



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON SEGUIMIENTO DE TERRENO
PARA EVALUAR LA SUPERFICIE TERRESTRE EN LA UNIDAD FISCALIZABLE
SANCOS DE LA MINERA APUMAYO, AYACUCHO

Línea de investigación:

Procesamiento digital de imágenes y señales

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

Autor:

Chuquista Tunque, Josue Erasmo

Asesora:

Aylas Humareda, María del Carmen

ORCID: 0000-0002-2063-0005

Jurado:

Alva Velasquez, Miguel

Legua Terry, Alberto Israel

Zevallos Paredes, William Edward

Lima - Perú

2024



LEVANTAMIENTO FOTOGRAFÍCO CON SEGUIMIENTO DE TERRENO PARA EVALUAR LA SUPERFICIE TERRESTRE EN LA UNIDAD MINERA SANCOS DE LA MINERA APUMAYO, AYACUCHO

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	9%
2	repositorio.oefa.gob.pe Fuente de Internet	5%
3	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	3%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Técnica de Machala Trabajo del estudiante	1%
6	SNC LAVALIN PERU S.A.. "Segundo ITS de la MEIA de la Unidad Minera Cerro Lindo-IGA0002175", R.D. N° 134-2019-SENACE-PE/DEAR, 2020 Publicación	1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON SEGUIMIENTO DE TERRENO PARA
EVALUAR LA SUPERFICIE TERRESTRE EN LA UNIDAD FISCALIZABLE SANCOS
DE LA MINERA APUMAYO, AYACUCHO

Línea de investigación: Procesamiento digital de imágenes y señales

Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

Autor:

Chuquista Tunque, Josue Erasmo

Asesora:

Aylas Humareda, María del Carmen

ORCID: 0000-0002-2063-0005

Jurado:

Alva Velasquez, Miguel

Legua Terry, Alberto Israel

Zevallos Paredes, William Edward

Lima - Perú

2024

ÍNDICE

RESUMEN	5
ABSTRAC	6
I. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Trayectoria del Autor	7
1.2. Descripción de la empresa / institución donde labora o laboró	8
1.3. Organigrama de la empresa	16
1.4. Áreas y funciones desempeñadas.....	17
II. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRICO CON SEGUIMIENTO DE TERRENO PARA LA EVALUACIÓN DE SUPERFICIE TERRESTRE DE LA UNIDAD FIZCALIZABLE SANCOS.....	19
2.1. Generalidades.....	19
2.2. Objetivos	19
2.2.1. Objetivo general.....	19
2.2.2. Objetivos específicos	19
2.3. Antecedentes	20
2.4. Metodología	23
2.5. Resultados	38
2.6. Discusión de Resultados	48
III. APORTES LAS DESTABLES A LA EMPRESA / INSTITUCIÓN:	49
IV. CONCLUSIONES:.....	50
V. RECOMENDACIONES	51
VI. REFERENCIAS.....	52
VII. ANEXOS	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura organizativa del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)	16
Figura 2 Metodología para la evaluación del terreno de la Unidad minera Sancos.	24
Figura 3 Ubicación del Punto Base Geodésico.....	27
Figura 4 Punto de apoyo fotogramétrico	28
Figura 5 Distribución Punto de apoyo fotogramétrico	32
Figura 6 Referencias para la codificación de la dirección de flujo.....	36
Figura 7 Ortomosaico RGB	38
Figura 8 Modelo de elevación digital	39
Figura 9 Ubicación Plataformas	39
Figura 10 Ubicación Material de desbroce	40
Figura 11 Vías de Acceso	47
Figura 12 Modelo de dirección flujo	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Documentos normativos aplicados al levantamiento fotogramétrico.....	24
Tabla 2 Listado de coordenadas corregidas de los PAF	31
Tabla 3 Verificación de ajuste de los modelos fotogramétricos	35
Tabla 4 Resumen de áreas y perímetros.....	41

RESUMEN

El informe detalla la experiencia del autor a lo largo de los años en varias instituciones. Actualmente trabaja en el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), donde se destaca su participación en el proyecto "Levantamiento Fotogramétrico con Seguimiento de Terreno para la Evaluación de Superficie Terrestre en la Unidad minera Sancos, perteneciente a la Minera Apumayo, Ayacucho". Este proyecto tuvo como objetivo realizar la captura fotográfica detallada de la superficie terrestre. Para el desarrollo de este estudio, las actividades realizadas se dividieron en tres etapas. Etapa de Planificación, en esta etapa, se recopiló datos sobre el área de interés, como su ubicación, extensión y características del relieve, con el apoyo del software de *Google Earth*. Se realizó la planeación del levantamiento fotogramétrico y se definieron los planes de vuelo con RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) del área de interés, se hizo la configuración de los parámetros de vuelo, tales como, estilo y altura de vuelo, solapamiento, ángulo de cámara y velocidad de barrido. Distribuimos los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF) priorizando que exista una intersección entre el solapamiento de los vuelos y los PAF, para un correcto ajuste de la información. Etapa de Ejecución, se realizó el levantamiento de información con los vuelos RPAS y con la tecnología DGPS (Differential Global Positioning System) y un proceso de validación de la información en campo. Etapa de Gabinete, se efectuó el procesamiento geodésico con el *software Leyca Infinity* de los PAF, después de adquirir las coordenadas se realizó el procesamiento fotogramétrico con el programa *Agisoft Metashape* para la obtención del modelo de elevación digital (MED) y ortomosaico RGB. En conclusión, el MED y el ortomosaico RGB sirvió como insumo primordial para delimitar y calcular las áreas y perímetros de las plataformas, zonas de terreno disturbado, material de desbroce aledaños a accesos y plataformas en el ámbito de la unidad minera Sancos.

Palabras Clave: Fotogrametría, RPAS, Ortomosaico, DGPS, PAF.

ABSTRACT

The report details the author's experience over the years at various institutions. He currently works at the Environmental Assessment and Supervision Agency (OEFA), where his participation in the project "Photogrammetric Survey with Terrain Tracking for the Evaluation of Land Surface in the Sancos Fiscal Unit, belonging to the Apumayo Mining, Ayacucho" stands out. This project aimed to carry out detailed photographic capture of the Earth's surface. For the development of this study, the activities carried out were divided into three stages. Planning Stage, in this stage, data was collected about the area of interest, such as its location, extent and relief characteristics, with the support of Google Earth software. The planning of the photogrammetric survey was carried out and the flight plans were defined with RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) of the area of interest, the configuration of the flight parameters was made, such as flight style and height, overlap, angle of flight. camera and scanning speed. We distribute the photogrammetric support points (PAF) prioritizing that there is an intersection between the overlap of the flights and the PAF, for a correct adjustment of the information. Execution Stage, information gathering was carried out with RPAS flights and with DGPS (Differential Global Positioning System) technology and a process of validating the information in the field. Cabinet Stage, geodetic processing was carried out with the Leyca Infinity software of the PAF, after acquiring the coordinates, photogrammetric processing was carried out with the Agisoft Metashape program to obtain the digital elevation model (MED) and RGB orthomosaic. In conclusion, the MED and the RGB orthomosaic served as primary input to delimit and calculate the areas and perimeters of the platforms, areas of disturbed terrain, clearing material surrounding accesses and platforms within the scope of the Sancos auditable unit.

Keywords: Photogrammetry, RPAS, Orthomosaic, DGPS, PAF.

I. INTRODUCCIÓN

En este informe se detalla la trayectoria del autor y sus experiencias en los campos de topografía, geodesia y fotogrametría, que fueron fundamentales para llevar a cabo el levantamiento fotogramétrico con seguimiento de terreno en la unidad minera Sancos, ubicado en el departamento de Ayacucho, provincia de Lucanas, distrito de Sancos y Chaviña, como parte de la supervisión ambiental del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.

En el año 2020, la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) comenzó a utilizar tecnologías RPAS y DGPS para obtener información actualizada, detallada y verificable proporcionada por los administrados. Ante estas nuevas demandas, el autor se unió a un equipo de especialistas capacitados en estas tecnologías para brindar apoyo técnico a diversas direcciones dentro del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).

El OEFA, a través de la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minería (DSEM), solicitó a Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) apoyo técnico en la acción de supervisión *in situ* agendada en la unidad minera Sancos, de titularidad de Apumayo S.A.C. Ya que la DSEM no cuenta con la información actualizada y precisa, ni con los especialistas para realizar estas tareas, el autor brinda el soporte técnico a través de las metodologías para la ejecución del levantamiento fotogramétrico RPAS y DGPS.

1.1. Trayectoria del Autor

Bachiller en Ingeniería Geográfica por la Facultad de Ingeniería Ambiental, Geográfica y Ecoturismo (FIGAE) de la Universidad Nacional Federico Villarreal. Ha trabajado en áreas como Sistemas de Información Geográfica (SIG), fotogrametría y topografía utilizando RPAS. Cuenta con más de 6 años de experiencia laboral en diversas organizaciones tanto del sector público como privado.

1.2. Descripción de la empresa / institución donde labora o laboró

Luego Después de obtener el título de bachiller, ha trabajado activamente en los campos de Sistemas de Información Geográfica (SIG), topografía y fotogrametría en diversas organizaciones tanto del sector público como privado, detalladas a continuación:

Huming Ingenieros S.A.C

Actividad de la Institución:

Huming Ingenieros S.A.C. es una compañía establecida en Perú, operando desde 2009, especializada en brindar servicios de consultoría y asesoría en medio ambiente, aspectos sociales, seguridad industrial y salud ocupacional para proyectos de inversión. Su enfoque se basa en el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Función Laboral:

Especialista GIS- Asistente en Fisiografía en el proyecto de “Elaboración del Estudio de Fisiografía para la provincia de Tahuamanu y Tambopata (Distrito de Las Piedras) para el PIP Institucionalidad”

Actividad Laboral:

- Análisis para recabar la información necesaria para la creación del mapa de pendientes.
- Análisis para recabar la data pertinente para la creación del mapa de Unidades Fisiográficas.
- Elaborar los mapas de Pendientes y Unidades Fisiográficas para su presentación final.
- Apoyo en la elaboración de la Memorias Descriptivas para cada ámbito de estudio.

Tiempo Laborado:

Trabajó en Huming Ingenieros desde noviembre de 2017 hasta diciembre de 2018.

Golder Associates Perú S.A.

Actividad de la Institución:

Empresa internacional con enfoque en minería, petróleo y gas, infraestructura y energía. Ofrecían consultoría, diseño y supervisión de proyectos en ingeniería geotécnica y ciencias socioambientales.

Función laboral:

Técnico GIS en el Grupo de Operations,

Actividad Laboral:

- Elaboración de planos y mapas temáticos para distintos proyectos que se llevaban desarrollaban durante el tiempo de estadía en la empresa.
- Creación y administración de la Base de datos de los distintos proyectos.
- Creación de manuales de procedimientos para la organización y estructuración de las bases de datos.

Tiempo Laborado:

Trabajó en Golder Associates desde enero de 2019 hasta enero de 2020.

MO CONTRATISTAS Y SERVICIOS GENERALES S.A.C.

Actividad de la Institución:

Entidad creada en 2008, que se destaca por la prestación de servicios en el sector de la construcción, incluyendo la edificación de proyectos comerciales, residenciales e industriales.

Función Laboral:

Especialista en Sistemas de información geográfica para el proyecto “Plan Integral para el control de inundaciones y movimientos de masas y Plan maestro de drenaje pluvial del área de los distritos de Piura, Castilla y Veintiséis de Octubre”

Actividad Laboral:

- Elaboración de planos y mapas
- Generación y organización de la GeoDataBase del proyecto
- Apoyo en campo para la recolección de información sensible.

Tiempo Laborado:

El tiempo laborado en MO CONTRATISTAS Y SERVICIOS GENERALES S.A.C. fue desde febrero de 2020 hasta abril de 2020.

SENACONSUL E.I.R.L.**Actividades de la Institución:**

Empresa fundada en 2009, especializada en arquitectura, ingeniería y consultoría técnica relacionada.

Función Laboral:

- Técnico GIS
- Actividad Laboral:
- Elaboración de planos y mapas
- Generación, organización y administración de la GDB empresarial.

Tiempo Laborado:

El tiempo laborado en SENACONSUL E.I.R.L. fue desde mayo de 2020 hasta septiembre de 2020.

Autoridad Nacional del Agua – AAA Chaparra Chincha.**Actividades de la Institución:**

Autoridad Administrativa del Agua Chaparra Chincha dependiente del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), gestiona y supervisa los recursos hídricos naturales, autoriza volúmenes y distribuye servicios de agua (EPS y Juntas de Usuarios), otorga permisos de uso de agua, autoriza el vertimiento y la reutilización de agua residual tratada.

Función Laboral:

Asistente en sistemas de información Geográfica para el “Estudio Hidrológico de la Unidad hidrográfica Yauca”.

Actividad Laboral:

- Soporte técnico para los trabajos de gabinete del estudio hidrológico de la U.H. Yauca.
- Elaboración de mapas solicitados en los TDR del estudio.
- Creación y organización de la GeoDataBase.

Tiempo Laborado:

El tiempo laborado en ANA- AAA Chaparra Chincha fue desde septiembre 2020 hasta diciembre 2020.

TECNICA Y PROYECTOS S.A Sucursal Perú – TYPSA.

Actividades de la Institución:

TYPSA es un consorcio autónomo de empresas especializadas en servicios de ingeniería, arquitectura y consultoría. Con más de cinco décadas de trayectoria en la ejecución integral de proyectos ligados al transporte, agua, construcción, energía y desarrollo rural, desde la planificación inicial hasta la fase de operación y puesta en marcha.

Función Laboral:

Analista en Sistemas de Información Geográfica para el proyecto “Estudio de formulación de los planes de Gestión de Recurso Hídrico en dos cuencas pilotos de la vertiente del Atlántico: Mayo y Mantaro”.

Actividad Laboral:

- Elaboración de planos y mapas.
- Análisis de información alfanumérica para propuestas de implementación de soluciones.
- Creación y organización de la GeoDataBase con la información levantada en campo.

Tiempo Laborado:

Trabajó en TYPESA fue desde enero de 2021 hasta marzo de 2021.

Autoridad Nacional del Agua (ANA)– Sede Central

Actividades de la Institución:

La Autoridad Nacional del Agua (ANA), perteneciente al Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), gestiona y supervisa los recursos hídricos naturales. Además, regula la distribución de volúmenes de agua entre los proveedores de servicios (EPS y Juntas de Usuarios), concede permisos de uso, autoriza el vertido y la reutilización de agua residual tratada.

Función Laboral:

Especialista en Sistemas de información Geográfica para el “Servicio de sistematización y registro en aplicativo informático para el registro de bloques de riego de expedientes de formalización de derechos de uso de agua elaboradas en el marco de la FODUA (2010-2020) en el ámbito de las ALA San Juan, Ica y Pisco de la AAA Chaparra Chíncha.”

Actividad Laboral:

- Análisis espacial de datos, edición de información y mapas para integrar, organizar, almacenar, compartir y modelar datos relacionados con las actividades de registro de bloques de riego.
- Recopilar la base alfanumérica y los expedientes de formalización del uso de agua con fines agrarios en el marco de las Resolución Jefatura 484-2012-ANA y la Resolución Jefatura 058-2018-ANA en el ámbito de las ALA San Juan, Ica y Pisco de la AAA Chaparra Chincha. Presentar el cuadro de resumen de bloques e infraestructura hidráulica y los expedientes que se ingresarán al MIDARH componente “Registro de Bloques” y “Registro de Asignación de Volúmenes de Agua.
- Empleando el MIDARH registrar la infraestructura hidráulica (fuentes de agua, bocatomas, clasificación y número de canales y obras), los bloques de riego (código, área total, área bajo riego, tipo de cultivos, entre otros), los esquemas hidráulicos, características de la asignación de volumen de agua (módulo de riego) y los expedientes de formalización del uso del agua con fines agrarios.
- Creación y organización de la GeoDataBase con la información recopilada de expedientes ingresados en la plataforma del ANA-MIDARH.

Tiempo Laborado:

El tiempo laborado en Autoridad Nacional del Agua (ANA) fue desde abril 2021 hasta octubre de 2021.

SENACONSUL E.I.R.L.

Actividades de la Institución:

Empresa fundada en 2009, especializada en arquitectura, ingeniería y consultoría técnica relacionada.

Función Laboral:

Especialista GIS

Actividad Laboral:

- Elaboración de planos y mapas.
- Generación, organización y administración de la GDB.
- Apoyo en campo para recolección de información.
- Análisis de información espacial, editar, organizar, almacenar, compartir y modelizar datos procedentes de las actividades realizadas en campo.

Tiempo Laborado:

El tiempo laborado en SENACONSUL E.I.R.L. fue desde enero de 2022 hasta diciembre de 2022.

Autoridad Nacional del Agua (ANA)– Sede Central

Actividades de la Institución:

La Autoridad Nacional del Agua (ANA), perteneciente al Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), gestiona y supervisa los recursos hídricos naturales. Además, regula la distribución de volúmenes de agua entre los proveedores de servicios (EPS y Juntas de Usuarios), concede permisos de uso, autoriza el vertido y la reutilización de agua residual tratada.

Función Laboral:

Especialista en Sistemas de información Geográfica responsable de la creación de una “Propuesta para la clasificación de cuerpos de agua con designación temporal en las áreas de Huarmey Chicama, Jequetepeque Zarumilla y Cañete Fortaleza.”.

