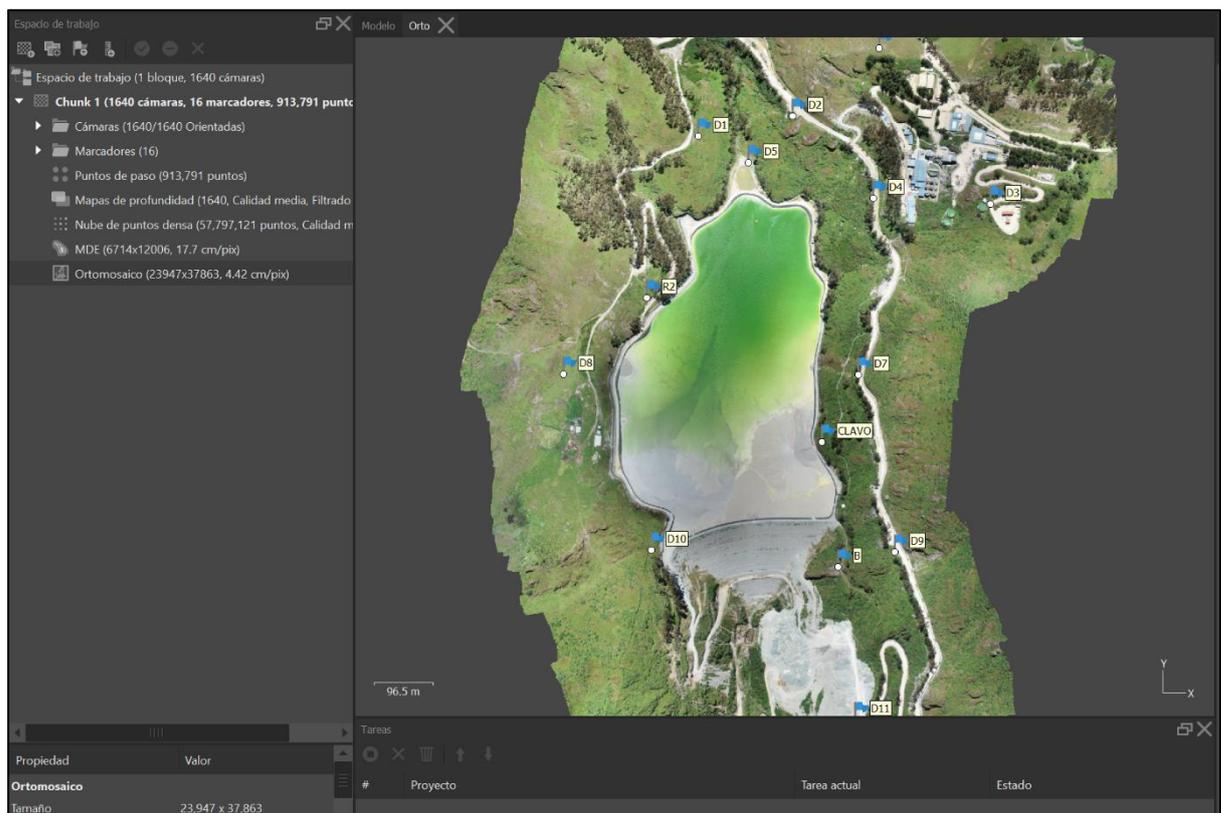


- Generación de Ortomosaico

Producto de las imágenes georreferenciadas como mosaico de vuelo del Drone, importante para la precisión e imagen visual detallada del área de estudio.

Figura 28

Interfaz de proceso de construcción de Ortomosaico

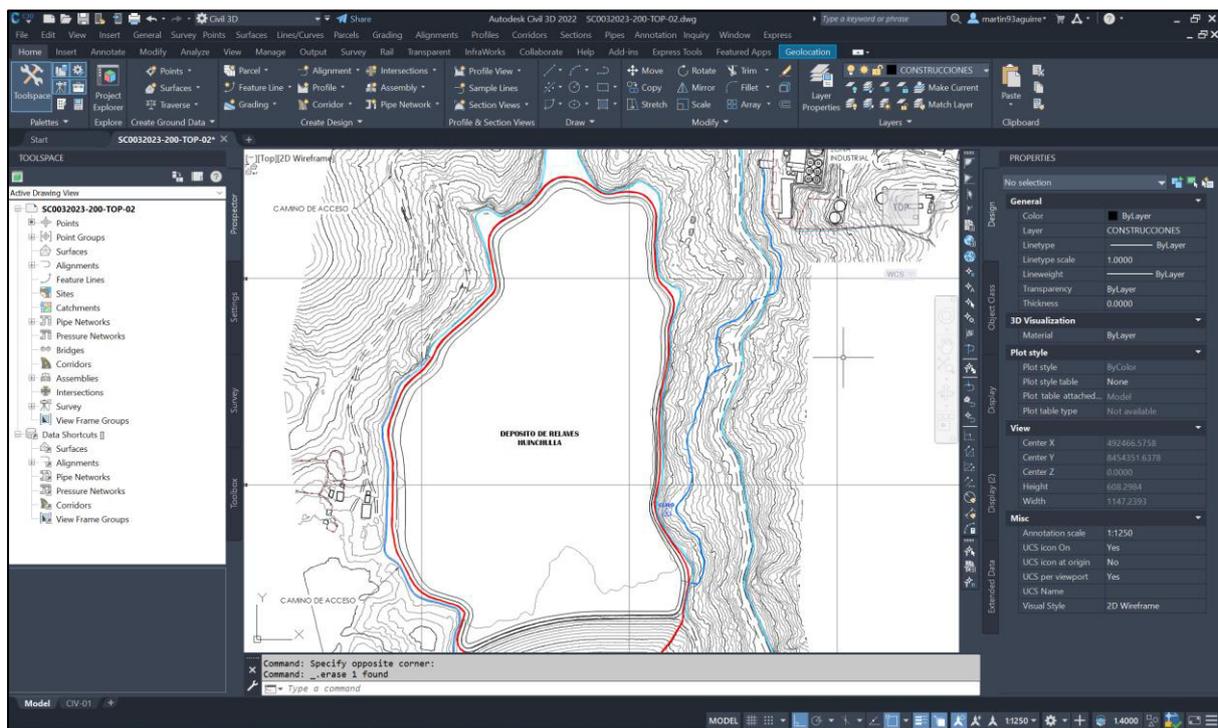


- Plano topográfico

Posteriormente obtenida el MDE (Modelo Digital de Elevación), se procede a realizar una limpieza de la escena o área de estudio de la nube de puntos y se obtiene como resultado las curvas de nivel.