Actividad Laboral:

- Procesamiento geoespacial de la información (SIG) recopilada para la creación del documento de propuesta de clasificación de cuerpos de agua con designación temporal en las áreas de las AAA Huarmey Chicama, Jequetepeque Zarumilla y Cañete Fortaleza.
- Presentación de toponimia y codificación de los cuerpos de agua evaluados para la propuesta de la clasificación de cuerpos de agua con designación transitoria en el ámbito de las AAA Huarmey Chicama, Jequetepeque Zarumilla y Cañete Fortaleza.
- Geoprocesamiento de información (GIS) para la propuesta de la clasificación de 150 cuerpos de agua con designación transitoria en el ámbito de las AAA Huarmey Chicama, Jequetepeque Zarumilla y Cañete Fortaleza.
- Elaboración de mapas preliminares de la propuesta de clasificación 150 cuerpos de agua evaluados de la tercera disposición complementaria transitoria y clasificación vigente.
- Apoyo en trabajos relacionados con la ejecución del servicio a solicitud del área de evaluación, supervisión y fiscalización de la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos (DCERH) y participación en comisiones de servicio.

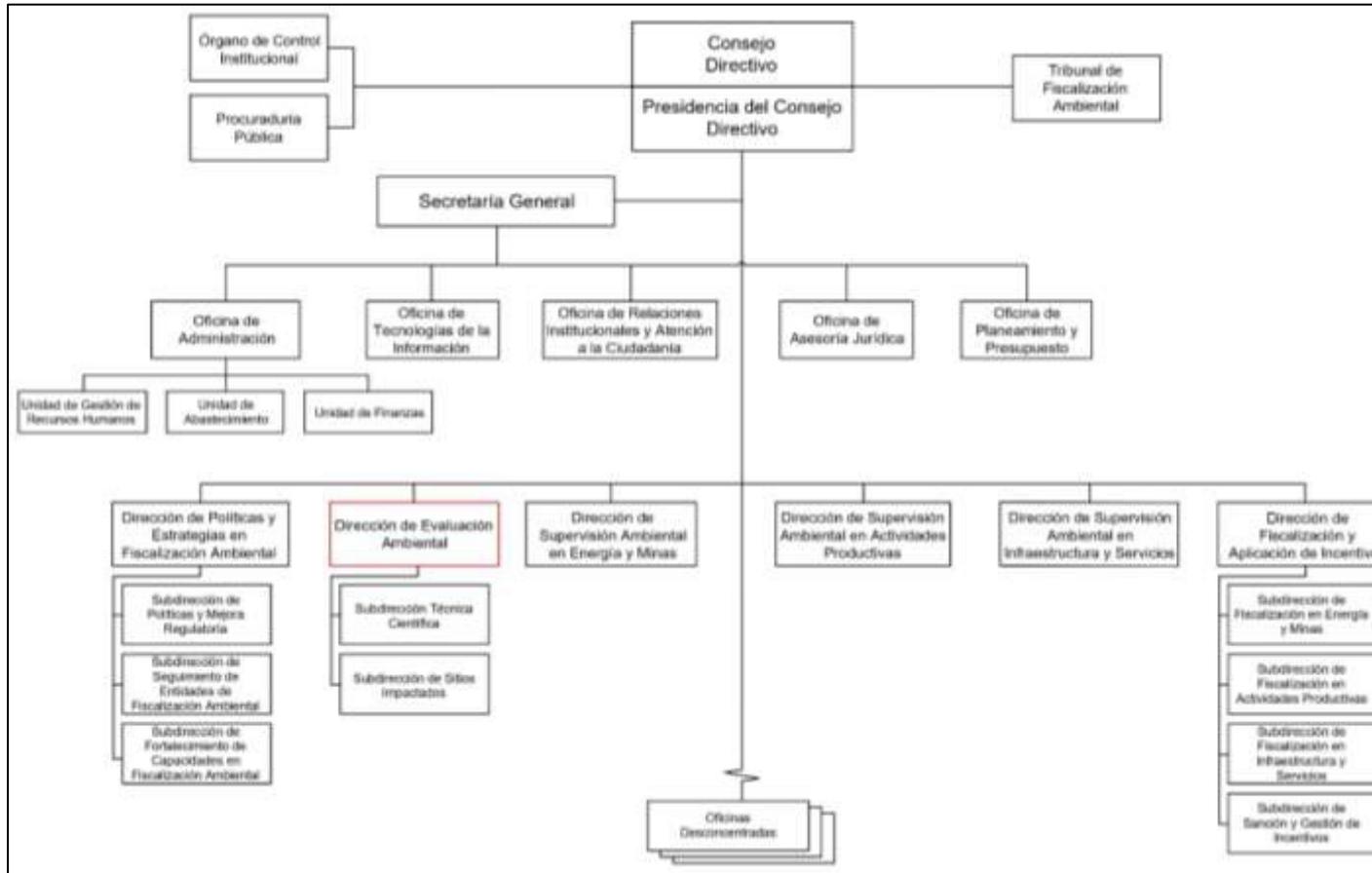
Tiempo Laborado:

El tiempo laborado en ANA-DCERH fue desde febrero de 2023 hasta abril de 2023.

1.3. Organigrama de la empresa

Figura 1

Estructura organizativa del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)



Nota. El autor desempeñó sus funciones en la Dirección de Evaluación Ambiental.

1.4. Áreas y funciones desempeñadas

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) es una entidad pública con experiencia específica en temas técnicos, adscrita al Ministerio del Ambiente y fundada en el año 2008. Su actividad principal es actuar como la autoridad rectora del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA). El OEFA se encarga de supervisar el cumplimiento de las obligaciones ambientales de las empresas en sectores como minería, pesca, energía, y gestión de residuos, entre otros.

Misión:

“Promover el cumplimiento de las obligaciones ambientales en los agentes económicos y la mejora del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (SNGA) de manera articulada, efectiva y transparente, contribuyendo con el desarrollo sostenible del país y el bienestar social”.

Visión:

“Un país moderno que aproveche sosteniblemente sus recursos naturales y que se preocupe por conservar el ambiente conciliando el desarrollo económico con la sostenibilidad ambiental en beneficio de sus ciudadanos”.

En el presente, el autor viene desarrollando sus actividades laborales en el OEFA, iniciando el 6 de julio de 2023, ejerciendo como especialista en sistemas de información geográfica, fotogrametría con RPAS y topografía, dentro de la Subdirección Técnica Científica, la cual pertenece a la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM).

En el presente informe se detallan las actividades llevadas a cabo por el autor durante la ejecución del levantamiento fotogramétrico utilizando tecnologías RPAS con seguimiento de terreno y DGPS, en el área de estudio de la Unidad minera Sancos.

Funciones desarrolladas:

- Elaboración de reportes de campo e informes técnicos basados en los levantamientos fotogramétricos con RPAS para las evaluaciones y supervisiones ambientales.
- Automatización y procesamiento de la información espacial.
- Levantamientos topográficos mediante los DGPS con métodos estático y cinemático en tiempo real (RTK).
- Realización de levantamientos fotogramétricos con RPAS, utilizando sensores de imagen RGB (rojo, verde y azul), multiespectral y térmico para evaluaciones y supervisiones ambientales en los sectores de industria, energía y minería.
- Creación de datos vectoriales y ráster, derivados de los ortomosaicos y cálculos volúmenes, áreas y longitudes utilizando Modelos de Elevación Digital (MED).

II. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRICO CON SEGUIMIENTO DE TERRENO PARA LA EVALUACIÓN DE SUPERFICIE TERRESTRE DE LA UNIDAD FIZCALIZABLE SANCOS

2.1. Generalidades

Se destacó la relevancia del levantamiento fotogramétrico con RPAS con seguimiento de terreno y DGPS, para obtener datos geoespaciales con una precisión de centimétrica con el fin de crear un modelo de elevación digital (DEM) y ortomosaico en el ámbito de la unidad minera Sancos para la delimitación y cálculo de las áreas y perímetros de las plataformas, zonas de terreno disturbado, material de desbroce aledaños a los accesos y plataformas en la unidad minera Sancos, ubicada en el distritos de Sancos y Chaviña, provincia Lucanas, departamento Ayacucho (Mapa de ubicación en Anexos).

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Realizar un levantamiento fotogramétrico de la superficie del terreno en el ámbito de la unidad minera Sancos de la Minera Apumayo, mediante fotogrametría con RPAS con seguimiento de terreno y DGPS.

2.2.2. Objetivos específicos

- Planificar los vuelos RPAS con seguimiento de terreno para el levantamiento fotogramétrico de la superficie del terreno en la unidad minera Sancos, considerando las configuraciones de la cámara, la cobertura, la resolución y la escala requeridas.
- Realizar la correcta distribución de los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF), de acuerdo con los planes de vuelo propuestos.

- Analizar las imágenes aéreas capturadas mediante técnicas fotogramétricas para crear un modelo digital de elevación (MDE) de la superficie del terreno.

2.3. Antecedentes

Jiménez & Prado (2017), en la tesis “Análisis técnico comparativo entre los métodos topográficos tradicionales y el método de aero-fotogrametría con vehículo aéreo no tripulado” tienen como objetivo comparar el método aerofotogrametría con RPAS y el método topográfico convencional, para determinar las ventajas y desventajas de dichas técnicas. Concluyeron que, en las áreas sin vegetación, la aerofotogrametría ofrece una precisión de 0.064 metros, lo cual la hace significativamente más detalladas y precisa que los métodos tradicionales, que tienden a tener mayores errores debido a la intervención humana. En áreas con vegetación densa, la aerofotogrametría tiene una precisión de 0.04863 m. lo que la hace menos precisa en comparación con los métodos tradicionales que suelen ofrecer resultados más exactos en estas condiciones. La exactitud en promedio en un área sin vegetación y con vegetación, es de 0.2815 metros.

Manconi (2019) en el artículo “Optimization of UAV flight planning in steep terrains”, tuvo objetivo evaluar la utilidad de un Modelo Digital de Elevación (DEM) en el diseño de vuelos para la captura de imágenes fotogramétricas de resolución alta en áreas con pendientes entre 30° a 60° al lado este del lago Grimbel, Suiza. Se empleó un dron hexacóptero XR6 Airborne Robotic provisto con una capturador Sony Alpha 6000 (24 megapíxeles), y se utilizó el software de código abierto "Ardupilot" para planificar las misiones, permitiendo la integración de DEM externos en las trayectorias de vuelo. La muestra abarcó un terreno de 6 hectáreas. Los productos fotogramétricos obtenidos que utilizaron este enfoque mostraron una resolución muy alta en áreas con gradientes moderadas a pronunciadas, en comparación con los métodos convencionales que usan altitudes constantes sobre el nivel medio del mar (AMSL). Concluyendo en que las ortofotos obtenidas con un plan de vuelo estándar y

considerando la adaptación de terreno, al comparar los resultados es posible apreciar el beneficio de un GSD aumentado, que es necesario para un mapeo preciso.

Sanz-Ablanedo (2018) en el artículo “Accuracy of unmanned aerial vehicle (UAV) and SfM photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used”, cuyo propósito fue investigar cómo la cantidad y la distribución geográfica de los puntos de control terrestre (PCT), junto con la resolución del tamaño de píxel (GSD), influyen en la precisión de las reconstrucciones fotogramétricas. La investigación se desarrolló a cabo en una muestra de 1200 hectáreas en un área minera de carbón en Santa Lucía, León, España. Se utilizaron más de 100 PCT y se capturaron más de 2500 fotografías. Posteriormente, se realizaron tres mil cuatrocientas sesenta y cinco combinaciones diferentes de puntos de control, alternando entre roles de control y verificación. Los análisis revelaron el impacto positivo en la precisión conforme se incrementa el número de PCT y destacan la importancia de una distribución equitativa de los puntos en el área de trabajo. También se evidenció una sobreestimación de la precisión cuando se calcula el Root Mean Square Error (RMSE) utilizando exclusivamente puntos de control en lugar de incluir puntos de verificación. Además, se estableció una relación directa entre el tamaño de píxel del proyecto (GSD) y la máxima precisión alcanzable en las mediciones fotogramétricas. Este estudio es relevante para nuestra investigación actual debido a que empleamos los PCT para evaluar la precisión mediante el RMSE.

Por su parte, Ccapa y Robles (2021) en su tesis “Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector Huaro, región Cusco 2021”. El propósito era medir el RMSE en levantamientos fotogramétricos con RPAS planificando vuelos con altitud AGL y AMSL constante en terrenos inclinados del Sector Huaro-Cusco. Esta investigación se limitó a una superficie de 15 hectáreas, con escasa o nula vegetación y pendientes superiores al 25%, correspondiente a una zona de puna por encima de

los 4200 msnm en la comunidad campesina de Arawara. Se concluyó que la precisión de los levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector Huaro, representada por el RMSE total, se encuentra en el rango de 0.997 a 3.302 veces el GSD en los 14 escenarios planteados. En planimetría, el RMSE se encuentra en el intervalo de 0.565 a 1.376 veces el GSD, mientras que, en altimetría, el RMSE se sitúa en el rango de 0.821 a 3.038 veces el GSD.

Definición de términos usados.

El autor empleó las siguientes definiciones esenciales que orientaron la metodología del proyecto.

Fotogrametría: Es la disciplina que se encarga de los conceptos, métodos, procesos y tecnologías para la obtención de fotografías o imágenes digitales aéreas, terrestres o satelitales, con el propósito de obtener mediciones geométricas precisas, exactas y confiables para la producción cartográfica o la reconstrucción de entidades espaciales.

GNSS: Acrónimo de Sistemas Globales de Navegación por Satélite, (Global Navigation Satellite System) Se refiere a la agrupación de sistemas de navegación por satélite que incluyen tecnologías como el GPS (NAVSTAR-GPS), GLONASS, GALILEO y BEIDOU. Estos sistemas permiten determinar la ubicación precisa en la superficie terrestre utilizando señales emitidas por satélites en órbita

Vuelo de altura constante (AGL): El término del que estás hablando es "AGL", que significa "Above Ground Level" en inglés, traducido como "sobre el nivel del suelo". En aeronáutica, se utiliza para indicar la altura real de una aeronave sobre el terreno en cualquier momento dado. Es una medida importante ya que muestra la distancia vertical entre la aeronave y el suelo, independientemente de las variaciones en el terreno subyacente. Esta información es crucial para los pilotos, ya que les permite mantener una altura constante relativa al terreno mientras vuelan.

RPAS: Los Vehículos Aéreos No Tripulados son plataformas voladoras que se pueden aplicar para una variedad de situaciones, no solamente son usados con fines militares o de ingeniería, su uso en el ámbito de la fotografía digital ya sea para entretenimiento o para fotos profesionales, es uno de los mayores demandantes de estos productos.

Puntos de Apoyo Fotogramétrico (PAF): Son una serie de puntos de foto identificables en las ortofotos tomadas durante el vuelo, de las cuales se necesitan conocer las coordenadas terrestres, para poder ajustar los modelos de elevación digital y realizar la nivelación de dichos modelos en la fase de orientación absoluta.

Plan de vuelo: El control de vuelo del dron puede llevarse a cabo utilizando un dispositivo móvil o una laptop en tiempo real, lo que permite visualizar el vuelo durante su ejecución e incluso nos da la opción de cambiar su ruta, así como regresar a su base en cualquier instante. La tecnología de estos equipos se ha adaptado tanto a la vida civil que cualquier persona, incluso sin experiencia o habilidades anteriores, puede pilotar un dron. No obstante, el conocimiento y las técnicas profesionales solo son adquiridos por aquellos que se encuentran en constante formación en el área.

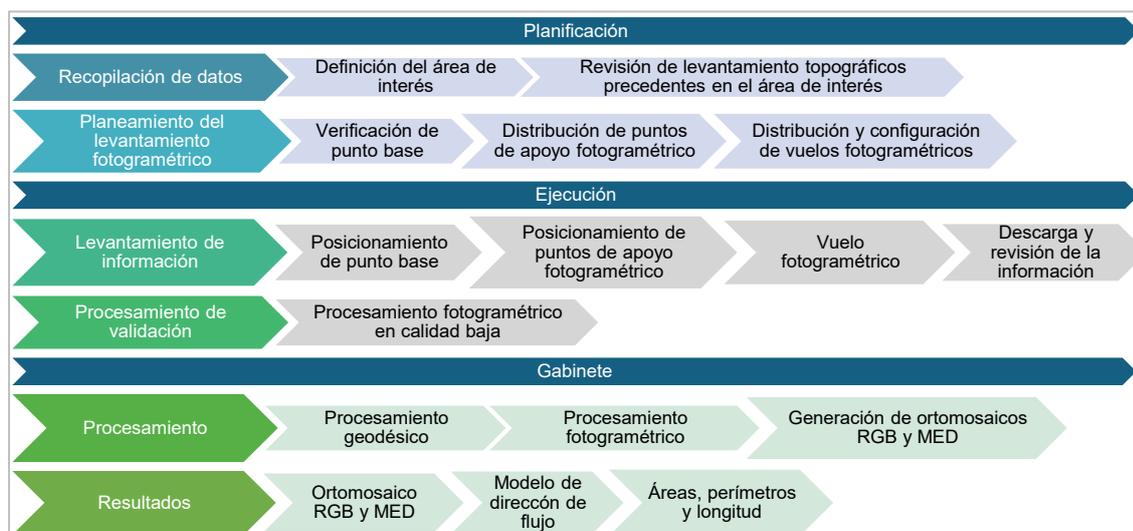
GSD: Ground Sampling Distance (Tamaño de pixel en el terreno), es la distancia entre dos centros de píxeles contiguos medido sobre la superficie. Es la forma de contar las distancias en una fotografía con las distancias en la superficie real.

2.4. Metodología

Para obtener el modelo de elevación digital (en adelante, MED), ortomosaico RGB, áreas y perímetros de las plataformas, zonas de terreno disturbado, cálculo de la longitud de las vías de acceso y modelo de dirección de flujo en el ámbito de la UF Sancos, se usó la metodología que esta dividida en tres etapas. Cada etapa sigue una serie de pasos, los cuales se describen en la siguiente figura.

Figura 2

Metodología para la evaluación del terreno de la Unidad minera Sancos.



Las guías o referencias empleadas para la ejecución de los levantamientos fotogramétricos con RPAS y DGPS se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1

Documentos normativos aplicados al levantamiento fotogramétrico.

Matriz	Nombre	Sección	Dispositivo Legal	Entidad	País
Superficie terrestre	Especificaciones técnicas para posicionamiento geodésico estático relativo con receptores	Todas las secciones	Resolución Jefatural N.º 139-2015-IGN/UCCN	Instituto Geográfico Nacional (IGN)	Perú
	del Sistema Satelital de Navegación Global				
	Norma Técnica Complementaria: «Requisitos para las operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia»	Todas las secciones	Resolución Directoral N.º 501-2015-MTC/12	Dirección General de Aeronáutica Civil – Ministerio de Transportes y Comunicaciones	Perú
	Protocolo para la operación de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS)	Anteproyecto de vuelo de RPAS (Pre-vuelo) / Trabajo de campo (Pre-vuelo) / Vuelo de RPAS (campo)		Resolución Jefatural N.º 051-2017-CENEPRED/J	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres -CENEPRED
	Manual Técnico «Obtención de Productos Cartográficos generados a partir de Imágenes RPAS Escala 1:1000»	Todas las secciones	Resolución Directoral N.º 148-2018/IGN/DC/DC E	Instituto Geográfico Nacional (IGN)	Perú

Matriz	Nombre	Sección	Dispositivo Legal	Entidad	País
	Agisoft metashape user manual professional edition, version 1.7	Todas las secciones	--	--	Rusia
	Leica Infinity User Guide, version 3.1.1	Todas las secciones	--	--	Alemania

Para el levantamiento de la superficie terrestre se llevaron a cabo una serie de etapas que van desde la planificación, ejecución y gabinete. En la etapa de planificación, se determinan los objetivos del levantamiento, se seleccionan las áreas a cubrir y se definen los parámetros técnicos como la altitud de vuelo y la resolución de las imágenes. Esta fase garantiza que se obtengan datos completos y precisos, fundamentales para la exactitud del modelo final. Durante la ejecución en campo, se adquieren las imágenes aéreas siguiendo los parámetros establecidos, asegurando una cobertura completa y una calidad adecuada de las fotografías. La ejecución eficiente y cuidadosa es esencial para evitar errores que puedan comprometer la calidad de los datos recopilados. Finalmente, en el procesamiento en gabinete, se generan los ortomosaicos y se elaboran los modelos digitales de elevación. Esta etapa transforma los datos crudos en información geoespacial precisa que nos servirá para los cálculos de áreas y longitudes.

Etapas de Planificación

Recopilación de datos:

- Definición del área de interés.

Se delimitó el área de interés lo que nos permitió identificar a grandes rasgos las características de la superficie del terreno con la ayuda del programa Google Earth.

- Revisión de levantamiento topográficos precedentes en el área de interés.

Se hace una revisión de la información, donde se confirma si anteriormente se realizó algún tipo de levantamiento cartográfico en el área de interés, para que sirva como punto de partida.

Planeamiento del levantamiento fotogramétrico:

- Verificación de punto base

Se determinó un punto base, considerando la distancia que había en dicha base y la estación de rastreo permanente del IGN y la operatividad de la misma, para que dicho punto esté conectado a la Red Geodésica Nacional.

- Distribución de puntos de apoyo fotogramétrico

Teniendo como soporte visual el programa Google Earth, se distribuyen los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF), considerando la configuración del terreno, y se definen los caminos viables que nos podrían servir para llegar a ellos.

- Distribución y configuración de vuelos fotogramétricos

Se determina el número y la distribución de las misiones de vuelo fotogramétrico para cubrir toda el área de interés, asegurando que la GSD sea consistente en todas las misiones. Para esto, se utilizará el aplicativo SITE SCAN, que permitirá configurar los parámetros de vuelo, tales como: estilo de vuelo, solapamiento lateral y frontal entre las fotografías aéreas, ángulo de la cámara, velocidad de vuelo y altura de vuelo, siendo esta última la más importante para el seguimiento del terreno.

Asimismo, se revisaron las condiciones meteorológicas pronosticadas en la zona de lanzamiento y se usó las aplicaciones *UAV Forecast* y *Magnetology*.

Etapas de Ejecución:

Levantamiento de información:

- Posicionamiento de punto base

En campo, se verifico que la UF Sancos no poseía un punto geodésico, así que se tuvo que establecer un punto de estación base (B-SAN2-01) de coordenadas desconocidas, que posteriormente fue enlazada con la Red Geodésica Nacional.

La estación base permaneció aproximadamente 4 a 6 horas para la recolección de datos GNSS de forma continua con el método estático. En dicho punto se posiciono el equipo DGPS Leica de modelo GS18.

Figura 3

Ubicación del Punto Base Geodésico



Nota. Ubicación del punto de estación base B-SAN2-01 (establecido en el estudio por el OEFA)

- Posicionamiento de puntos de apoyo fotogramétrico

A continuación, se continuó con la distribución de los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF), que fueron en total treinta y ocho (38). Utilizando la estación móvil DGPS, se registró la data GNSS durante aproximadamente 10 minutos para asegurar una correcta captura de la información. Los puntos de apoyo fotogramétrico se seleccionaron para estar libres de obstáculos y sombras, tanto desde la vista aérea como desde la superficie.

Para la identificación de los PAF se colocó una marca terrestre foto identificable (diana), el fin de estas dianas es el poder ser identificadas durante el sobrevuelo de los RPAS, para llevar a cabo la corrección fotogramétrica de las ortofotos y obtener una precisión entre 2 y 6 centímetros.

La recopilación de datos de los puntos se llevó a cabo mediante el método estático. Este método se eligió porque era necesario obtener coordenadas precisas y confiables (Pachas, 2009). Una vez completado el tiempo de registro de cada PAF, se procedió a registrar los datos de los puntos siguientes. Al final de la jornada, se transfirieron los datos de los equipos en formato nativo RINEX para su posterior procesamiento en el gabinete.

Figura 4

Punto de apoyo fotogramétrico



- Vuelo fotogramétrico

Para garantizar un vuelo seguro, se realizó un reconocimiento del área de interés. Se verificaron las condiciones meteorológicas en la zona y se identificaron posibles obstrucciones, como torres con tendido eléctrico, antenas u otros elementos que podrían interferir con el enlace entre el piloto/operador y el RPAS/Drone. Se establecieron los puntos de despegue desde los cuales se realizaron las misiones de vuelo, asegurando un seguimiento del terreno para

mantener una GSD constante y obtener una calidad de píxel uniforme en toda el área del proyecto.

Se llevaron a cabo veintinueve (29) misiones de vuelo, todas realizadas con el RPAS modelo Phantom 4 Pro V2.0 para abarcar el área del proyecto, manteniendo una altura de vuelo constante de 120 m. Se utilizó un solapamiento del 70% tanto en la dirección frontal como en la lateral para evitar vacíos en el ortomosaico del producto final, y se proyectó un GSD de 4 cm/pix.

- Descarga y revisión de la información

Una vez terminado el día laboral, se hacía la descarga de la información recopilada, tanto de los DGPS como de los vuelos RPAS.

Se constata que los DGPS hallan guardado correctamente la información tanto de la base como del rover.

Se revisa la calidad de las fotografías tomadas en cada vuelo, los elementos que suelen ser evaluados incluyen la nitidez de la imagen, la resolución, la iluminación, la cobertura de la zona de interés, la alineación de las tomas, la presencia de posibles defectos o anomalías, y la consistencia entre las diferentes imágenes capturadas. Estos criterios son fundamentales para garantizar la exactitud y fiabilidad de los datos recopilados durante el vuelo.

Procesamiento de validación:

- Procesamiento fotogramétrico en calidad baja.

Al finalizar las misiones de vuelo diarias, se procesó preliminarmente la información para identificar que las capturas se hicieron de manera correcta, es decir, sin vacíos, mediante la revisión de las ortofotos obtenidas. Luego, se procedió al procesamiento de alta calidad en el gabinete.

Etapas de Gabinete:

Procesamiento

- Procesamiento geodésico

El procesamiento geodésico se realizó utilizando el software Leica Infinity. Para procesar los datos geodésicos, se empleó la data de la estación de rastreo permanente de Coracora del Instituto Geográfico Nacional, con código nacional AY02 - Coracora de orden "0" de código internacional 42234M001 (Ficha IGN en Anexos) , ubicada en el distrito de Coracora, provincia de Parinacochas, departamento de Ayacucho. Esta estación se encuentra aproximadamente a 16 km. al este del área de estudio, lo que asegura una correcta conexión del punto base a la Red Geodésica Geocéntrica Nacional. También se utilizó la data del ERP en formato RINEX del 21 de agosto de 2023 para corregir la coordenada del punto base.

En el procesamiento de data GNSS, se tuvo que usar el software Leica Infinity, que proporciona las funciones específicas para ejecutar proyectos completos y generar reportes. Una vez finalizada la captura, se descargó la data cruda en formato RINEX. Posteriormente, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- a) Establecimiento de la carpeta "trabajo"
- b) Configuración de sistema de coordenadas WGS84 UTM Zona 18 sur y modelo matemático de geoide EGM 2008.
- c) Cargar los archivos de mediciones GNSS y limpieza de la data.
- d) Ajuste de los parámetros de antena y configuración de procesamiento GNSS.
- e) Establecimiento de los puntos de control y procesamiento de datos GNSS.
- f) Exportar de reportes de procesamiento GNSS.

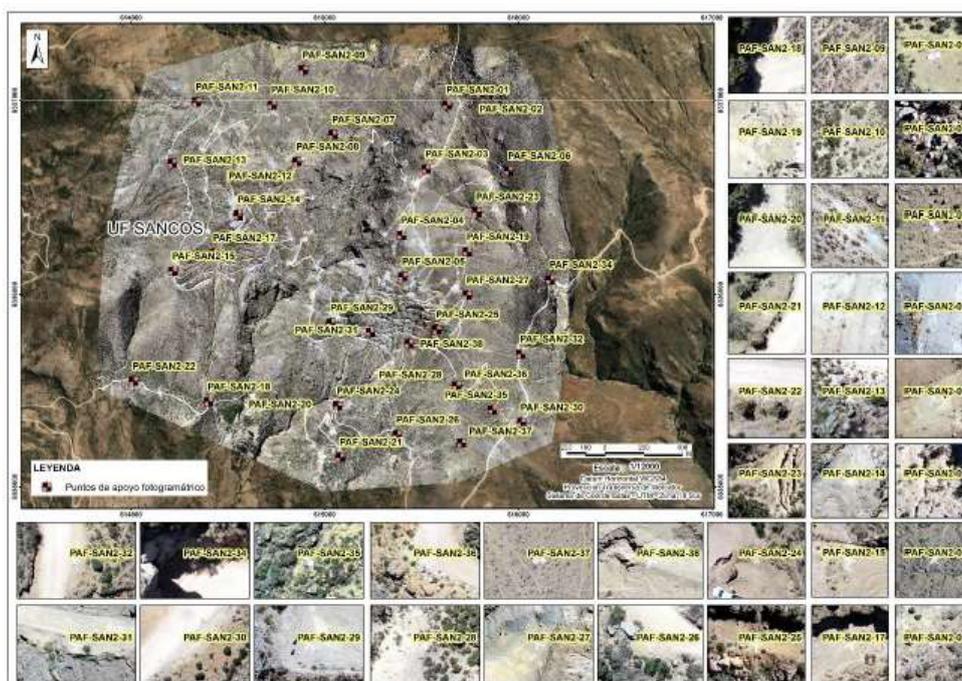
Tabla 2
Listado de coordenadas corregidas de los PAF

N.º	Código PAF	Coordenadas UTM		Altitud Ortométrica (m.s.n.m.)
		WGS84 - Zona 18 Sur		
		Este (m)	Norte (m)	
1	PAF-SAN2-01	615635,51226	8337965,07733	3857,56052
2	PAF-SAN2-02	615628,87890	8336977,54084	3890,45771
3	PAF-SAN2-03	615799,81522	8337038,72731	3908,69021
4	PAF-SAN2-04	615520,26977	8336644,63667	3859,35412
5	PAF-SAN2-05	615394,04579	8336306,90495	3843,82362
6	PAF-SAN2-06	615399,54532	8336092,45337	3806,39567
7	PAF-SAN2-07	615946,51469	8336634,12523	3769,35042
8	PAF-SAN2-08	615038,17043	8336822,20322	3791,25938
9	PAF-SAN2-09	614853,44441	8336681,78581	3793,07027
10	PAF-SAN2-10	614886,12971	8337158,37394	3729,25874
11	PAF-SAN2-11	614724,28883	8336978,65304	3738,62473
12	PAF-SAN2-12	614334,36074	8336992,78796	3649,85156
13	PAF-SAN2-13	614505,69661	8336691,47988	3785,49053
14	PAF-SAN2-14	614209,21183	8336674,43126	3641,77152
15	PAF-SAN2-15	614549,23359	8336408,84910	3750,61012
16*	PAF-SAN2-16	614212,02721	8336120,80829	3571,06508
17	PAF-SAN2-17	614650,24155	8336651,81445	3846,82864
18	PAF-SAN2-18	614423,11541	8336215,16279	3618,29178
19	PAF-SAN2-19	614396,00662	8335442,40434	3268,22486
20	PAF-SAN2-20	615732,82570	8336221,68163	3711,82996
21	PAF-SAN2-21	614606,90637	8335511,33545	3277,57463
22	PAF-SAN2-22	615076,83344	8335153,82981	3325,06039
23	PAF-SAN2-23	614009,12628	8335548,77322	3262,62799
24	PAF-SAN2-24	615782,26972	8336421,83609	3709,67964
25	PAF-SAN2-25	615063,79320	8335420,86528	3366,00210
26	PAF-SAN2-26	615574,84097	8335817,23739	3668,00621
27	PAF-SAN2-27	615370,36219	8335270,40361	3395,89949

N.º	Código PAF	Coordenadas UTM		Altitud Ortométrica (m.s.n.m.)
		WGS84 - Zona 18 Sur		
		Este (m)	Norte (m)	
28	PAF-SAN2-28	615732,21708	8335995,84045	3685,74786
29	PAF-SAN2-29	615362,96593	8335504,35035	3452,63600
30	PAF-SAN2-30	615029,50807	8335852,39463	3608,66950
31	PAF-SAN2-31	616012,05130	8335334,72593	3463,12428
32	PAF-SAN2-32	615232,48039	8335802,74630	3590,76679
33*	PAF-SAN2-33	616009,98627	8335689,92798	3465,05131
34	PAF-SAN2-34	616142,51770	8335939,62132	3469,22321
35	PAF-SAN2-35	616161,57032	8336075,82774	3472,32084
36	PAF-SAN2-36	615862,72906	8335399,27121	3501,96084
37	PAF-SAN2-37	615677,55895	8335524,70292	3572,14134
38	PAF-SAN2-38	615703,07340	8335228,06673	3486,73884

Nota. *PAF-SAN2-16 y PAF-SAN2-33 se descartaron debido a que las marcas terrestres no se visualizaban en el ortomosaico.

Figura 5
Distribución Punto de apoyo fotogramétrico



Nota. Ubicación de los puntos de apoyo fotogramétrico dentro de la UF Sancos.

- Procesamiento fotogramétrico

El procesamiento de datos implicó la realización de los siguientes pasos:

a) Carga de ortofotos al proyecto

Se iniciará un nuevo proyecto en el software *Agisoft Metashape*, donde se aplicará un filtro para excluir las ortofotos que no se calibraron de manera correcta, lo que quiere decir, aquellas que no contribuyen con detalles al modelo de la superficie como parte del control de calidad.

b) Conversión de sistema de coordenadas

Las fotografías aéreas, por defecto, están en el sistema de coordenadas geográficas, por lo que es necesario convertirlas al sistema de coordenadas UTM Zona 18 Sur y al sistema de coordenadas verticales EGM2008.

c) Alineación de fotografías aéreas

Este paso consistió en alinear las fotografías aéreas y generar la nube de puntos densa y dispersa. Este paso es crucial, ya que sirve como base para la creación de modelos posteriormente y permite evaluar y posicionar cada ortofoto según su origen. A continuación, seguimos con el proceso de “Flujo de trabajo” y se selecciona “Orientar fotos”. En este menú se encuentran las opciones generales, donde se puede definir la “precisión” del alineamiento de las ortofotos; se eligió la opción de calidad “Alta” para la alineación.

d) Importación e identificación de PAF

Para añadir los PAF, en la barra de herramientas se seleccionó la opción “Referencia” e importó el archivo Excel (*.csv), que dentro de esta solo debe estar la información sobre el código de puntos, coordenadas este, norte y altitud ortométrica. Tras la importación de los PAF, se validaron con cada ortofoto para identificar, ajustar y verificar su correcta ubicación.

e) Creación de nubes de puntos densa

Se procedió con la elección de la opción “Flujo de trabajo” y se optó por “Construir nube densa”. En el menú, se definió la “Calidad” del proceso como “alta” y, bajo la sección de “Filtrado”, se eligió la opción “agresivo” para mejorar la resolución espacial del terreno. Una vez establecidas todas las opciones, se inició la generación de la nube de puntos densa.

- Generación de ortomosaicos RGB y MED

- a) Creación del Modelo de Elevación Digital – MED

- b) Para crear el MED, se debió usar la nube de puntos densa, que incluía tanto los puntos de superficie como los del relieve. Luego, se delimitó el área del proyecto y, para finalizar, se exportó en formato TIFF.