Figura 29

Interfaz de curvas de nivel en software AutoCAD Civil 3d



2.7 Resultados

Se obtuvieron los siguientes resultados de los levantamientos con vuelos en los años 2023 y 2024, dos alturas diferentes de vuelo y diferencia entre la numeración y distribución de los puntos de control. A continuación, se presenta los datos que se obtuvieron del vuelo del Drone en diferentes años, estos fueron los siguientes:

Tabla 8

Resultados de datos de levantamiento topográfico Período 2023 - 2024

Datos de Levantamiento con Drone		
Año	2023	2024
Nº Imágenes	2083	1640
Nº Puntos de Control	4	16
Sistema de Coordenadas	WGS84 / UTM 18S	WGS84 / UTM 18S
Altura de vuelo (metros)	150	60
Superficie cubierta (Km2)	4.32	1.15
Resolución en terreno	6.5 cm/pix	1.0 cm/pix
Tiempo de vuelo Promedio	7 minutos	13 minutos

Las condiciones climáticas son factores que afectan en los resultados del procesamiento, a continuación, se presenta los siguientes resultados:

Tabla 9

Resultados de datos de condiciones climáticas Período 2023 - 2024

Condiciones Climáticas en vuelo de Drone		
Año	2023	2024
Hora de vuelo	7:00 a. m.	12:00 p. m.
Temperatura	16° C	20° c
Viento	11 km/h	7 km/h
Ráfagas	21 km/h	11 km/h
Precipitación Probable	10%	0%
Visibilidad	16 km	10km
Satélites Visible	14	15

El tiempo de levantamiento con vuelo de Drone se llevó a cabo a partir de cada fase donde se incluye los retrabajos por observaciones que se dieron en el levantamiento del 2023

Tabla 10

Resultado de tiempo empleado en el levantamiento topográfico Período 2023 - 2024

Cálculo de tiempo empleado		
Año	2023	2024
Trabajo en campo (días)	4	6
Trabajo en oficina	2	3
Corrección de observaciones	10	0
Total	16	9

La Unidad Minera Antapite proporciono los datos de ubicación de los puntos BM, los cuales son puntos base como referencia para el levantamiento de puntos de control, en el siguiente cuadro se enlista los puntos BM utilizado para el levantamiento del depósito de relaves Huinchulla.

Tabla 11

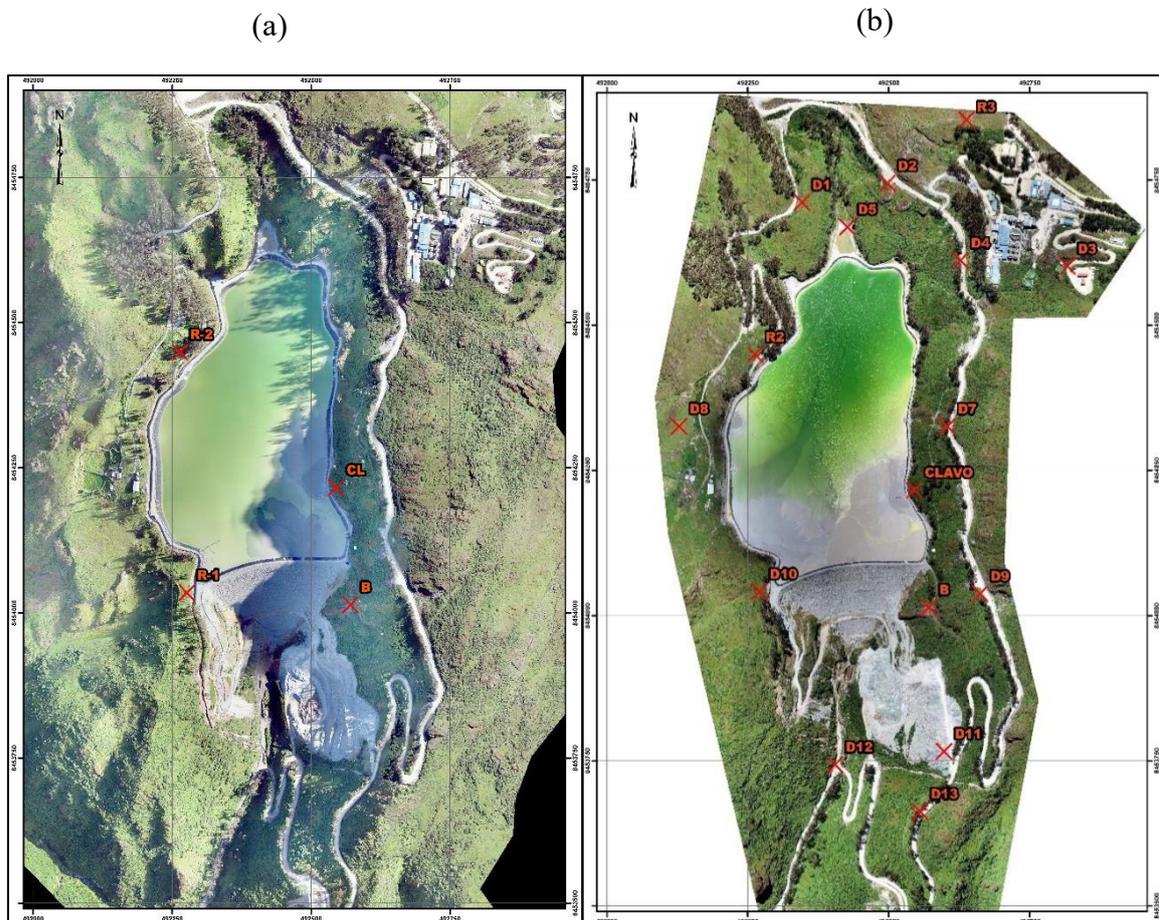
Cuadro de coordenadas de puntos BM de la Unidad Minera Antapite

Puntos de Control BM - Sistema WGS84 / UTM 18S			
N°	Norte	Este	Elevación
B	8454014.185	492570.724	3291.644
Clavo	8454215.809	492545.100	3303.685

Para el levantamiento de los puntos de control se ejecutó con el equipo de estación total en donde en el año 2023 se realizó 4 puntos de control incluyendo los dos puntos BM, posterior a ello en el año 2024 se ejecutó 16 puntos de control esta vez teniendo como detalle la correcta distribución y cambio de pendiente del terreno, en la siguiente figura se muestra la cantidad y distribución de puntos control, donde en el periodo 2023 se realizó a una altura de vuelo de 150 metros con 4 puntos de control y en el periodo 2024 a una altura de 60 metros con 16 puntos de control.