- c) Creación de ortomosaico en RGB

- d) Para terminar y obtener el ortomosaico en RGB, se utilizó el MED como insumo, el cual influye en la calidad del ortomosaico. Se empleó la herramienta “Crear ortomosaico” para generar el ortomosaico RGB, se delimitó el área del proyecto y, al finalizar, se exportó en formatos TIFF y KMZ.

- Comprobación de la precisión del modelo fotogramétrico

Después del procesamiento fotogramétrico, se utilizó dieciocho (18) de los PAF para comprobar la calidad de la precisión del modelo fotogramétrico, obteniendo los resultados del error RMS (error cuadrático medio) en los ejes este, norte y altitud, como se muestra en la Tabla 3. Estos valores están dentro del rango de tolerancia para los errores residuales en planimetría, considerando una escala cartográfica de 1:1000. Se generó el RSPF-084-023-ITEGI.

Tabla 3
Verificación de ajuste de los modelos fotogramétricos

CÓDIGO DEL PUNTO	Coordenada geodésica			Modelo fotogramétrico			Diferencias		
	Este (m)	Norte (m)	Altitud ortométrica (m.s.n.m.)	Este (m)	Norte (m)	Altitud ortométrica (m.s.n.m.)	Este (m)	Norte (m)	Altitud ortométrica (m.s.n.m.)
PAF-SAN2-02	615799,820	8337038,730	3908,690	615799,828	8337038,637	3908,434	-0,008	0,093	0,256
PAF-SAN2-04	615394,050	8336306,900	3843,820	615394,050	8336306,860	3843,507	0,000	0,040	0,313
PAF-SAN2-05	615399,550	8336092,450	3806,400	615399,529	8336092,387	3806,083	0,021	0,064	0,317
PAF-SAN2-06	615946,510	8336634,130	3769,350	615946,485	8336634,172	3769,360	0,025	-0,042	-0,010
PAF-SAN2-08	614853,440	8336681,790	3793,070	614853,448	8336681,742	3792,935	-0,008	0,048	0,135
PAF-SAN2-09	614886,130	8337158,370	3729,260	614886,276	8337158,324	3729,115	-0,146	0,046	0,145
PAF-SAN2-11	614334,360	8336992,790	3649,850	614334,413	8336992,780	3649,829	-0,053	0,010	0,021
PAF-SAN2-15	614212,030	8336120,810	3571,070	614211,951	8336120,836	3570,980	0,079	-0,026	0,090
PAF-SAN2-18	614396,010	8335442,400	3268,220	614396,025	8335442,459	3268,198	-0,015	-0,059	0,022
PAF-SAN2-20	614606,910	8335511,340	3277,570	614606,870	8335511,407	3277,624	0,040	-0,067	-0,054
PAF-SAN2-21	615076,830	8335153,830	3325,060	615076,819	8335153,868	3324,970	0,011	-0,038	0,090
PAF-SAN2-24	615063,790	8335420,870	3366,000	615063,819	8335420,870	3366,021	-0,029	0,000	-0,021
PAF-SAN2-25	615574,840	8335817,240	3668,010	615574,844	8335817,221	3667,820	-0,004	0,019	0,190
PAF-SAN2-28	615362,970	8335504,350	3452,640	615362,941	8335504,328	3452,651	0,029	0,022	-0,011
PAF-SAN2-29	615029,510	8335852,390	3608,670	615029,507	8335852,350	3608,481	0,003	0,040	0,189
PAF-SAN2-32	616009,990	8335689,930	3465,050	616009,991	8335689,995	3465,164	-0,001	-0,065	-0,114
PAF-SAN2-34	616161,570	8336075,830	3472,320	616161,491	8336075,870	3472,996	0,079	-0,040	-0,676
PAF-SAN2-38	615431,860	8335744,530	3576,030	615431,920	8335744,542	3576,050	-0,060	-0,012	-0,020
						RMS	0,050	0,047	0,219

Resultados:

- Ortomosaico RGB y MED

Para crear el MED, se usó como insumo la nube de puntos densa, que incluía tanto los puntos de superficie como los del proyecto. Luego, se delimitó el área del proyecto y, finalmente, se exportó en formato TIFF.

Finalmente, para generar el ortomosaico en RGB, se utilizó el MED como insumo, que determina su calidad. Se empleó la herramienta “Crear ortomosaico” para producir el ortomosaico RGB, luego se delimitó el área del proyecto y, al finalizar, se exportó en formatos TIFF y KMZ.

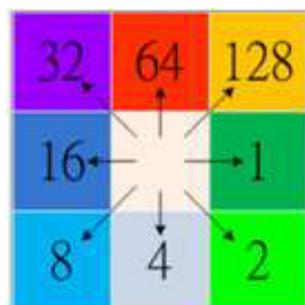
- Modelo de dirección de flujo

Para generar un modelo de dirección de flujo en el ámbito de la UF Sancos, se empleó el MED y con el software ArcGIS se trabajó desde cada celda en el ráster mediante la herramienta Dirección de flujo del *Arctoolbox*.

Se utilizaron ocho direcciones de salidas validas que se relacionan con las ocho celdas adyacentes hacia donde pueda ir el flujo de ocho direcciones (D8) y sigue un acercamiento (1988, Jenson & Domingue), como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Referencias para la codificación de la dirección de flujo.



- Áreas, perímetros y longitud

Para la delimitación y cálculo de áreas y perímetros de las plataformas, zonas de terreno disturbado, material de desbroce aledaños a accesos y material de desbroce aledaños a plataformas en el ámbito de la UF Sancos, se utilizó el programa ArcGIS, llevando a cabo los siguientes pasos:

- a) Se delimitaron las plataformas, áreas de terreno disturbado, material de desbroce alrededor de accesos y material de desbroce cercano a las plataformas en la UF Sancos, utilizando el ortomosaico RGB y el mapa de sombras del MED.
- b) Se determinó el área y el perímetro utilizando la herramienta “*Calculate Geometry*” en el software ArcGIS.

Para delimitar y calcular la longitud de las vías de acceso en comparación con los parámetros de diseño aprobados en el instrumento de gestión ambiental “Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del Proyecto de Exploración Minera Sancos” en la UF Sancos (en adelante, IGA de la unidad minera Sancos), se empleó el software ArcGIS, siguiendo el siguiente proceso:

- a) Se delimitaron las vías de acceso en el ámbito de la unidad minera Sancos, para lo cual se empleó el ortomosaico RGB y el mapa de sombras del MED.
- b) Se convirtió la delimitación de vías de acceso en líneas con la herramienta «*Feature To Line*» del software *ArcGIS*.
- c) Se generó la línea central de vías de acceso con la herramienta «*Collapse Dual Lines To Centerlines*» del software *ArcGIS*.
- d) Se calculó longitud con la herramienta «*Calculate Geometry*» del *software ArcGIS*.

2.5. Resultados

Del procesamiento fotogramétrico se generaron un ortomosaico RGB con una resolución de 5,09 cm/pix y un MED con una resolución de 10,2 cm/pix, ambos con precisión centimétrica y cubriendo un área de 4,93 km², como se detalla en la siguiente figura.

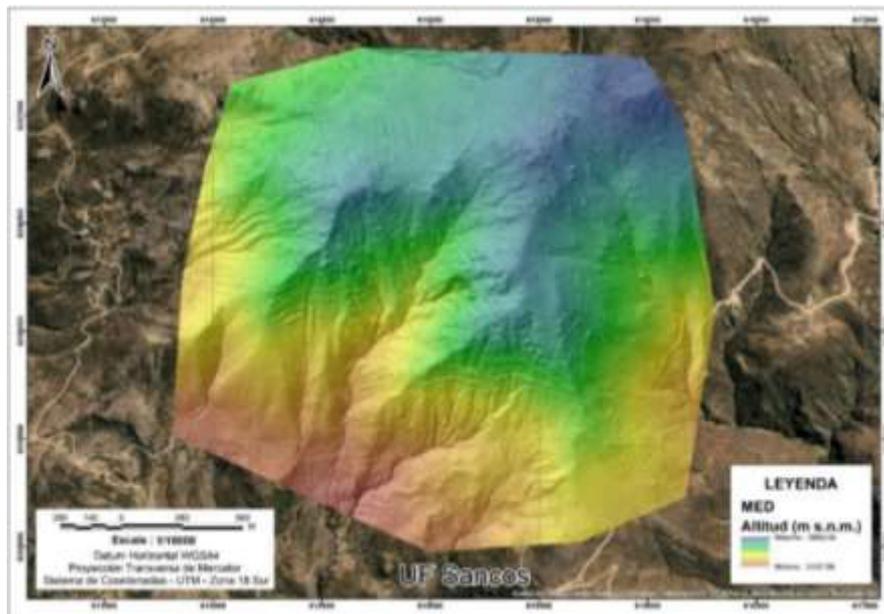
Figura 7

Ortomosaico RGB



Nota. Ortomosaico RGB del área de estudio de la UF Sancos. (Mejor resolución en Anexos)

Figura 8
Modelo de elevación digital



Nota. Se detalla el Modelo de Elevación Digital del área de estudio de la UF Sancos. (Mejor resolución en Anexos)

Se delimitaron y calcularon las áreas y perímetros de ciento cincuenta y siete (157) plataformas de la UF Sancos como se detalla en la siguiente figura.

Figura 9
Ubicación Plataformas

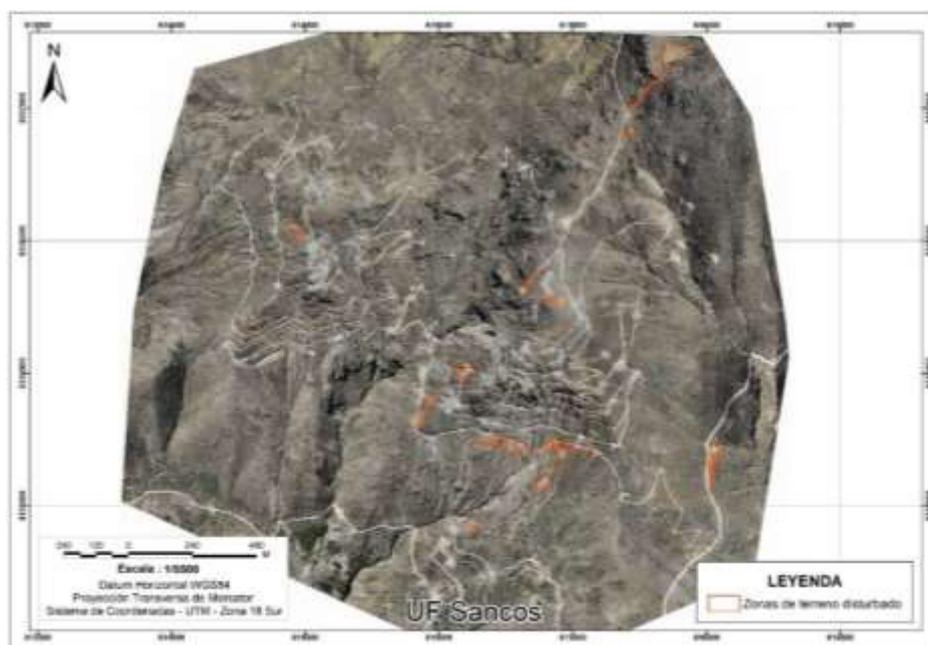


Nota. Ubicación de las ciento cincuenta y siete (157) plataformas de la UF Sancos. (Mejor resolución en Anexos)

Se delimitaron y calcularon las áreas y perímetros trece (13) zonas de terreno disturbado, ciento setenta y uno (171) material de desbroce aledaños a accesos y noventa y tres (93) material de desbroce aledaños a plataformas en el ámbito de la UF Sancos como se detalla en la siguiente figura.

Figura 10

Ubicación Material de desbroce



Nota. Material de desbroce aledaños a accesos y material de desbroce aledaños a plataformas en el ámbito de la unidad minera Sancos. (Mejor resolución en Anexos)

En la Tabla 4 se detallan las áreas y perímetros de las zonas de terreno disturbado, material de desbroce aledaños a accesos y material de desbroce aledaños a plataformas en el ámbito de la UF Sancos.

Tabla 4
Resumen de áreas y perímetros

Delimitación	N.º	Área (m ²)	Perímetro (m)	Delimitación	N.º	Área (m ²)	Perímetro (m)
	1	1725,6	312,5		1	1113,0	238,5
	2	540,3	181,9		2	1050,5	216,9
	3	305,3	143,0		3	1733,1	224,4
	4	109,2	50,6		4	400,4	137,0
	5	446,5	116,6		5	2497,5	585,7
	6	1070,8	458,1	Zonas de	6	350,6	137,6
	7	101,8	40,4	terreno	7	6968,0	831,1
	8	314,8	88,7	disturbado	8	298,1	78,4
	9	853,9	122,1		9	4370,5	735,7
	10	480,9	118,3		10	1253,5	358,9
	11	536,4	111,0		11	5231,7	786,0
	12	361,9	97,7		12	1990,0	325,1
	13	125,2	60,1		13	2178,4	242,8
	14	820,8	258,3		1	538,9	112,7
Material de desbroce	15	898,8	253,8		2	89,3	52,2
aledaños a accesos	16	772,7	345,3		3	719,2	247,0
	17	1073,1	332,8		4	1235,9	325,3
	18	1111,3	349,5		5	343,0	89,9
	19	504,7	126,8		6	202,4	59,5
	20	325,3	112,7	Material de	7	612,4	196,0
	21	927,6	323,6	desbroce	8	425,7	139,8
	22	491,7	208,8	aledaños a	9	559,4	99,0
	23	1015,3	211,2	plataformas	10	107,8	54,3
	24	1463,2	200,6		11	530,6	124,6
	25	390,7	120,5		12	222,8	111,8
	26	207,1	72,6		13	113,1	51,5
	27	490,4	98,8		14	1112,6	155,7
	28	381,5	186,2		15	291,2	79,0
	29	1870,3	185,1		16	33,5	23,3

Delimitación	N.º	Área (m²)	Perímetro (m)	Delimitación	N.º	Área (m²)	Perímetro (m)
	30	1456,9	195,3		17	331,8	100,7
	31	1062,8	198,2		18	185,7	77,1
	32	1342,5	240,5		19	645,7	153,3
	33	342,9	87,3		20	1226,7	232,1
	34	1090,9	324,9		21	564,6	171,8
	35	319,2	69,6		22	228,3	73,9
	36	244,1	62,3		23	465,5	166,3
	37	338,1	150,3		24	509,9	101,7
	38	944,2	159,2		25	1056,8	197,7
	39	1079,7	176,0		26	571,6	113,5
	40	570,9	137,5		27	459,3	85,7
	41	250,0	135,2		28	453,6	98,5
	42	516,2	188,1		29	1525,2	312,3
	43	867,4	253,2		30	735,5	148,1
	44	1068,0	230,0		31	1592,2	222,6
	45	405,2	135,6		32	1905,1	185,2
	46	216,3	96,2		33	1777,4	336,0
	47	104,1	83,1		34	992,6	149,9
	48	112,3	42,6		35	733,3	124,9
	49	92,8	43,7		36	276,2	81,6
	50	297,4	104,9		37	167,9	70,6
	51	605,4	173,2		38	634,5	111,3
	52	149,1	72,6		39	160,1	82,8
	53	221,5	211,1		40	60,3	32,5
	54	77,6	79,3		41	1125,6	230,3
	55	150,3	59,5		42	85,6	37,0
	56	131,4	69,0		43	91,8	38,8
	57	1066,9	164,5		44	346,5	123,2
	58	268,2	74,6		45	223,7	102,2
	59	529,1	142,6		46	594,1	112,5

Delimitación	N.º	Área (m²)	Perímetro (m)	Delimitación	N.º	Área (m²)	Perímetro (m)
	60	162,8	97,8		47	815,8	163,2
	61	352,8	112,7		48	494,1	101,4
	62	68,5	39,0		49	208,3	91,3
	63	742,8	176,1		50	966,6	146,5
	64	896,6	222,5		51	207,3	134,8
	65	107,6	75,2		52	212,1	103,2
	66	142,7	77,8		53	172,5	87,0
	67	55,8	48,6		54	461,1	115,3
	68	234,3	80,5		55	609,5	119,9
	69	368,5	144,5		56	474,4	143,2
	70	432,5	102,7		57	50,5	28,7
	71	1524,9	552,9		58	26,2	26,7
	72	139,4	54,9		59	127,2	53,8
	73	1924,2	462,5		60	566,3	194,4
	74	348,0	114,5		61	28,9	33,6
	75	279,4	129,6		62	712,2	164,6
	76	1565,8	344,9		63	288,5	88,9
	77	362,6	87,1		64	269,6	109,3
	78	501,3	127,9		65	196,6	96,9
	79	147,2	70,5		66	446,6	138,3
	80	313,6	106,4		67	44,1	29,5
	81	360,3	104,1		68	1899,6	211,1
	82	34,2	22,9		69	916,9	201,6
	83	40,2	28,2		70	625,6	122,0
	84	722,7	147,1		71	592,7	110,9
	85	5277,5	787,5		72	854,0	185,9
	86	1638,9	230,7		73	189,2	60,4
	87	637,0	144,3		74	471,4	155,5
	88	762,9	154,0		75	260,5	130,8
	89	224,5	73,8		76	817,1	250,4