Figura 30

Numeración y distribución de puntos de control periodo (a) 2023 - (b)2024



Se muestra a continuación los resultados del levantamiento de los puntos de control del año 2023 y 2024.

Tabla 12

Cuadro de coordenadas de puntos de control año 2023

Cuadro de puntos de control - Año 2023			
N°	Norte	Este	Elevación
B	8454014.19	492570.724	3,293.70
CLAVO	8454215.81	492545.1	3303.685
R1	8454034.89	492276.157	3297.889
R2	8454449.34	492263.514	3301.557

Tabla 13

Cuadro de puntos de control año 2024

Cuadro de puntos de control - Año 2024			
N°	Norte	Este	Elevación
B	8454013.99	492570.815	3291.644
CLAVO	8454215.97	492544.893	3303.685
R2	8454449.58	492262.669	3301.557
R3	8454853.99	492637.598	3389.733
D1	8454711.49	492345.56	3336.005
D2	8454744.56	492497.703	3334.354
D3	8454601.66	492816.444	3403.454
D4	8454611.29	492627.226	3333.46
D5	8454669.22	492426.632	3293.752
D7	8454325.52	492603.979	3331.77
D8	8454325.9	492128.263	3312.635
D9	8454037.86	492661.863	3333.002
D10	8454041.41	492270.111	3299.096
D11	8453766.04	492598.155	3284.156
D12	8453743.21	492404.627	3216.035
D13	8453662.66	492555.658	3279.988

Posteriormente se expone el error de precisión obtenida mediante el reporte del programa Agisoft de los años 2023 y 2024:

Tabla 14

Resultados de error de precisión de puntos año 2023

Error de Precisión - Periodo 2023				
N°	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Total (m)
B	1.977020	0.735730	2.053120	2.404890
CLAVO	-0.282519	-0.910746	-0.062102	0.985579
R1	-1.100750	-1.025610	0.020449	1.337830
R2	-0.148100	0.749650	0.659430	0.682400