Delimitación	N.º	Área (m²)	Perímetro (m)	Delimitación	N.º	Área (m²)	Perímetro (m)
	90	314,2	82,5		77	581,6	165,0
	91	822,9	149,8		78	200,7	63,1
	92	264,5	69,8		79	126,9	63,6
	93	740,9	184,8		80	346,8	119,4
	94	736,2	132,2		81	151,2	74,3
	95	858,4	257,4		82	101,7	93,4
	96	639,3	136,5		83	195,5	106,4
	97	299,5	101,7		84	462,0	139,8
	98	318,6	119,6		85	195,4	63,5
	99	145,9	63,3		86	57,7	49,9
	100	471,3	154,1		87	52,8	49,5
	101	214,4	75,5		88	961,9	131,0
	102	1475,0	308,3		89	286,3	76,3
	103	439,4	100,6		90	119,3	60,4
	104	458,5	236,3		91	1100,0	179,3
	105	544,4	382,2		92	553,0	131,2
	106	804,8	295,2		93	111,1	75,2
	107	339,6	128,3				
	108	342,1	128,4				
	109	1050,7	160,7				
	110	1198,7	184,1				
	111	403,1	108,5				
	112	215,9	82,4				
	113	218,8	71,9				
	114	494,8	126,2				
	115	438,0	150,5				
	116	83,3	59,0				
	117	76,3	58,5				
	118	54,9	46,4				
	119	232,4	116,2				
	120	262,4	117,9				

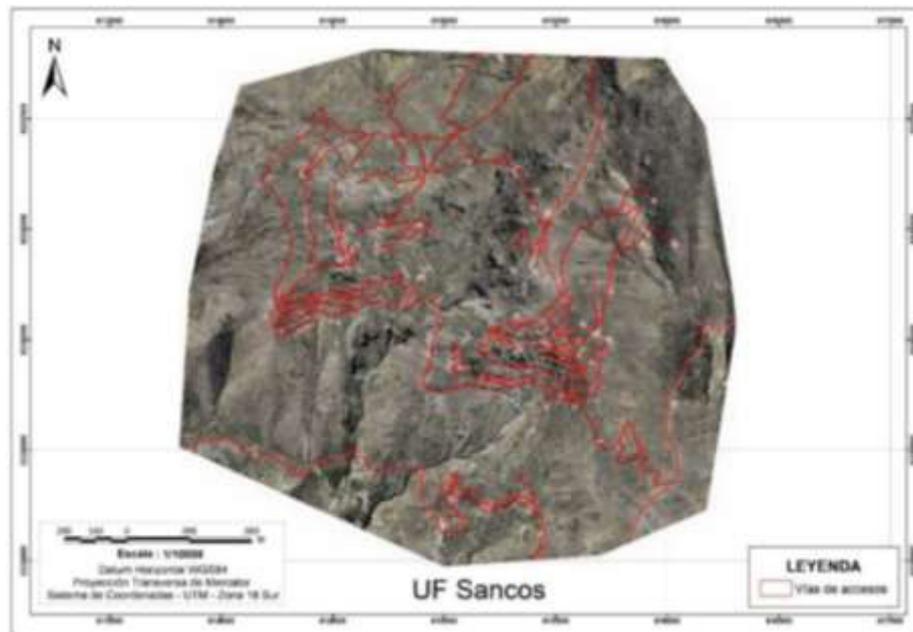
Delimitación	N.º	Área (m²)	Perímetro (m)	Delimitación	N.º	Área (m²)	Perímetro (m)
	121	71,3	44,5				
	122	88,5	76,1				
	123	128,2	59,6				
	124	82,9	44,4				
	125	213,7	73,2				
	126	225,5	104,9				
	127	363,5	113,8				
	128	384,8	119,4				
	129	512,3	135,1				
	130	466,9	142,9				
	131	977,2	164,9				
	132	220,5	86,7				
	133	1753,5	278,3				
	134	647,2	120,0				
	135	1279,7	196,4				
	136	382,8	174,9				
	137	70,9	59,7				
	138	41,7	27,1				
	139	183,6	85,1				
	140	536,5	372,4				
	141	291,5	85,4				
	142	720,4	196,3				
	143	288,3	102,0				
	144	85,2	47,4				
	145	38,7	29,8				
	146	167,5	78,6				
	147	916,4	241,7				
	148	467,5	197,7				
	149	629,9	192,9				
	150	235,1	131,6				
	151	76,8	44,3				

Delimitación	N.º	Área (m²)	Perímetro (m)	Delimitación	N.º	Área (m²)	Perímetro (m)
	152	115,5	83,8				
	153	384,3	143,3				
	154	179,7	106,3				
	155	287,7	168,8				
	156	162,2	74,8				
	157	596,7	191,6				
	158	2446,2	416,0				
	159	276,3	133,9				
	160	260,9	68,2				
	161	649,9	146,1				
	162	579,4	130,8				
	163	449,8	115,7				
	164	1890,5	268,2				
	165	2312,9	296,5				
	166	472,4	129,3				
	167	676,9	132,1				
	168	314,0	95,8				
	169	395,0	125,9				
	170	1048,1	197,4				
	171	1464,4	224,9				

Nota. Áreas y perímetros de las zonas de terreno disturbado, material de desbroce aledaños a accesos y material de desbroce aledaños a plataformas.

Se delimitaron las vías de acceso en el ámbito de la UF Sancos, como se detalla en la siguiente figura, se calculó un ancho promedio de 4 m similar al parámetro de diseño autorizado en el IGA de la UF Sancos, y una longitud de 29341 m superior a los 21854 m autorizados en el IGA de la UF Sancos.

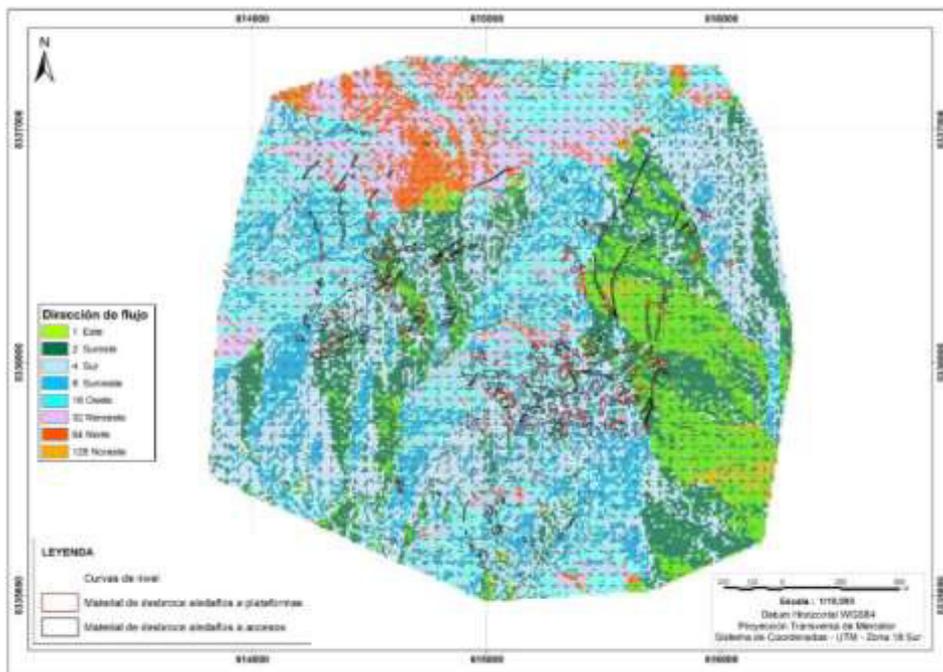
Figura 11
Vías de Acceso



Nota. Vías de accesos en el ámbito de la UF Sancos. (Mejor resolución en Anexos)

Se generó un modelo de dirección de flujo en el ámbito de la UF Sancos, como se muestra.

Figura 12
Modelo de dirección flujo



Nota. Modelo de dirección de flujo en el ámbito de la UF Sancos. (Mejor resolución en Anexos)

2.6. Discusión de Resultados

Al haber realizado los vuelos fotogramétricos con seguimiento de terreno, fue posible obtener un resultado más fiable y precisa, ya que manteniendo la misma altura a lo largo del vuelo (120 m), se obtuvo un tamaño de GSD de 4 cm/pix. Siendo un GSD aumentado, según describe Manconi (2019) al comparar los métodos tradicionales que usan altitudes constantes sobre el nivel medio del mar (AMSL).

A su vez Jiménez & Prado (2017), en su tesis concluyeron que, en las áreas sin vegetación, la aerofotogrametría ofrece una precisión de 0.064 metros, lo cual la hace significativamente más detalladas y precisa que los métodos tradicionales, lo cual es respaldado con los datos obtenidos en nuestro propio estudio con errores en Este de 0,050 m. y en Norte de 0,047 m. Lo que nos indica que la precisión es alta, ya que se tuvo 38 puntos de apoyo fotogramétricos, distribuidos de manera eficiente en el área de estudio.

Así mismo, los vuelos fotogramétricos mediante drones vienen siendo una de las formas más eficientes de realizar levantamientos topográficos, ya que requiere un personal bastante reducido comparándolo con la topografía tradicional, ya que no permite abarcar más área en menor tiempo y llega a lugares que pondrían en riesgo la seguridad del personal, disminuyendo considerablemente el tiempo de operación en campo.

III. APORTES LAS DESTABLES A LA EMPRESA / INSTITUCIÓN:

Durante mi labor como evaluador ambiental en la OEFA, se contribuyó significativamente en diversas evaluaciones y supervisiones en sectores clave como minería, industria e hidrocarburos, entre otros. A continuación, se destacan los principales logros y contribuciones realizadas a la institución:

- Se obtuvo datos detallados de la superficie terrestre mediante la captura precisa de imágenes utilizando RPAS (Phantom 4 Pro, Trinity F90+ y Mavic 3M Enterprise) para levantamientos fotogramétricos, con una precisión centimétrica
- Se elaboró cuatro (04) manuales para diversos modelos de RPAS, tanto para su uso como para la descarga de información sensible (DataLog de vuelo).
- Capacitó a personal de la Dirección de Evaluación Ambiental en el uso de equipos DGPS (Trimble) para realizar levantamientos con RTK (Real Time Kinematic), así como la descarga de los archivos generados, con el fin de elevar las capacidades en el uso de dichos equipos.
- Realizó inspecciones aéreas para la identificación de diversas actividades, como actividades industriales, componentes mineros y la búsqueda de evidencia como la iridiscencia que es generada por pequeñas cantidades de petróleo en el mar peruano.
- Generó levantamientos de data geodésica con DGPS, con métodos RTK, estático y estático rápido.
- Automatizó procesos como la creación de reportes fotográficos, usando macros de excel, que redujo de manera significativa el tiempo empleado en la creación de estos, por ende, genero mayor eficiencia y menor error humano al momento de generar dicho documento, siendo más precisa.

IV. CONCLUSIONES:

4.1. Se obtuvo información de la superficie del terreno para setiembre del 2023, en el ámbito la unidad minera Sancos de titularidad de Apumayo S.A.C., ubicado en los distritos Chaviña y Sancos, provincia Lucanas y departamento Ayacucho, mediante el uso de RPAS y DGPS.

4.2. Se obtuvo el diseño del vuelo fotogramétrico para el levantamiento de la superficie del terreno en la unidad minera Sancos ha sido llevado a cabo con éxito, cumpliendo con los parámetros esenciales de la cámara, la cobertura, la resolución y la escala requeridas para obtener resultados precisos y detallados

4.3. Se realizó la correcta distribución de puntos de apoyo fotogramétrico conforme a los planes de vuelo establecidos ha sido fundamental para alcanzar los objetivos de precisión y calidad en el levantamiento fotogramétrico. El enfoque metodológico garantizó la fiabilidad de los datos geoespaciales obtenidos.

4.4. Se creó un modelo de elevación digital de la unidad minera Sancos, con resolución espacial de 10,2 cm/pix con precisión centimétrica que cubre un área de 4,93 km².

V. RECOMENDACIONES

- 5.1. Se recomienda el uso de los Drones para realizar levantamientos fotogramétricos y/o topográficos, ya que es una herramienta versátil y veloz para la obtención de información, evitando los riesgos relacionados a la topografía tradicional al momento de estar en lugares poco accesibles o peligrosos debido al relieve del terreno.
- 5.2. Se recomienda utilizar el modo de seguimiento de terreno con los RPA, ya que este modo nos brinda una mínima pérdida en la calidad de píxel, en relieves escarpados o de mucha pendiente, teniendo en cuenta siempre que en dicha zona no existan infraestructuras que puedan interferir con el recorrido programado del dron (torres o postes eléctricos, tendidos eléctricos, arboles, etc.).
- 5.3. Se recomienda el uso de puntos de apoyo fotogramétrico, distribuidos de manera equidistante en el área de interés, ya que dichos puntos nos brindaran un mejor ajuste de la información fotogramétrica, que nos permitirá obtener resultados más precisos al momento de realizar cálculos de volumen, áreas o longitudes.
- 5.4. Se recomienda que las horas de vuelo de los drones sean entre las 10:30 am y las 13:30 pm, ya que en este lapso suelen presentarse menor cantidad de sombras sobre el relieve, lo que resultara en una menor probabilidad de presentar ruidos en el ortomosaico y en el modelo de elevación digital.
- 5.5. Se recomienda hacer pre-vuelos, para verificar las condiciones del dron y prevenir posibles fallos.
- 5.6. Se recomienda tener varias memorias Micro SD de respaldo al momento de ir a campo, ya que al ser archivos generados de los vuelos (fotografías y videos) son pesados, por ende, llenan una memoria con rapidez.

VI. REFERENCIAS

- Anguiano, M., Corral, F., Trujillo, G., Salas, D. y García, A. (2018). Topographic investigation from a low altitude unmanned aerial vehicle. *Optics and Lasers in Engineering*, 109, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2018.05.015>.
- Ccapa, N. y Robles, L. (2021) *Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector Huaro, región Cusco 2021*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/6754>
- Del Río, O., Espinoza, T., Sáenz, A. y Córtez, F. (2019). Levantamientos Topográficos con Drones. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*. <http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2019/CID012.pdf>
- Gonzalez, R. (2019). Drones. Aplicaciones en Ingeniería Civil y Geociencias. *Interciencia*, 44(6), 326–332. <https://www.redalyc.org/journal/339/33960068003/>
- Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco (2019). *Glosario GPS/GNSS. Geodesia, Fotogrametría, Topografía, Cartografía y Catastro*. https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/06/GLOSARIO_IIEG-2019.pdf
- Jimenez, W. y Prado, J. (2017). *Análisis técnico comparativo entre los métodos topográficos tradicionales y el método de aerofotogrametría con vehículo aéreo no tripulado*. [Tesis de Pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito]. Repositorio Institucional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19161/1/CD-8542.pdf>
- Lerma, L. (2002). *Fotogrametría moderna: analítica y digital*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Manconi, A., Ziegler, M., Blöchlinger, T. y Wolter, A. (2019) Optimization of unmanned aerial vehicles flight planning in steep terrains. *International Journal of Remote Sensing*, 40

(7), 2483–2492.
https://www.researchgate.net/publication/330790652_Technical_note_optimization_of_unmanned_aerial_vehicles_flight_planning_in_steep_terrains/link/6151c039522ef665fb63983f/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn9

Resolución Directoral N° 501-2015-MTC/12, Aprobar el texto de la Norma Técnica Complementaria Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia. (3 de noviembre de 2015).
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/390601/RD_501-2015-MTC12.pdf?v=1571265753

Resolución Jefatural N° 139-2015/IGN/UCCN, Aprobar la Norma Técnica para Posicionamiento geodésico estático relativo con receptores del sistema satelital de navegación global. (28 de septiembre de 2015).
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/670923/ESPECIFICACIONES-TECNICAS-PARA-POSICIONAMIENTO.pdf?v=1588286032>

Resolución Jefatural N° 051-2017/CENEPRED/J, Aprobar el Protocolo para la Operación de los Sistemas de Aeronaves Piloteadas a Distancia (RPAS). (5 de junio de 2017).
<http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/docs/difusion-manuales/protocolo.pdf>

Perez, J. (2001). *Apuntes de Fotogrametría III* [Universidad de Extremadura, Mérida, Venezuela]. Repositorio Institucional.
<http://redgeomatrica.rediris.es/cartoprofesores/Fotogrametria/ApuntesFotogrametria3.pdf>

Sanz- Ablanado, E., Chandler, H., Rodríguez-Pérez, R. y Ordóñez, C. (2018). Accuracy of unmanned aerial vehicle (uav) and sfm photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used. *Remote Sensing*, 10(10), 1598.

Ticona, N. y Turpo, V. (2021). *Análisis comparativo de levantamiento topográfico convencional y fotogramétrico de la red de distribución de agua potable en el distrito de Taraco – Huancané – Puno* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Unión, Lima].

Repositorio

Institucional

UPEU.

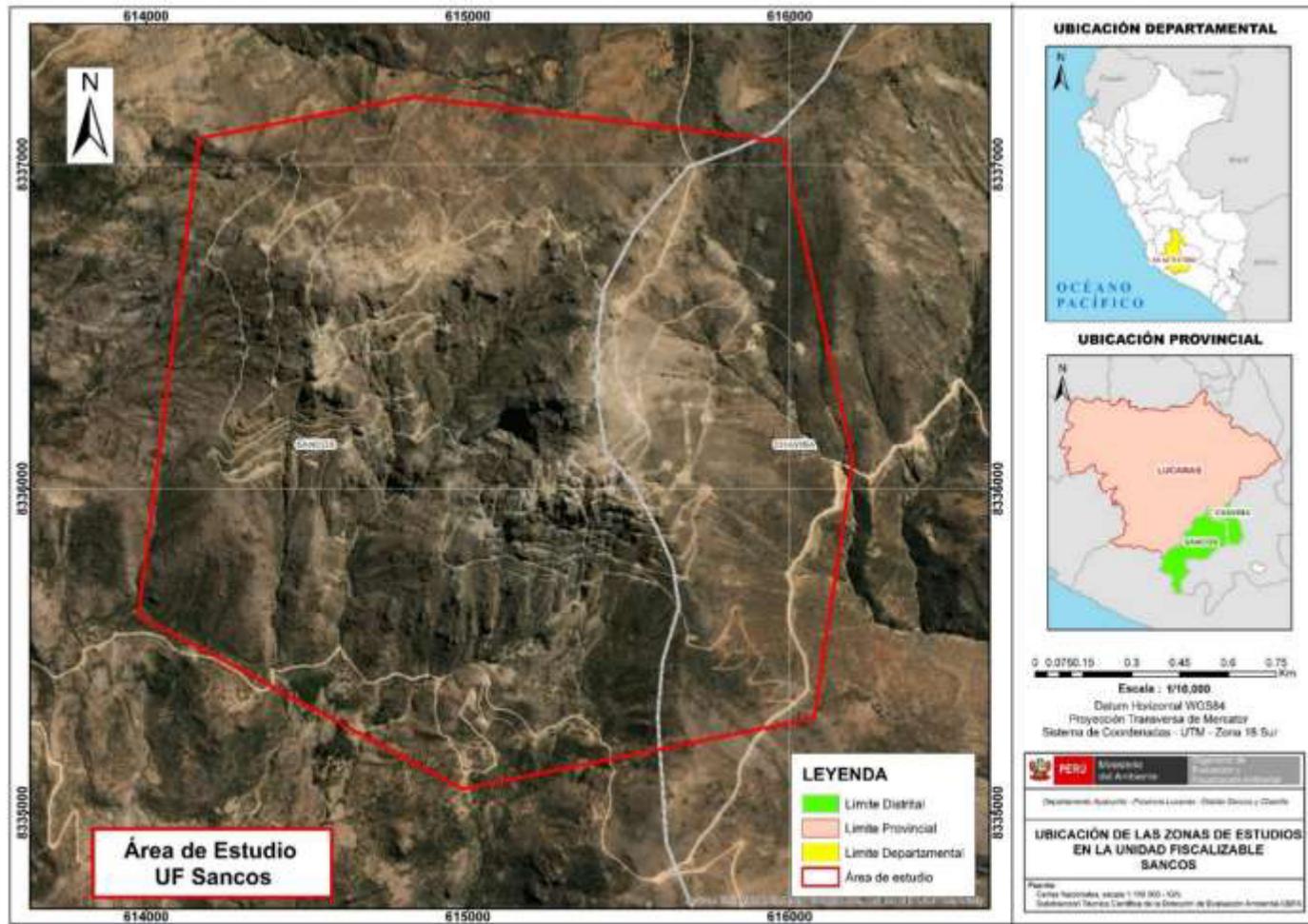
https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/4936/Noemi_Tesis_Licenciatura_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Turner, I., Harley, M. y Drummond, C. (2016). *UAVs for coastal surveying*.

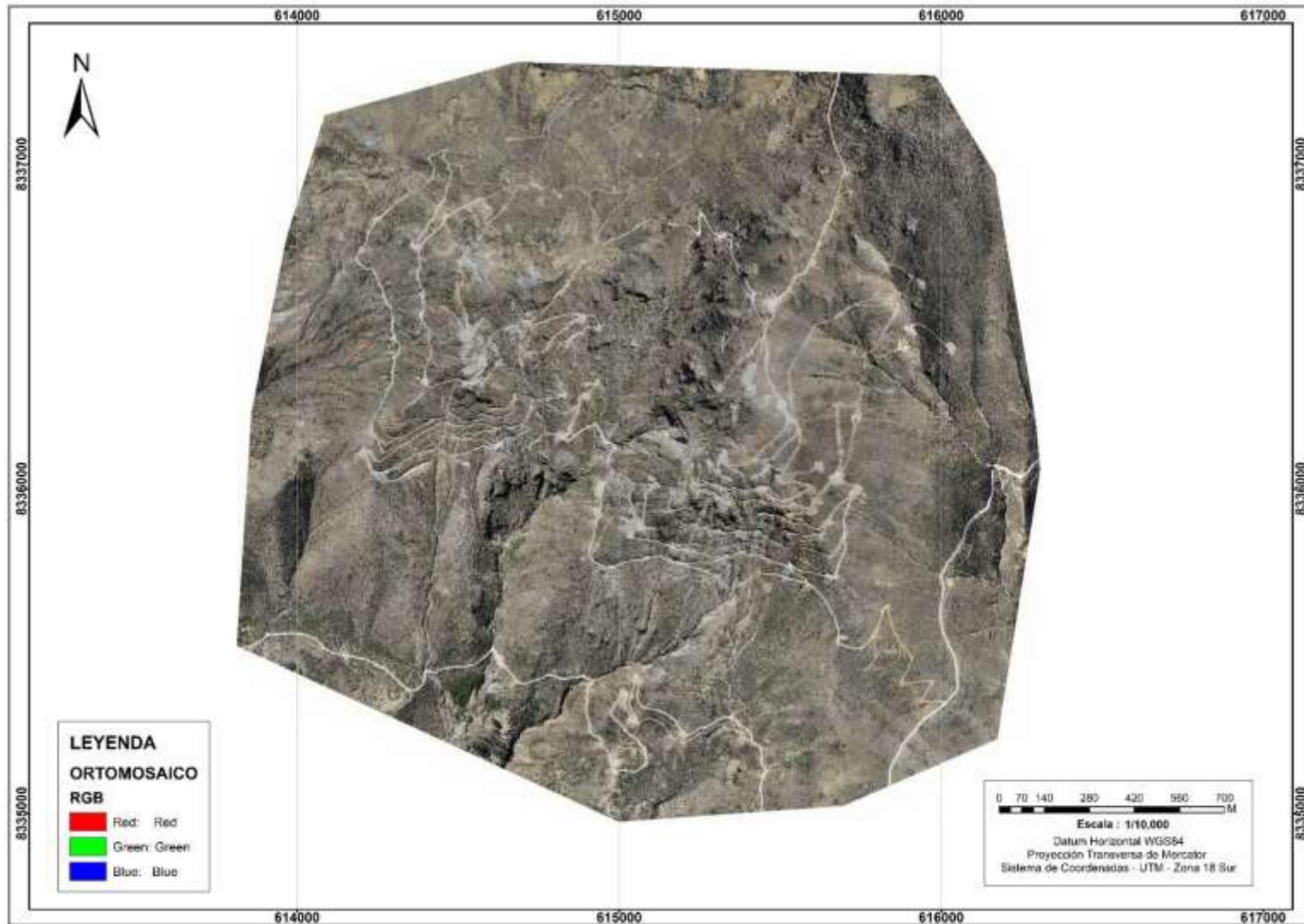
<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.03.011>

VII. ANEXOS

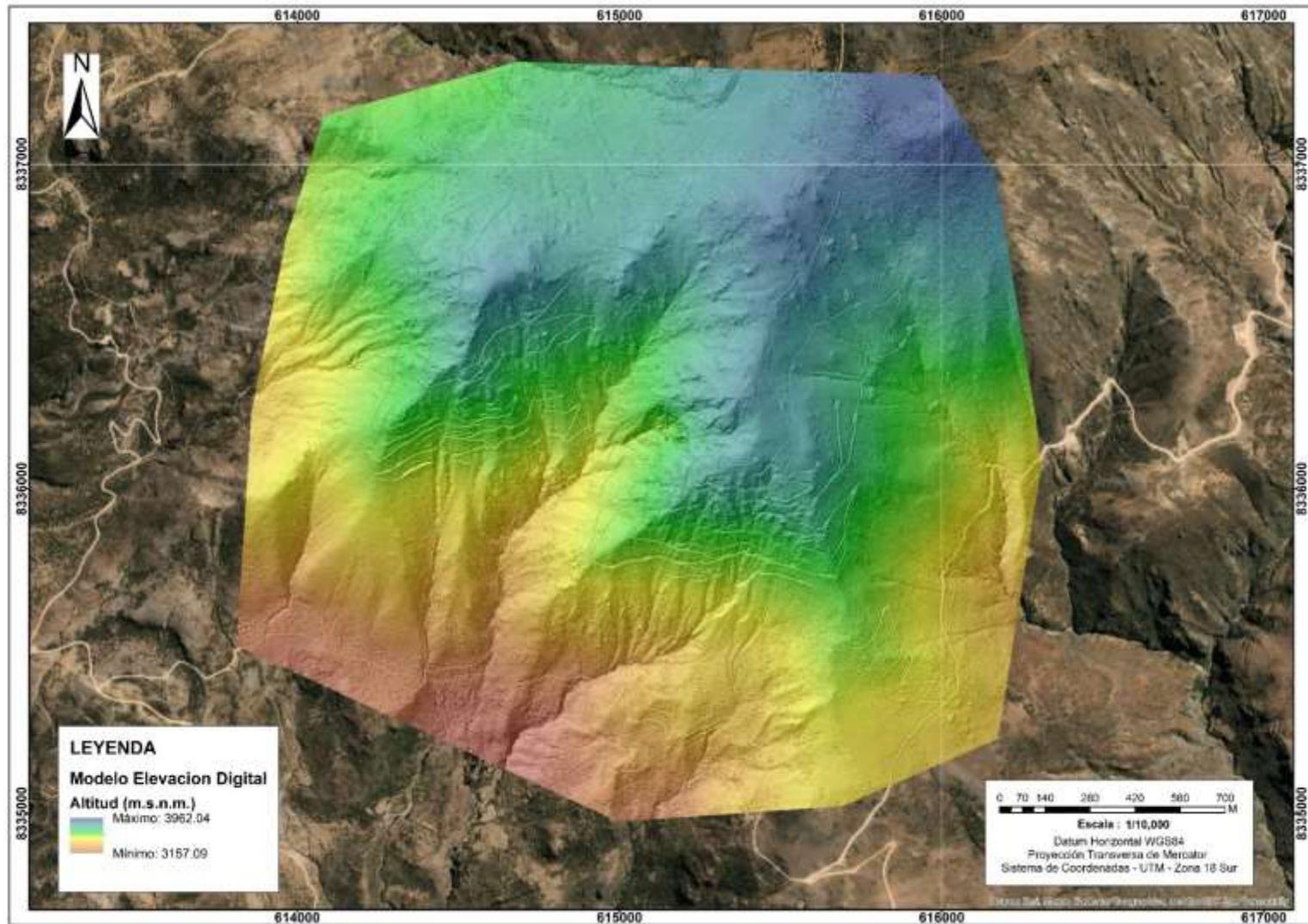
Anexo A: Mapa de Ubicación



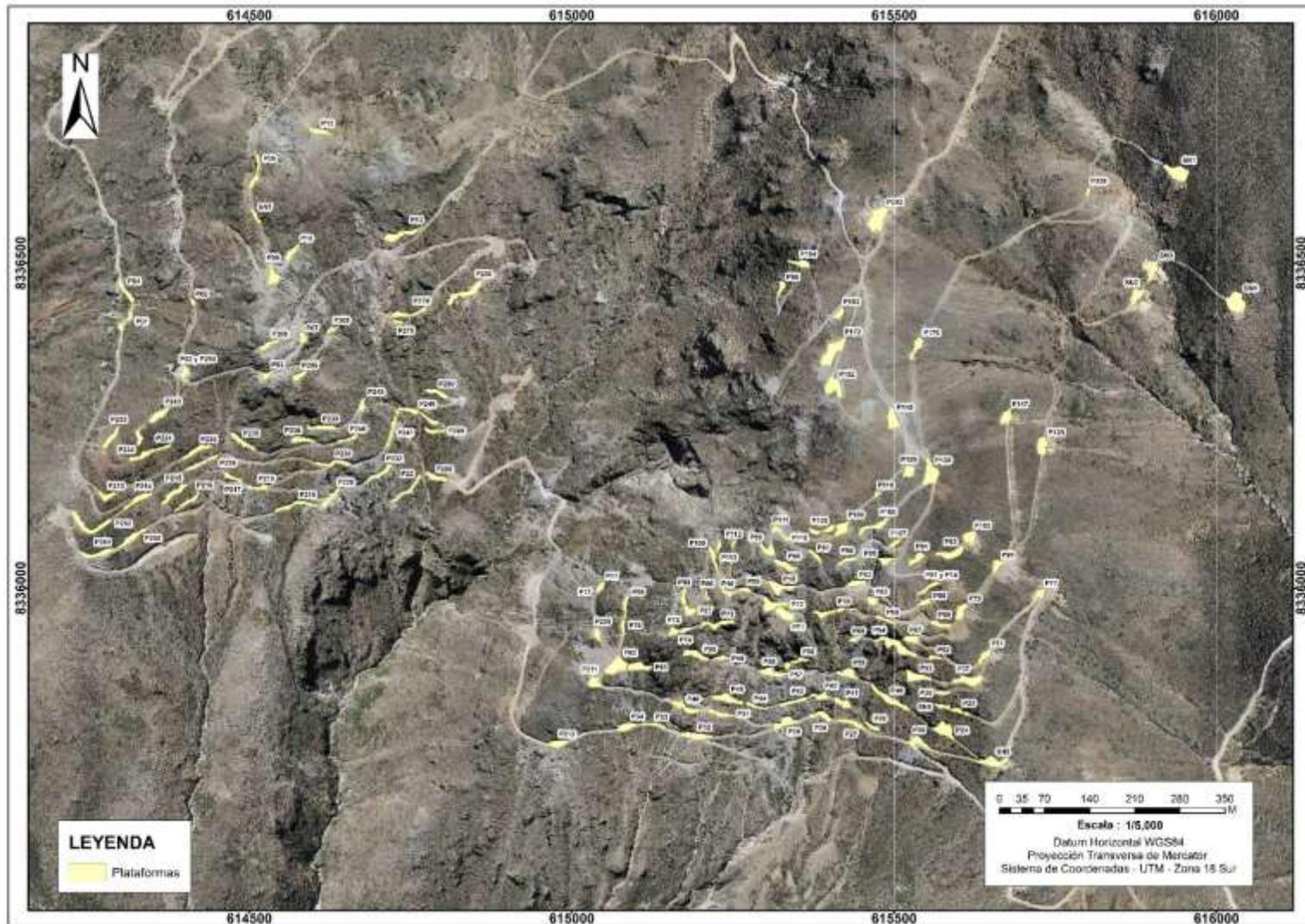
Anexo B: Mapa de Ortomosaico



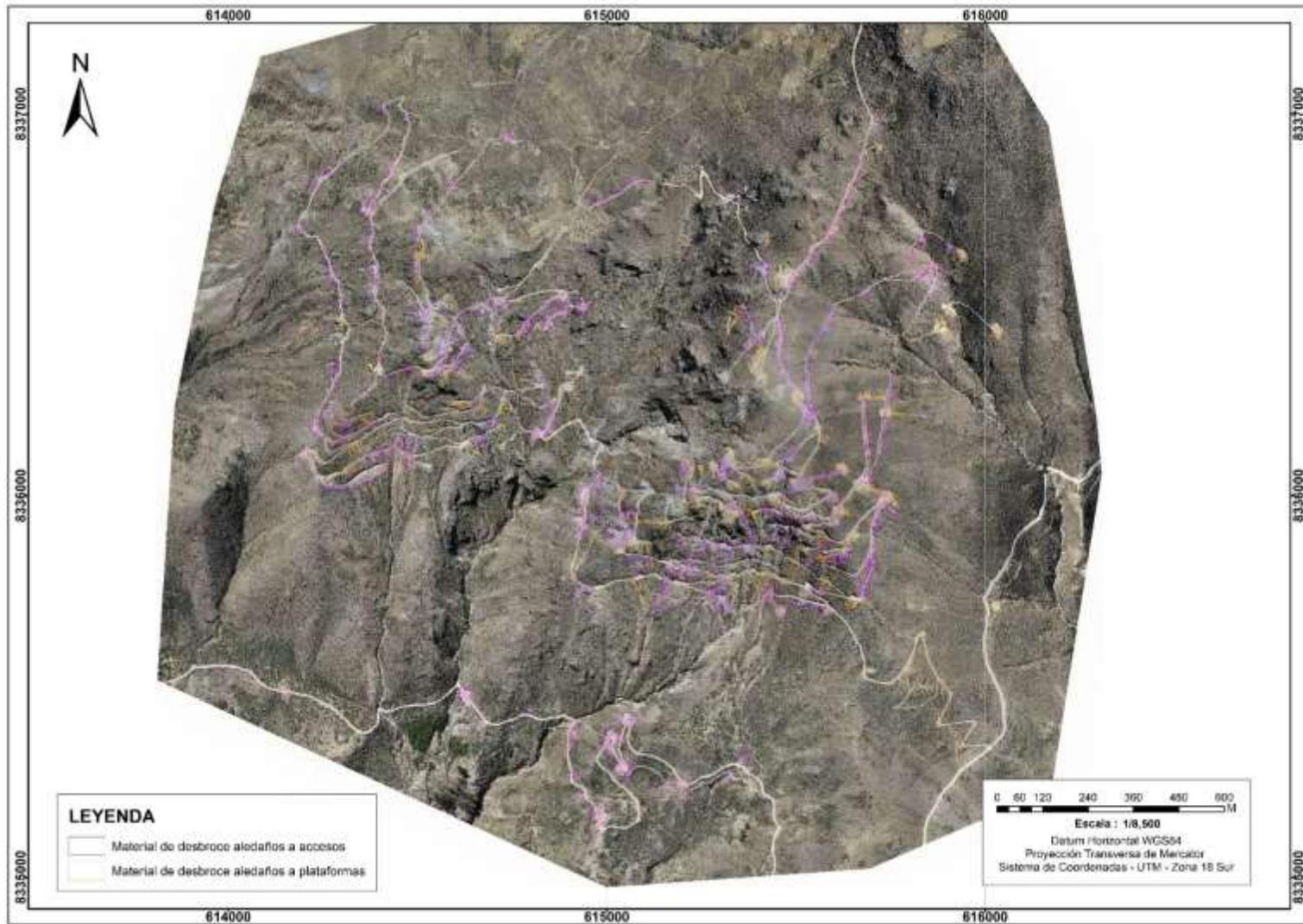
Anexo C: Mapa de Modelo Elavacion Digital