Figura 31

Gráfica de resultados de error de precisión de puntos de control periodo 2023

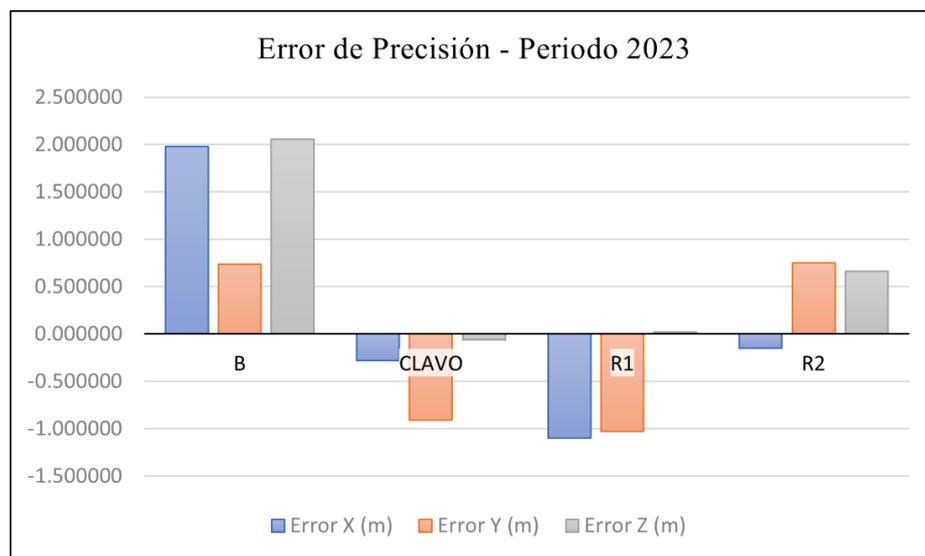


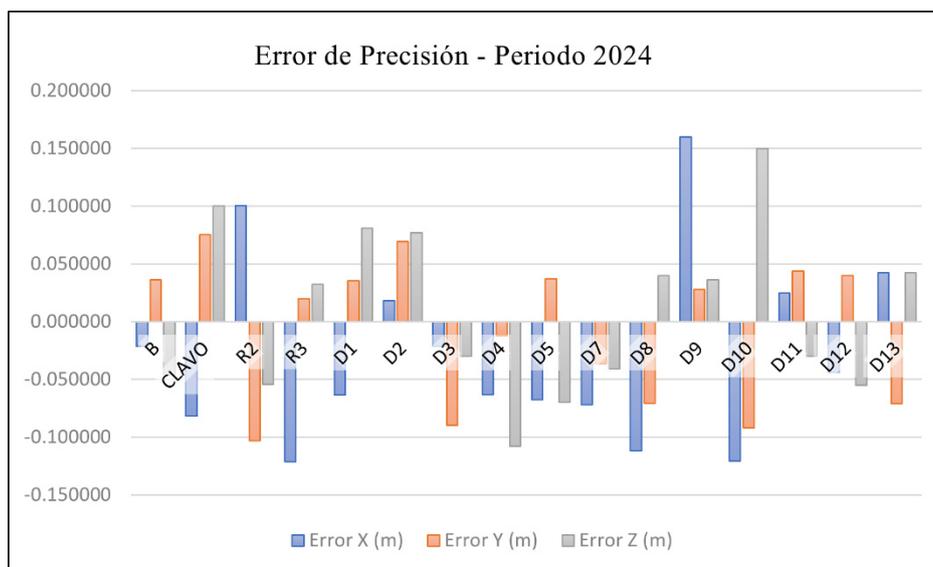
Tabla 15

Resultados de error de precisión de puntos de control año 2024

Erro de Precisión - Año 2024				
N°	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Total (m)
B	-0.021606	0.035994	-0.045982	0.015851
CLAVO	-0.081804	0.075298	0.100046	0.041544
R2	0.100670	-0.103170	-0.054079	0.022154
R3	-0.121416	0.019656	0.032060	0.039090
D1	-0.063385	0.035437	0.080847	0.011130
D2	0.018067	0.069286	0.076823	0.052990
D3	-0.021517	-0.089546	-0.029765	0.044897
D4	-0.063220	-0.012166	-0.108095	0.032990
D5	-0.067650	0.037229	-0.069807	0.044002
D7	-0.071855	-0.036505	-0.040919	0.048190
D8	-0.111750	-0.070674	0.039643	0.047540
D9	0.159923	0.027705	0.036356	0.076453
D10	-0.120954	-0.091962	0.149543	0.027711
D11	0.024572	0.043571	-0.029967	0.082833
D12	-0.044051	0.039548	-0.054977	0.050653
D13	0.042430	-0.071123	0.042229	0.064706

Figura 32

Gráfica de resultados de error de precisión de puntos de control periodo 2024



Se tiene un punto de control auxiliar y los puntos BM dado por la Unidad Minera donde se muestra el comportamiento del error de precisión total en ambos años:

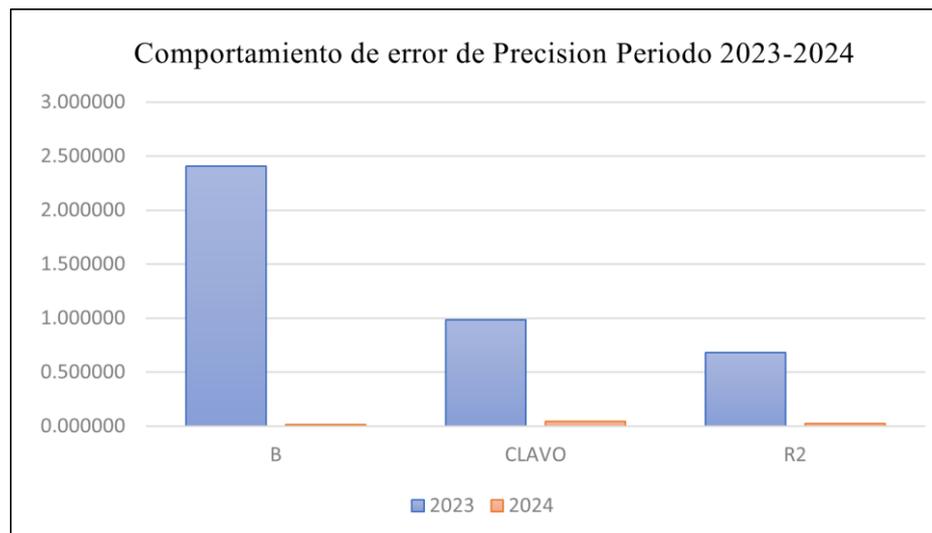
Tabla 16

Cuadro de comportamiento de error de precisión Periodo 2023 - 2024

Año	2023	2024
B	2.404890	0.015851
CLAVO	0.985579	0.041544
R2	0.682400	0.022154

Figura 33

Comportamiento de error de precisión Periodo 2023 – 2024

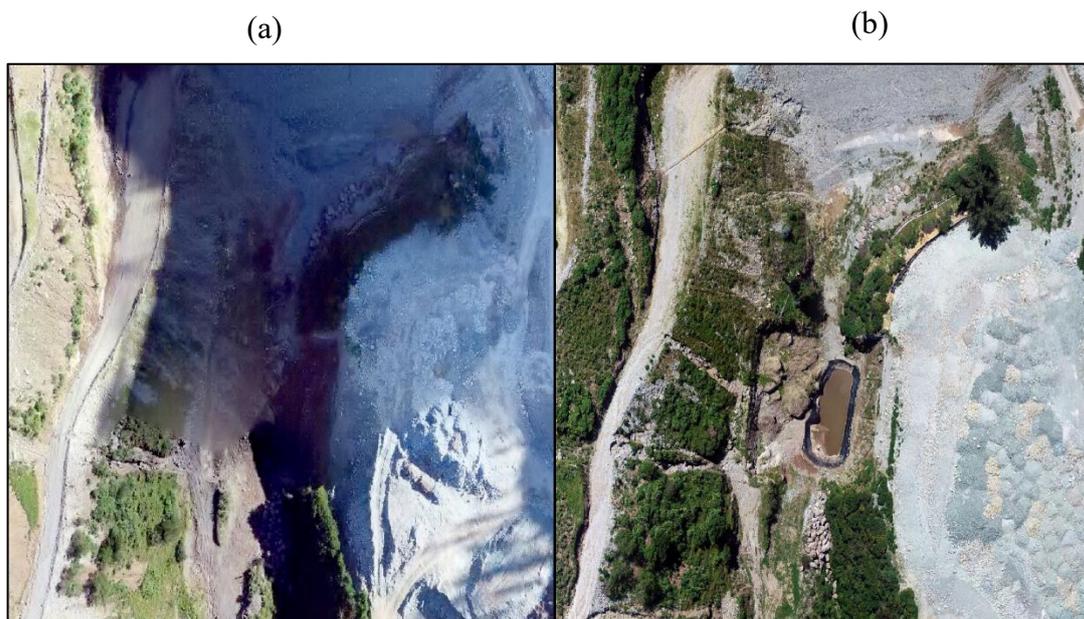


A continuación, se presenta los resultados de la comparativa de imágenes en diferentes años, teniendo diferencias según la variable:

El vuelo fotogramétrico realizado en el 2023 fue ejecutado a las 7.30 a.m. donde hubo poca visibilidad de luz en ciertas zonas debido al ángulo de la latitud del área de estudio, es decir a menor ángulo de la latitud mayor presencia de sombra, teniendo un resultado que afecta la calidad de la imagen como la existencia de una poza de filtración del depósito relave, reflejado a detalle en el vuelo ejecutado en el 2024.