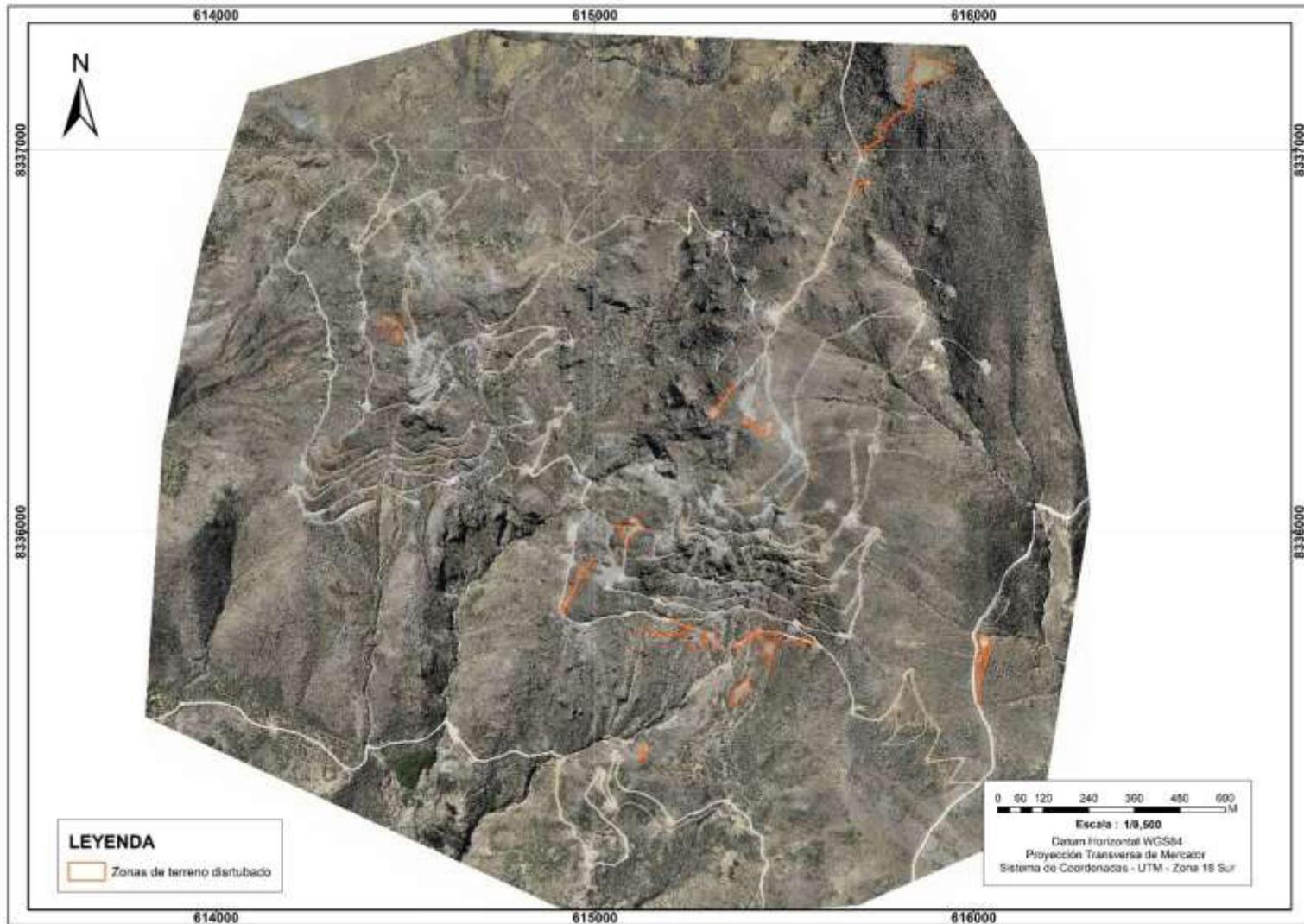
Anexo D: Mapa de Plataformas abandonadas



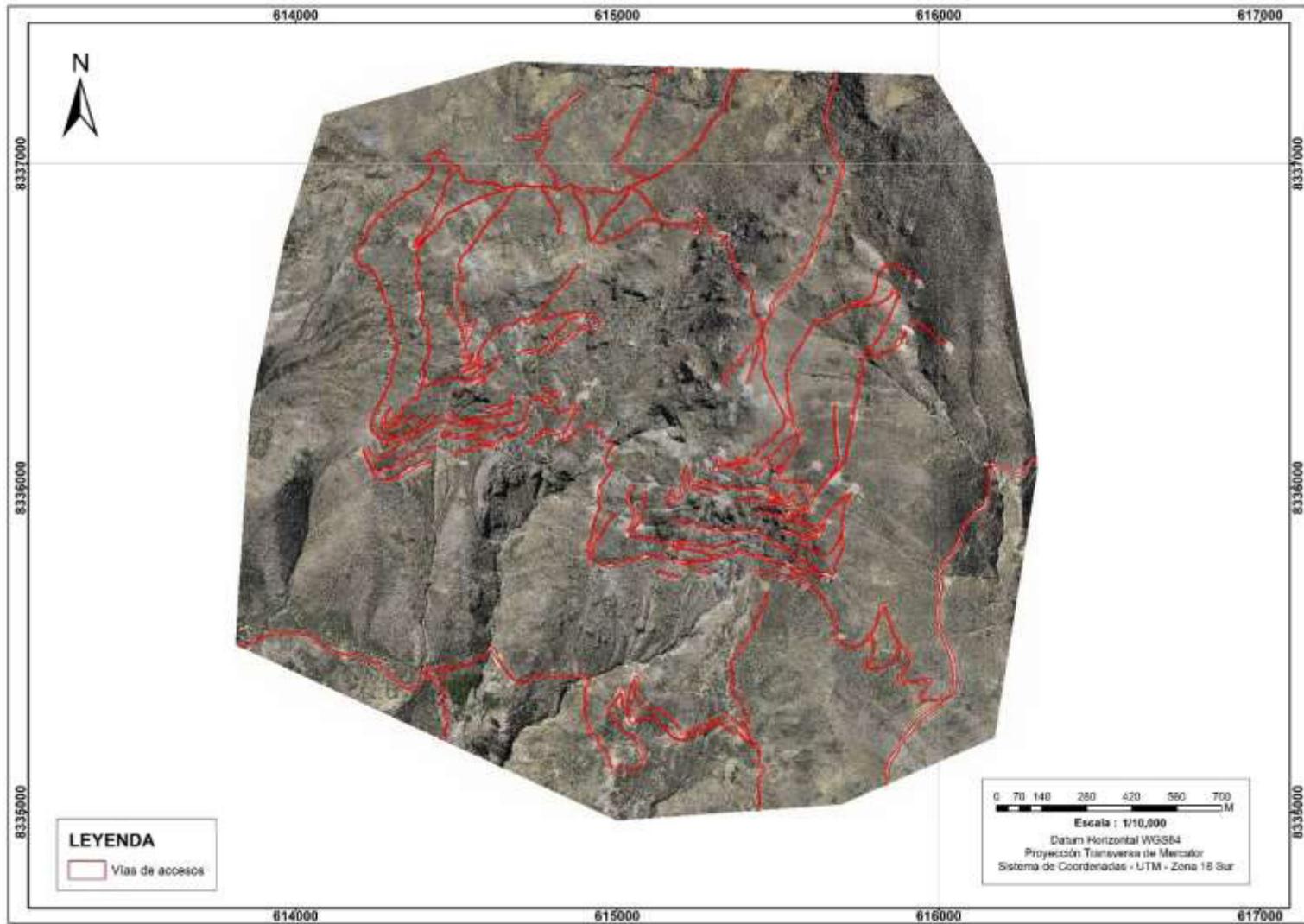
Anexo E: Mapa de material de desbroce



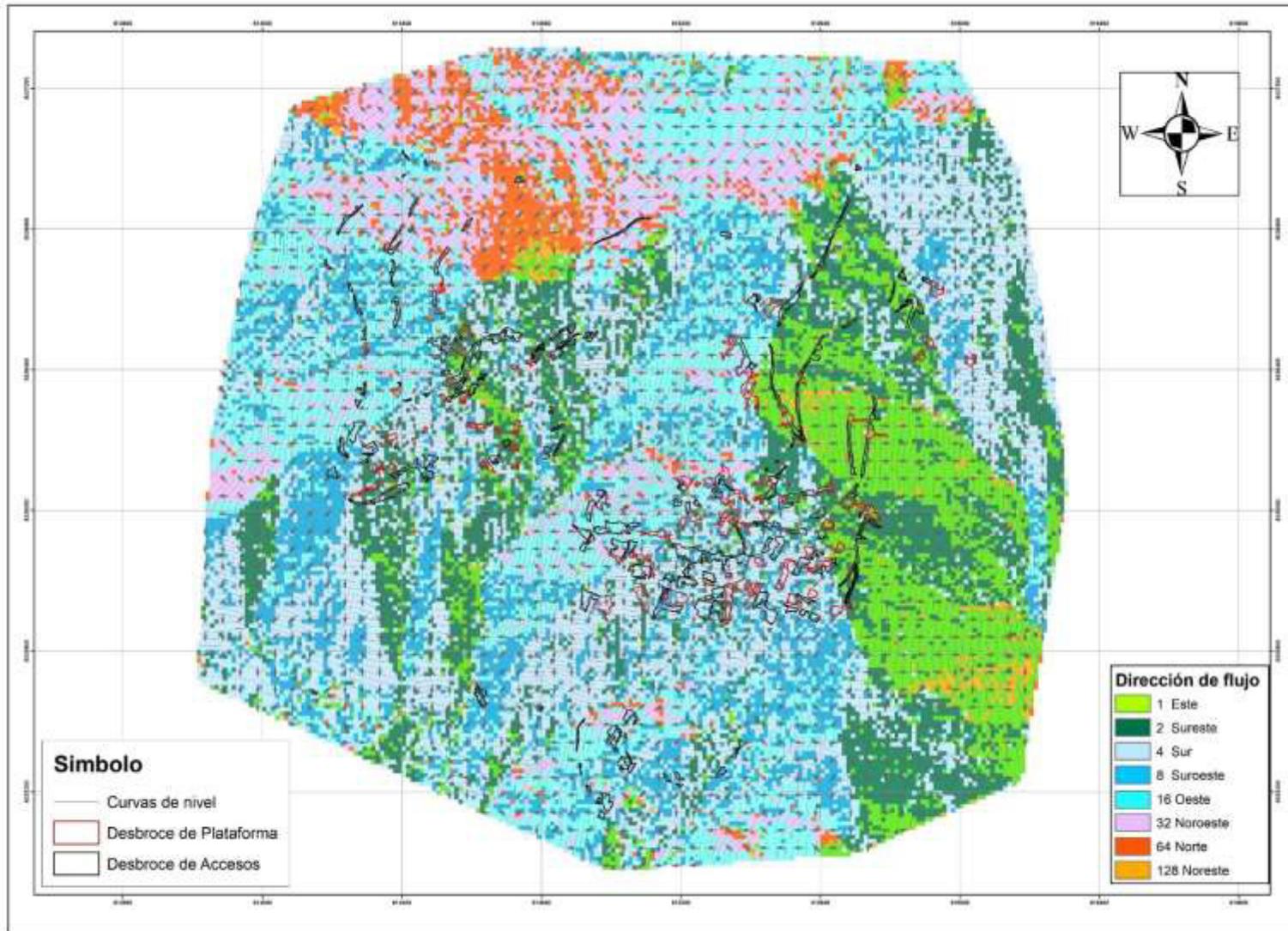
Anexo F: Mapa de terreno disturbado



Anexo G: Mapa de vías de acceso



Anexo H: Mapa de dirección de flujo



Anexo I: Ficha técnica IGN

	INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO	
<u>DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA DE LA ERP</u>		
0. DATOS GENERALES:		
Preparado por: Realizado: Versión:	Departamento de Procesamiento Geodésico 30 de noviembre de 2020 3.1.0	
1. INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN GNSS:		
Nombre: Código Nacional: Código Internacional: Inscripción: Orden de la estación: Fecha de monumentación:	Coracora AY02 42234M001 Placa de bronce "0" 30 de junio de 2010	
		
2. INFORMACIÓN SOBRE LA LOCALIZACIÓN:		
Departamento: Provincia: Distrito: Ubicación de la estación:	Ayacucho Parinacochas Coracora Municipalidad Provincial de Parinacochas	
CROQUIS DE UBICACIÓN		
		
FECHA: 15/09/2023 11:42 / COMPROBANTE DE PAGO ELECTRÓNICO: R001-017401 AY02 1 4		



**INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO**



3. COORDENADAS DE LA ESTACIÓN:

Sistema de referencia: GRS80 / WGS84	Marco de referencia: ITRF2000
--------------------------------------	-------------------------------

3.1. GEODÉSICAS:

Latitud (S)	Longitud (O)
15°01'01.40904"	73°46'52.66652"
Altura Elipsoidal (m)	Factor de escala combinado
3224.0731	0.999812269393

3.2. CARTESIANAS

X (m)	Y (m)	Z (m)
1721860.8079	-5919470.4490	-1642758.5870

3.3. UTM

Este (m)	Norte (m)
631017.9729	8339426.2279
Zona: 18 Sur	

4. INFORMACIÓN SOBRE EL EQUIPO GNSS

4.1. RECEPTOR:

Modelo: NET R8 TRIMBLE, Doble frecuencia
N° de serie: 4931K62889
Versión del firmware: 4.41
Fecha de instalación: 2 de julio de 2010
Ubicación del receptor: El receptor se encuentra en una caja metálica de color blanco humo empotrada en la pared, ubicada en la Oficina de Informática de la mencionada institución.

Modelo: Zephyr Geodetic Model 2 (L1,L2) Trimble
N° de serie: 1440925352
Cubierta protectora: con domo
Medición de la antena: ARP (Base de soporte de la antena)
Altura de la antena: 0.0750 m
Fecha de instalación: 2 de julio de 2010
Ubicación de la antena: La antena está instalada sobre un monumento de concreto de 1.50 m de alto y 30 cm x 30 cm de ancho de color blanco, ubicada en el techo de la mencionada institución.

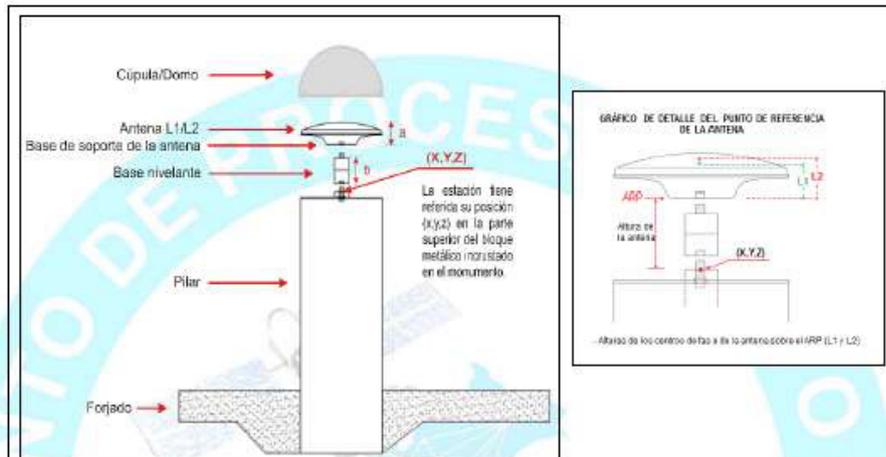


**INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO**



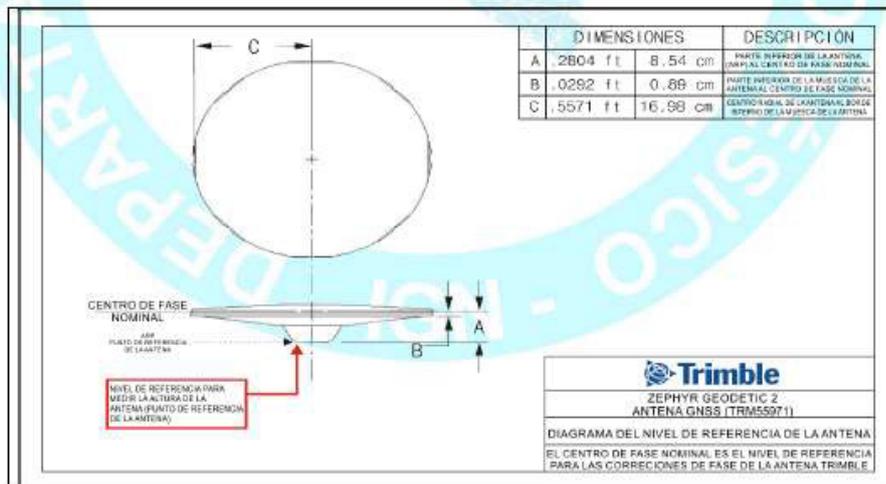
5. ESQUEMA DE LA ESTACIÓN

5.1. ESQUEMA DE ALTURA DE LA ANTENA



a = 8.54 cm	Distancia de compensación del centro de fase. (Phase Center Offset)
b = 7.50 cm	Distancia entre la base de soporte de la antena y el límite superior del bloque metálico incrustado en el monumento.