Figura 34

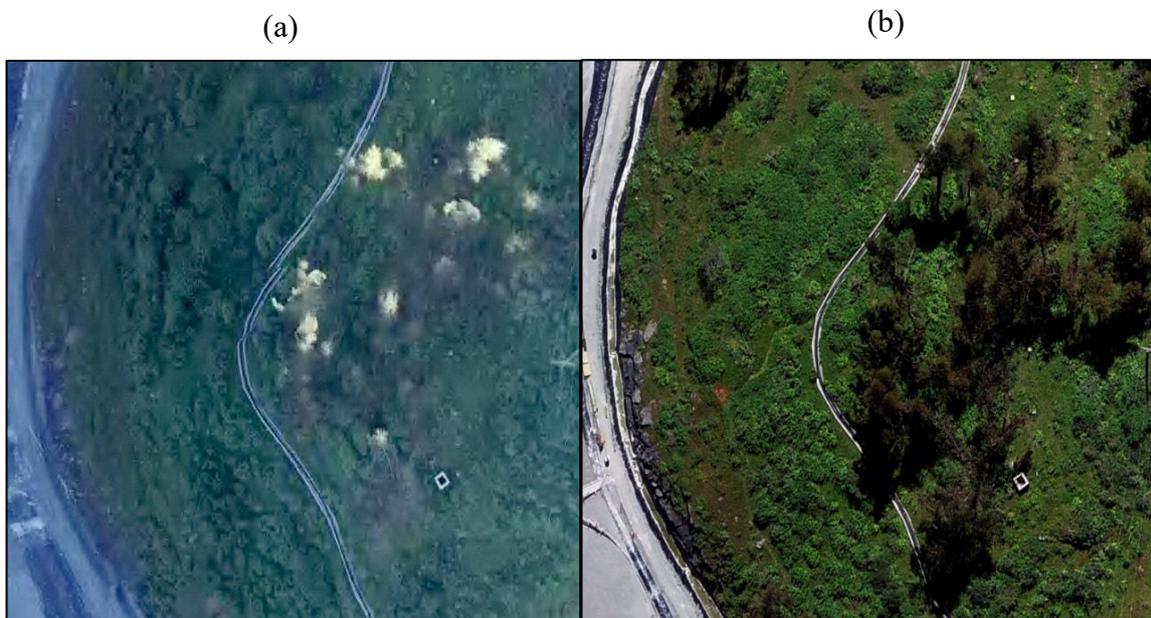
Imágenes por iluminación periodo (a) 2023 - (b) 2024



Durante el vuelo del año 2023 se realizó a una altura de vuelo de 150 metros con una velocidad de viento de 11 km/h con ráfagas de 21km/h, afectando la estabilidad del equipo en el aire teniendo como resultados imágenes distorsionadas y poca visibilidad por la altura, como se detalla en la siguiente figura donde se observa la tubería de descarga del depósito de relave con distorsión.

Figura 35

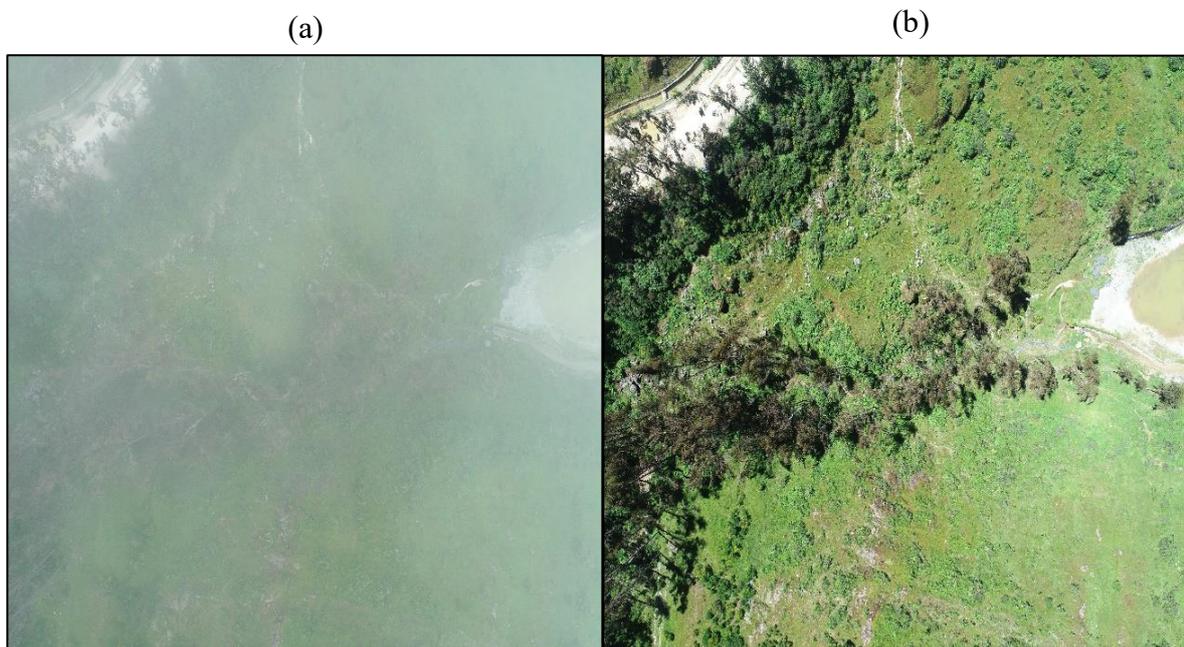
Imágenes por distorsión periodo (a) 2023 - (b) 2024



La presencia de nubes limita en el resultado del procesamiento, como se puede observar en la siguiente figura se muestra que en vuelo del año 2023 existe gran presencia de nubosidad densa perjudicando la imagen capturada y en el vuelo ejecutado en el 2024 ausencia de nubosidad con condiciones óptimas del clima.

Figura 36

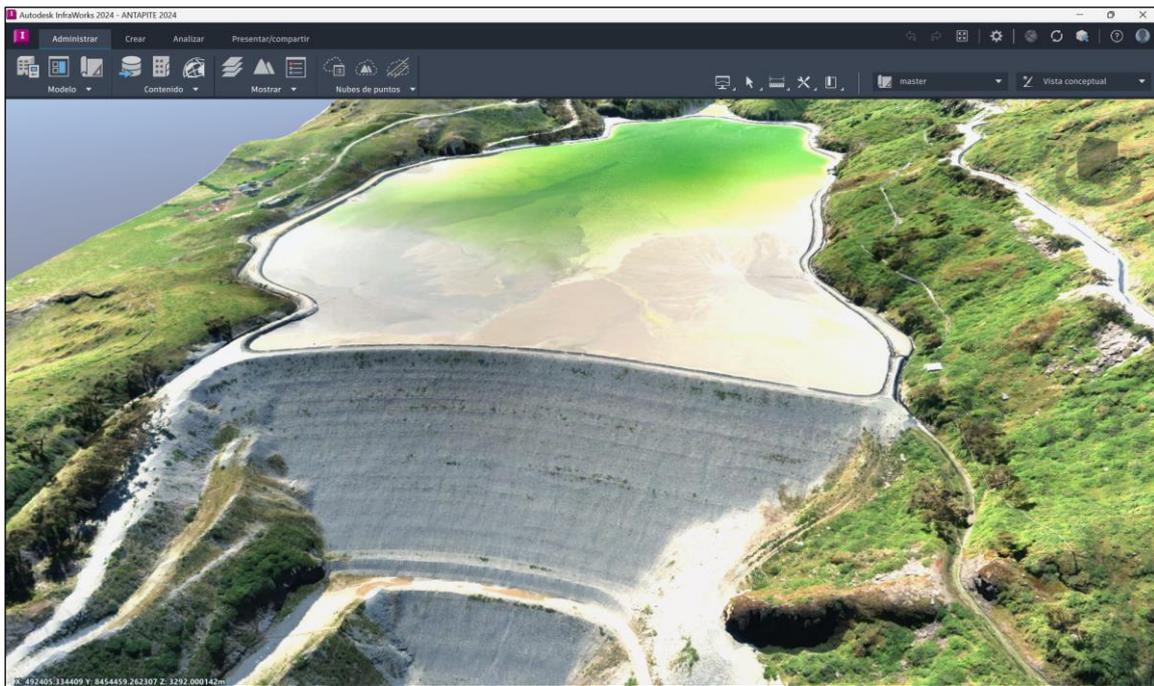
Imágenes por nubosidad periodo (a) 2023 - (b) 2024



Posteriormente luego del procesamiento y limpieza de las curvas de nivel se obtiene los resultados obtenidos como los planos topográficos presentados en los anexos, en la siguiente figura se muestra el resultado visual en el programa Autodesk InfraWorks.

Figura 37

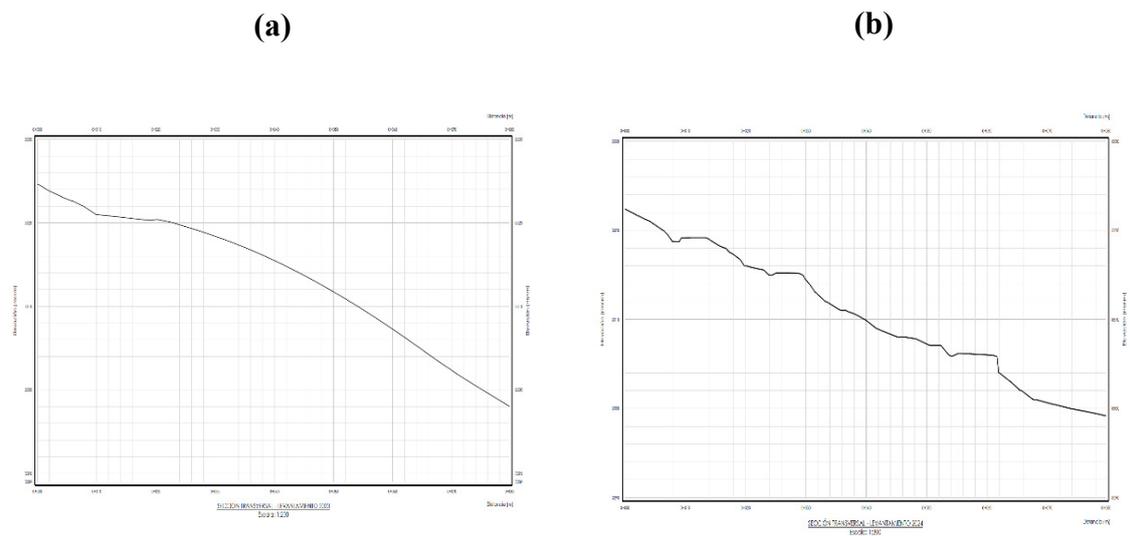
Resultado en modelado 3D en programa Autodesk InfraWorks



En la topografía de los resultados obtenidos en ambos años se trazó una sección transversal en un sector del depósito de relaves Huinchulla donde existe evidencia de la existencia de accesos con canales, como se observa en la siguiente figura se presenta mayor error en la sección del año 2023 debido a la altura de vuelo y error de precisión en los resultados ya que se aprecia una sección sin el detalle de los accesos y canales existentes, sin embargo existe mayor detalle en el levantamiento del 2024 evidenciando un óptimo levantamiento fotogramétrico.

Figura 38

Secciones transversales periodo (a) 2023 - (b) 2024



2.8 Discusión de Resultados

Se analiza los resultados de 2 años en la aplicación de la metodología por levantamiento fotogrametrico:

Posteriormente a los resultados obtenidos de levantamiento fotogramétrico con vuelo de Drone en los años 2023 y 2024 se puede analizar las variables principales que influyeron como la altura de vuelo, se comprueba que en el vuelo del año 2024 a una altura de 60 metros se tiene resultados con más detalle y con menor error de precisión.

Con respecto a la influencia de factores ambientes el clima es primordial y la hora en que se ejecuta el vuelo, ya que afectan en la resolución de las imágenes como se evidencia en los resultados de la calidad de la ortofoto en el vuelo del año 2023 y por otro lado en el periodo 2024 se tienen imagines con mayor resolución, sin error de sombra y distorsión.