5.2. DIMENSIONES DE LA ANTENA





INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO



6. INFORMACIÓN SOBRE EL PROCESAMIENTO

Área de mantenimiento: DPG
 Área de control: DPG
 Área de procesamiento: DPG
 Observables: L1, L2, C1, P2
 Intervalo de registro: 5 seg
 Máscara de elevación: 5°
 Archivo diario: 24 HRS
 Formato de archivo nativo: *T01
 Datos para el procesamiento: 06 al 19 de septiembre de 2020
 Tipo de órbita: Efemérides precisas finales
 Archivo procesado: Rinex 2.11
 Software de procesamiento: Gamit / Globk V 10.71
 Procesador y analista GNSS: Lic. Franklin Maylle Gamarra
 Revisado por: CAP. EP. Rogger Montoya Monroy

7. CONTACTOS

Oficina: Departamento de Procesamiento Geodésico
 Dirección: Av. Andrés Aramburú 1184, Surquillo, Lima 34, Perú
 Teléfono: 4759960 / 4753030 Anexo 120
 Correo: cpg@ign.gob.pe / sirgas_peru@ign.gob.pe
 Web site: http://209.45.65.186/rastreo_permanente

Anexo J: Reporte de Software del Procesamiento Fotogramétrico

RSPF-084-2023-ITEGI

Zona: UF Sancos
Código de estudio: ITE-2023-051
20 September 2023



Datos del levantamiento

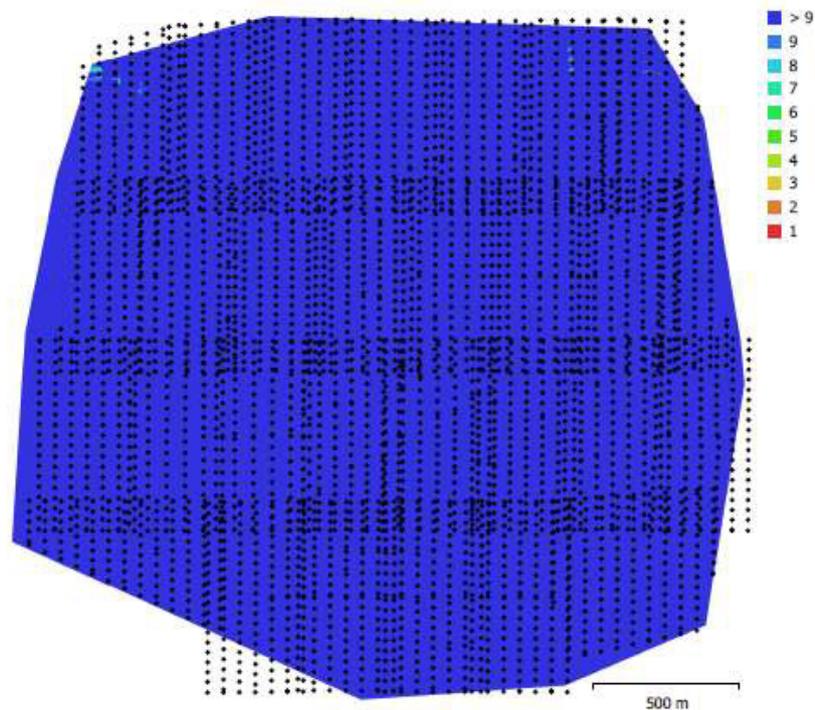


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 4,058	Imágenes alineadas: 4,058
Altitud media de vuelo: 199 m	Puntos de paso: 2,407,072
Resolución en terreno: 5.09 cm/pix	Proyecciones: 15,854,966
Área cubierta: 4.93 km ²	Error de reproyección: 0.684 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6310S (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

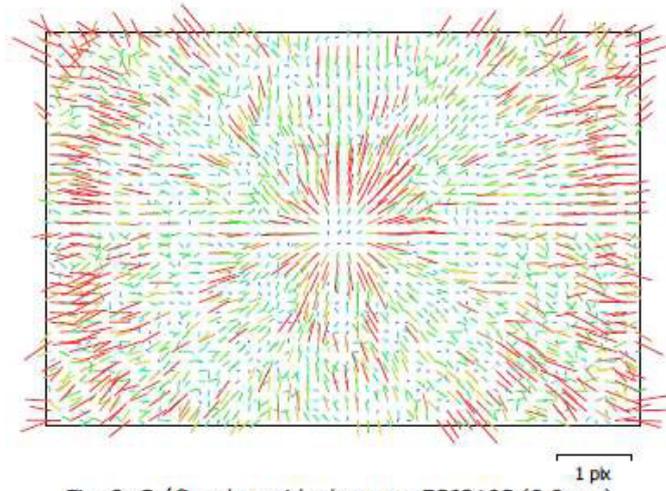


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6310S (8.8mm).

FC6310S (8.8mm)

4058 imágenes

Tipo
Cuadro

Resolución
5472 x 3648

Distancia focal
8.8 mm

Tamaño de píxel
2.41 x 2.41 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3697.14	0.047	1.00	0.08	-0.00	-0.12	0.06	-0.03	-0.02	-0.06
Cx	-4.1406	0.0072		1.00	0.02	-0.00	-0.00	0.00	0.84	-0.00
Cy	-32.7301	0.0054			1.00	0.01	-0.01	0.01	0.01	0.67
K1	-0.0103518	1.1e-05				1.00	-0.97	0.91	-0.00	-0.01
K2	0.000737802	3.1e-05					1.00	-0.98	0.00	0.01
K3	0.00818751	2.8e-05						1.00	-0.00	-0.01
P1	-0.000414845	6.9e-07							1.00	-0.00
P2	-0.00256519	5.1e-07								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

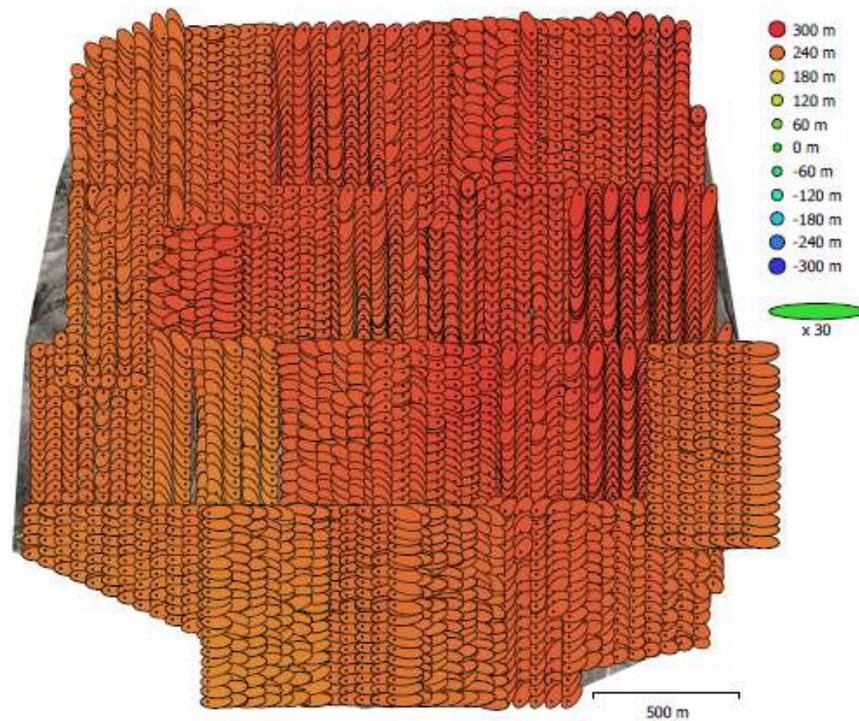


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.
El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
1.32055	1.25863	261.668	1.82428	261.675

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Puntos de control terrestre

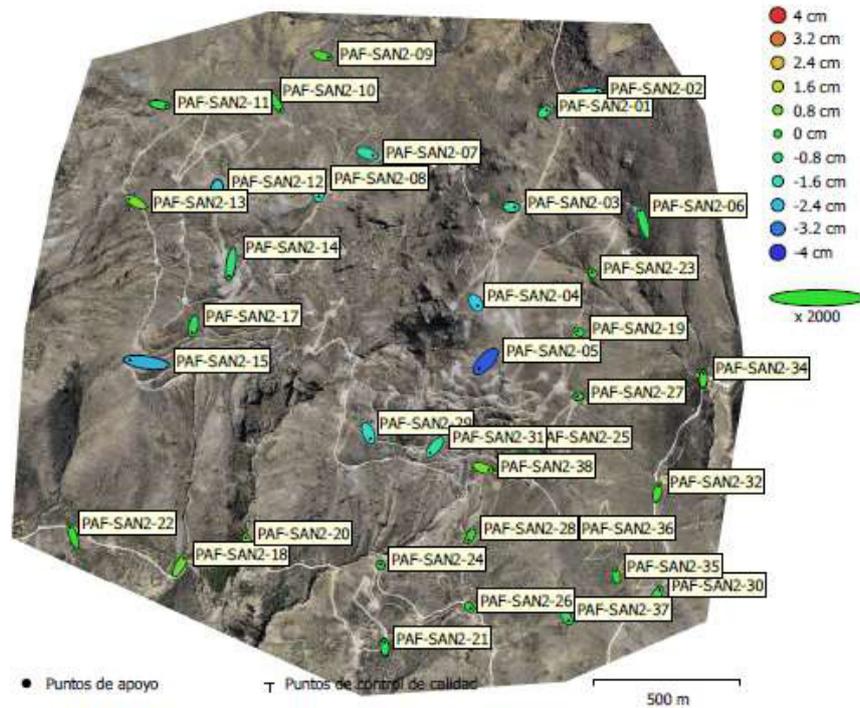


Fig. 4. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.
El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
36	1.55542	1.79671	1.18583	2.37645	2.65588

Tabla 4. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
PAF-SAN2-01	0.761503	0.601313	-0.887635	1.31505	2.300 (5)
PAF-SAN2-02	3.42168	0.523769	-1.87347	3.936	3.053 (5)
PAF-SAN2-03	1.17919	-0.0685538	-1.34253	1.78818	2.100 (8)
PAF-SAN2-04	0.613879	-1.00069	-2.19155	2.48618	2.782 (9)
PAF-SAN2-05	-2.13093	-2.30789	-3.53521	4.72916	2.113 (29)
PAF-SAN2-06	-1.09611	4.08954	-0.481121	4.26113	1.069 (27)
PAF-SAN2-07	1.94443	-0.667912	-1.41156	2.49388	1.968 (7)
PAF-SAN2-08	-0.456005	-2.37342	-1.82652	3.02939	1.104 (25)
PAF-SAN2-09	2.08921	-0.556892	0.300538	2.18294	1.972 (6)
PAF-SAN2-10	1.6226	-2.68693	0.0299463	3.139	1.700 (10)
PAF-SAN2-11	2.15386	-0.311784	-0.330666	2.20129	0.908 (9)
PAF-SAN2-12	-0.220046	-1.4058	-2.25615	2.66738	1.291 (24)
PAF-SAN2-13	-2.17212	1.16519	0.772911	2.58325	1.250 (49)
PAF-SAN2-14	-0.637764	-4.12456	-0.829597	4.25523	1.409 (23)
PAF-SAN2-15	-5.51865	0.770942	-2.53479	6.12168	1.268 (52)
PAF-SAN2-17	-0.45229	-2.20133	-0.477748	2.29753	0.713 (42)
PAF-SAN2-18	1.35896	2.49187	0.581541	2.89731	1.728 (7)
PAF-SAN2-19	-0.517807	0.358648	-0.128528	0.642862	0.784 (11)
PAF-SAN2-20	-0.457337	2.73317	0.65434	2.84737	1.684 (7)
PAF-SAN2-21	-0.138155	1.69062	-0.390018	1.74052	1.296 (9)
PAF-SAN2-22	-0.973314	2.98913	0.0285516	3.14373	1.368 (20)
PAF-SAN2-23	-0.196154	0.3658	0.022986	0.41571	0.490 (6)
PAF-SAN2-24	-0.0435751	0.278676	0.124871	0.308467	0.561 (8)
PAF-SAN2-25	0.979171	-1.15319	-0.879497	1.74989	1.440 (7)
PAF-SAN2-26	0.35858	-0.392661	-0.200258	0.568213	0.643 (12)
PAF-SAN2-27	-0.460233	-0.0206164	-0.140412	0.481617	0.891 (11)
PAF-SAN2-28	-0.562221	-1.27392	0.0494102	1.39334	0.750 (19)
PAF-SAN2-29	0.69803	-1.8338	-1.72632	2.61347	1.399 (17)
PAF-SAN2-30	1.13381	2.07234	-0.37516	2.39183	1.934 (6)
PAF-SAN2-31	-1.55393	-1.9659	-1.32456	2.83442	1.024 (24)
PAF-SAN2-32	0.45528	2.10328	0.239426	2.16527	2.149 (8)

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
PAF-SAN2-34	0.0678583	1.87584	0.277733	1.8975	1.518 (19)
PAF-SAN2-35	-0.25919	1.60327	-0.0387315	1.62455	1.162 (7)
PAF-SAN2-36	-1.34342	-0.375954	-0.823491	1.61996	1.099 (23)
PAF-SAN2-37	0.671698	-1.2214	-0.601219	1.51804	1.028 (13)
PAF-SAN2-38	2.04227	-0.663774	0.770379	2.28143	0.930 (31)
Total	1.55542	1.79671	1.18583	2.65588	1.363

Tabla 5. Puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

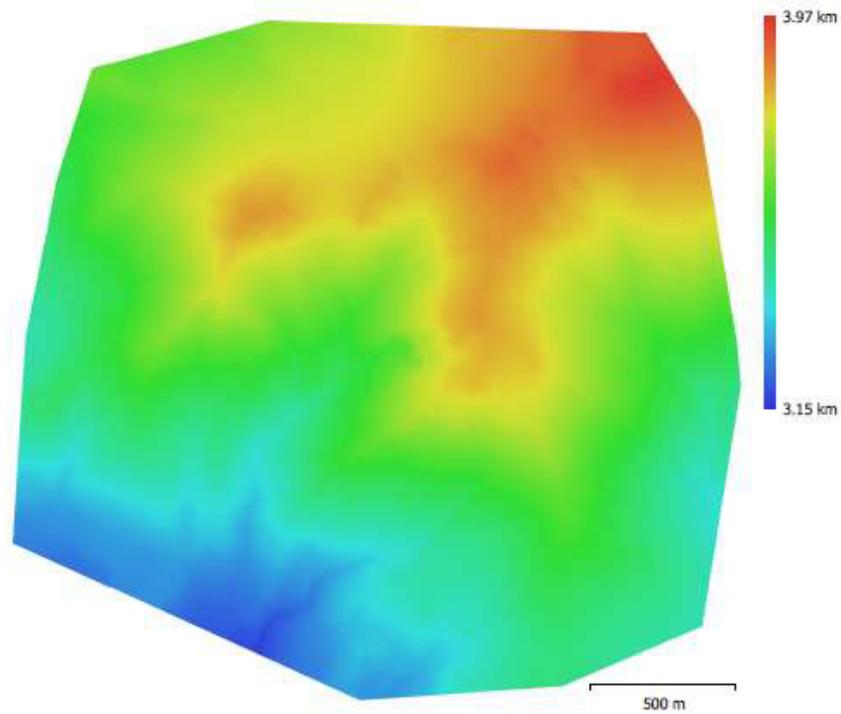


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 10.2 cm/pix
Densidad de puntos: 96.5 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	4058
Cámaras orientadas	4058
Marcadores	64

Formas

Polígonos	2
Sistema de coordenadas	WGS 84 + EGM96 height
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 18S + EGM08
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

Nube de puntos

Puntos	2,407,072 de 2,608,646
RMS error de reproyección	0.181064 (0.684387 pix)
Error de reproyección máximo	1.8853 (53.2696 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.31965 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	7.6838

Parámetros de orientación

Precisión	Alta
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	40,000
Puntos de paso por foto	4,000
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de emparejamientos	19 minutos 46 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	3.40 GB
Tiempo de orientación	15 minutos 29 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	4.04 GB

Parámetros de optimización

Parámetros	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	45 segundos
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	368.94 MB

Mapas de profundidad

Número	4058
--------	------

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Agresivo
Tiempo de procesamiento	10 horas 51 minutos
Uso de memoria	10.77 GB
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	21.93 GB

Nube de puntos densa

Puntos	901,575,490
Colores de puntos	3 bandas, uint8

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Agresivo

Tiempo de procesamiento	10 horas 51 minutos
Uso de memoria	10.77 GB
Parámetros de generación de la nube densa	
Tiempo de procesamiento	5 horas 1 minuto
Uso de memoria	34.66 GB
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	11.47 GB
MDE	
Tamaño	45,972 x 46,625
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 18S + EGM08
Parámetros de reconstrucción	
Origen de datos	Nube de puntos densa
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	9 minutos 8 segundos
Uso de memoria	533.95 MB
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	2.09 GB
Ortomosaico	
Tamaño	59,732 x 50,690
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 18S + EGM08
Colores	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	MDE
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Tiempo de procesamiento	33 minutos 49 segundos
Uso de memoria	19.23 GB
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	113.54 GB
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	1.6.5 build 11249
OS	Windows 64 bit
RAM	254.15 GB
CPU	AMD Ryzen Threadripper 3970X 32-Core Processor
GPU(s)	Quadro RTX 4000 Quadro RTX 4000