En cuanto a la distribución y la cantidad de puntos de control terrestres levantados es fundamental en los resultados ya que analizando los datos obtenidos en el periodo 2024 resalta que cuanto mayor sea la cantidad de puntos de control terrestre y mejor sea la distribución se tienen mejores resultados en cuanto precisión.

III. APORTES MÁS DESTACADOS A LA EMPRESA SINCO INGENIERIA Y CONSTRUCCION.

A lo largo de mi experiencia laboral como especialista en el área de Fotogrametría en la empresa SINCO Ingeniería & Construcción se desarrolló mejoras en resultados en diferentes proyectos, los aportes más destacables son:

La implementación de una metodología eficaz de levantamiento fotogramétrico con Drone donde se detalla las fases del proceso así como factores a tener en cuenta para obtener resultados óptimos en cuanto a calidad de productos obtenidos, menos tiempo en la ejecución del proyecto y un presupuesto acorde sin gastos imprevistos.

Efectuar la forma más práctica y buen uso de la tecnología RTK del Drone con lo cual se obtienen mejores resultados en el proyecto.

Proporcionar resultados con menor toleración de error de precisión y datos más precisos, evitando levantamiento de observaciones por parte del cliente y retrabajos para la empresa.

Soporte técnico mediante capacitaciones del personal fomentando y ampliando conocimientos teóricos y prácticos en operaciones de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia.

Asignación de aumento de proyectos a la empresa producto de los resultados obtenidos en el proceso del levantamiento de vuelo de Drone debido a la calidad de resultados siendo la topografía vital ya que viene ser la fase previa en la ejecución de proyectos.

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados adquiridos y posteriormente analizados se llega a las siguientes conclusiones:

La formación profesional encaminada de mi alma mater la Universidad Nacional Federico Villareal y la experiencia laboral obtenida permiten fundamentar la elaboración del presente trabajo de suficiencia profesional.

Se demostró que los resultados del levantamiento fotogramétrico con Drone en los años 2023 y 2024 en el depósito de relaves Huinchulla varían significativamente en función a factores y parámetros descritos en la metodología.

Se concluyen que los siguientes factores: la altura de vuelo, factores ambientales y distribución de puntos de control influyen en los resultados, donde se demostró que a menor altura de vuelo existe mayor precisión y resolución; en cuanto a los factores ambientales alterarán la resolución de imágenes y la correcta distribución de puntos de control reduce el error de precisión de los resultados

Se concluyo que la estimación de error en los levantamientos fotogramétricos en el año 2024 técnicamente es aceptable, teniendo como referencia las dificultades del vuelo del 2023, y poder enmendar y valorar los factores que influyeron en los resultados de ese año.

V. RECOMENDACIONES

Analizar y evaluar el alcance del objetivo del proyecto del área de vuelo a ejecutar ya que teniendo en consideración esto se podrá realizar la correcta planificación del área de vuelo, la mejor toma de decisiones en cuanto parámetros y resultados a tener en cuenta.

Al efectuar el levantamiento fotogramétrico del Drone en campo es recomendable realizar un reconocimiento en toda el área de estudio para poder así optar el mejor punto de despegue y aterrizaje del equipo y así evitar accidentes.

Se sugiere verificar los datos del clima antes de iniciar el vuelo y ejecutarlo en condiciones ideales para mejora de la resolución y precisión de los resultados.

Se recomienda efectuar y analizar una óptima distribución, ubicación visible y numeración de puntos de control en el área de vuelo a ejecutar para un mejor resultado en precisión.

Para ejecutar la fase de procesamiento de las fotografías obtenidas por el vuelo del Drone y post procesamiento donde se ejecuta la limpieza y suavizado final de la topografía levantada es recomendable realizarla en ordenadores con memorias RAM y tarjetas gráficas con un buen sistema operativo para poder ejecutar el trabajo en menor tiempo posible sin complicaciones.

Se hace necesario que las empresas contraten a profesionales técnicos especialistas capacitados, especialmente en el rubro de la Ingeniería Geográfica por su calidad y excelencia profesional en temas de fotogrametría con manejo de ciencias del territorio y la tierra en general.

VI. REFERENCIAS

Bolaguer, M. (2017). *Fotogrametría de objeto cercano: Precisión estimada*. Universidad Politécnica de Valencia, 1(2),1-7. <http://hdl.handle.net/10251/92724>

Caballos, A. (2023). *Guía de aplicación: fotogrametría para levantamientos topográficos con drones y GPS*. [Tesis de pregrado, Universidad de Sevilla]. Depósito de Investigación Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/149792>

Guía de aplicación: fotogrametría para levantamientos topográficos con drones y GPS. [Tesis de pregrado, Universidad de Sevilla]. Depósito de Investigación Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/149792>

Leiva, S. y Guzmán, J. (2021). *Evaluación comparativa de la precisión en levantamientos topográficos efectuados mediante vehículo aéreo no tripulado (UAV) a 50 metros de altura y el método tradicional en la carretera Abra Ccorao-Ccorao*. [Tesis de pregrado, Universidad Andina de Cusco]. Repositorio Institucional Universidad Andina de Cusco <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4337>

Ley N° 30740. Ley que regula el uso y las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia- RPAS (21 de marzo de 2018).

<https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/355491-30740-ley-que-regula-el-uso-y-las-operaciones-de-los-sistemas-de-aeronaves-pilotadas-a-distancia-rpas>

Matías, R. (2020). *Aplicación de un dron para mejorar los procesos productivos en Minera Chinalco Perú S. A., Morococha 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Universidad Continental.

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8698>

Martínez, J. y Bermeo, V. (2023). *Análisis comparativo de precisión y eficiencia de tecnologías topográficas para levantamientos: fotogrametría y Lidar aerotransportado con dron y receptor GNSS (modo RTK), aplicado al parque el Paraíso de la ciudad de Cuenca*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional Universidad Politécnica Salesiana. [https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26953/4/UPS-](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26953/4/UPS-CT011168.pdf)

[CT011168.pdf](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26953/4/UPS-CT011168.pdf)

Norma Técnica Complementaria NTC-001-2015. Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia. (3 de noviembre de 2015). <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/321488-ntc-001-2015-requisitos-para-las-operaciones-de-sistemas-de-aeronaves-pilotadas-a-distancia>

Ocsa, M. y Barreda, R. (2022). *Aplicación de Drone para elaborar modelos digitales en frente de minado, Unidad Minera Las Bambas*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12090>

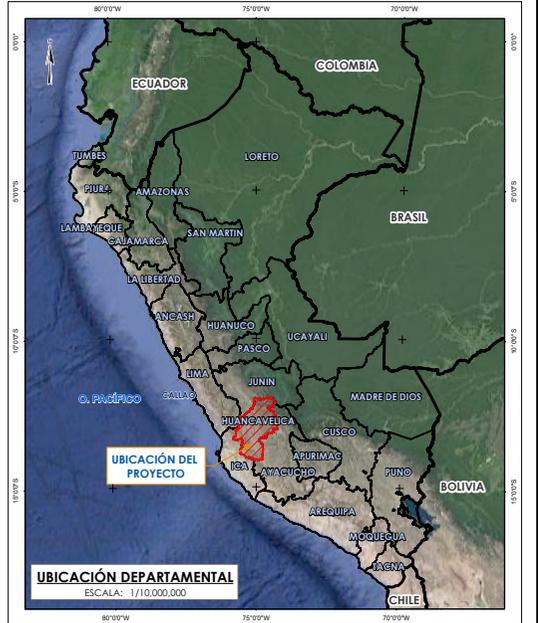
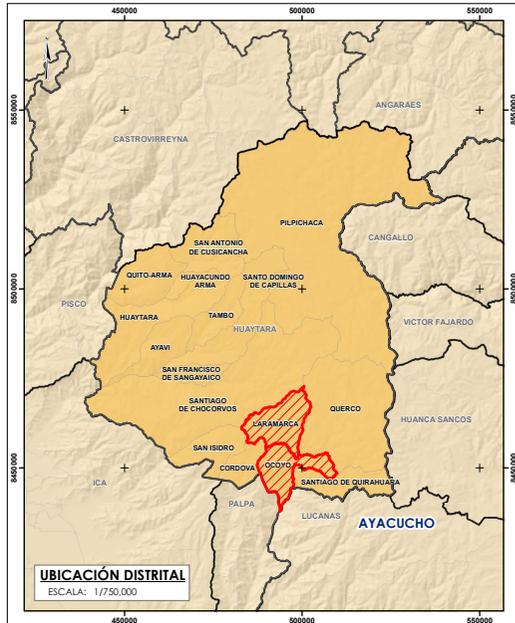
Padilla, W. y Sotamba, B. (2024). *Aplicación y análisis comparativo del sistema de navegación Dronelink en vehículos aéreo no tripulados para levantamiento topográfico (fotogrametría) con el método tradicional (planimétrico), en el Sector Cisneros de Tapi, Riobamba*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Chimborazo <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12719>

Ríos, C., Medina, L. y Almeida, O. (2022). *Identificación de la cantidad de puntos de control que optimicen un levantamiento fotogramétrico para diferentes características de terreno por medio de un análisis comparativo de precisiones. Caso de estudio la Mesa de los Santos en el año 2021*. [Repositorio Institucional Universidad de Santander]. Repositorio Institucional RI-UTS. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/11129>

Sierra Sun Group (s.f.). *Unidad Minera Antapite*. <https://sierrasungroup.com/unidad-minera-antapite/>

Tagle, X., Di Liberto S., Falen, L., Flores, G., Dávila, A., Del Águila, C., Del Castillo y D., Baker, T. (2021). *Protocolo para sobrevuelos con RPAS Phantom 4 Pro y Phantom 4 RTK*. <https://repositorio.iiap.gob.pe/handle/20.500.12921/610>

VII. ANEXOS



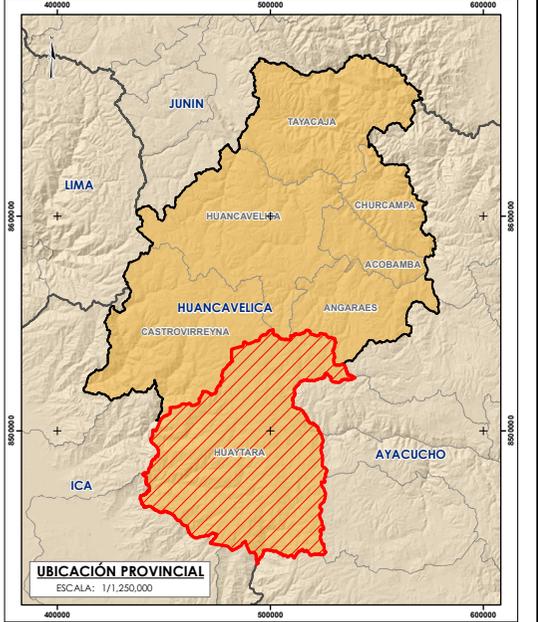
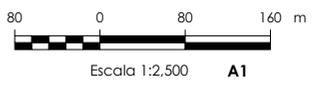
PUNTO BM DE CONTROL GEODÉSICO PROPORCIONADO POR LA U.M. ANTAPITE

Nº	PUNTO	NORTE	ESTE	COTA DE TERRENO (msnm)	DESCRIPCIÓN
1	B	8454014.185	492570.724	3291.444	GEODÉSICO
2	CLAVO	8454215.809	492545.100	3303.685	GEODÉSICO

LEYENDA

X PUNTOS BM PROPORCIONADO POR LA UNIDAD MINERA ANTAPITE

- NOTAS:**
- LA BASE TOPOGRÁFICA SE ENCUENTRA EN SISTEMA DE COORDENADAS UTM DATUM WGS-84 ZONA 18S.
 - LOS PUNTOS BM FUERON PROPORCIONADOS POR LA U.M. ANTAPITE



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO EN EL DEPÓSITO DE RELAVE HUINCHULLA, HUAYTARA - HUANCVELICA PERIODO 2023 - 2024

TÍTULO:
MAPA DE UBICACIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES HUINCHULLA

FECHA: Jul. 2024 ESCALA: 1:2,500 AUTOR: AGUIRRE SÁNCHEZ MARTÍN JOAQUÍN REVISADO POR: Mg. DANTE SÁNCHEZ CIP: 45567 SISTEMA DE COORDENADAS: WGS84 UTM 18S