



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO Y PUNTOS DE APOYO CON CORRECCIÓN
SATELITAL EN TIEMPO REAL PARA SUPERVISION AMBIENTAL**

Línea de investigación:

Procesamiento digital de imágenes y señales

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

Autor:

Buendía Montalván, David Josué

Asesor:

Sánchez Carrera, Dante Pedro

ORCID: 0000-0002-1241-0483

Jurado:

Aylas Humareda, María del Carmen

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Valer Silva, José Manuel

Lima - Perú

2024



BUENDIA MONTALVAN

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

5%

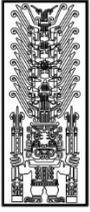
PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	7%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repositorio.oefa.gob.pe Fuente de Internet	1%
4	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	www.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
7	fr.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
8	visorsig.oefa.gob.pe Fuente de Internet	<1%
9	www.cadex.org Fuente de Internet	<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO Y PUNTOS DE APOYO CON CORRECCIÓN
SATELITAL EN TIEMPO REAL PARA SUPERVISION AMBIENTAL

Línea de investigación: Procesamiento digital de imágenes y señales

Suficiencia profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

Autor:

Buendía Montalván, David Josué

Asesor(a):

Sánchez Carrera, Dante Pedro
(ORCID: 0000-002-1241-0483)

Jurado:

Aylas Humareda, María del Carmen

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Valer Silva, José Manuel

LIMA - PERÚ

2024

ÍNDICE

RESUMEN	7
ABSTRAC	8
I. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Trayectoria del autor	9
1.2 Descripción de las instituciones donde laboré	9
1.3 Organigrama de la empresa donde laboro	11
1.4 Áreas y funciones desempeñadas	12
II. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON RPAS Y PUNTOS DE APOYO FOTOGRAMÉTRICO DE CORRECCIÓN EN TIEMPO REAL EMPLEANDO TECNOLOGIA TRIMBLE RTX PARA EVALUACIÓN DEL RELIEVE SUPERFICIAL EN EL MARCO DE LA SUPERVISION AMBIENTAL.....	15
2.1 Presentación	15
2.2 Objetivo	16
2.3 Área de estudio	16
2.4 Antecedentes	17
2.5 Metodología	19
2.6 Resultados	39
2.7 Discusión de Resultados	52
III. APORTES MÁS DESTACABLES AL ORGANISMO DE EVALUACION Y FISCALIZACION AMBIENTAL-OEFA	53

IV.CONCLUSIONES	54
V.RECOMENDACIONES	55
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas de puntos de apoyo fotogramétrico.....	27
Tabla 2	Datos de la cámara utilizada mediante el equipo Phantom Pro V2.....	40
Tabla 3	Coefficientes de calibración y matriz de correlación.....	41
Tabla 4	Errores medios de las posiciones de cámaras.....	42
Tabla 5	Error medio cuadrático de los puntos de apoyo fotogramétrico.....	43
Tabla 6	Listado de los puntos de apoyo fotogramétrico y el RMS.....	43
Tabla 7	Error medio cuadrático de la comparación de coordenadas de los puntos de apoyo fotogramétrico.....	47
Tabla 8	Estimación de áreas, perímetro y volumen.....	49
Tabla 9	Información obtenida de las pendientes en los flancos este, oeste y sur.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y Dirección donde se laboró	11
Figura 2 Mapa de ubicación de la unidad fiscalizable ADRCO Rodricas.....	17
Figura 3 Fases del levantamiento fotogramétrico con RPAS y DGPS.....	19
Figura 4 Equipo receptor GNSS	20
Figura 5 Controladora topográfica.....	21
Figura 6 Accesorios adicionales	21
Figura 7 Equipo RPAS.....	22
Figura 8 Maleta de baterías para RPAS	23
Figura 9 Interfaz del aplicativo Pix4DCapture mostrando el ADRCO Rodricas	24
Figura 10 Mapa de distribución de los puntos de apoyo fotogramétrico en el área de estudio	28
Figura 11 Modulo en el software Agisoft para la importación de ortofotos.....	29
Figura 12 Imagen de la configuración para la Orientación de fotos.....	30
Figura 13 Imagen de la configuración para la importación de puntos de apoyo fotogramétrico .	31
Figura 14 Imagen de la configuración para la creación de nube de puntos densa.....	31
Figura 15 Imagen de la configuración para la creación del modelo de elevación digital.....	32
Figura 16 Imagen de la configuración para la creación de Ortomosaico RGB	33
Figura 17 Imagen de la configuración para el cálculo de áreas en el software ArcGis	34
Figura 18 Imagen de la configuración para el cálculo de perímetro.....	35
Figura 19 Imagen de la configuración para el cálculo de volumen	36
Figura 20 Imagen de la configuración para la estimación de pendiente por flancos	38
Figura 21 Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes	39

Figura 22 Calibración de cámaras.....	40
Figura 23 Posiciones de cámaras y estimadores de error	41
Figura 24 Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores	42
Figura 25 Modelo de elevación digital del ADR RCD Rodricas.....	43
Figura 26 Ortomosaico RGB del ADR RCD Rodricas	45
Figura 27 Delimitación de la propiedad de la unidad fiscalizable ADR RCD Rodricas	48
Figura 28 Delimitación de la unidad fiscalizable ADR RCD Rodricas.....	48
Figura 29 Ubicación de perfil topográfico longitudinal A-A'	49
Figura 30 Perfil topográfico longitudinal A-A'	50
Figura 31 Mapa de pendientes	50

RESUMEN

En este informe se expone la carrera profesional del autor en el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), enfatizando su contribución crucial en la unidad fiscalizable “Área degradada por residuos sólidos de la construcción y demolición local de Corporación Rodricas EIRL (ADRCD)”, ubicada en el distrito de Villa El Salvador, Lima. El objetivo fue obtener información del relieve superficial del ADRCD como insumo para la supervisión ambiental del OEFA. El levantamiento fotogramétrico se realizó mediante un sistema de aeronave pilotada remotamente RPAS y Sistema diferencial de posicionamiento global DGPS, en tres fases. En la fase de Planificación se definió el área de interés y se planificó la distribución de misiones de vuelos fotogramétricos con el software Google Earth, y con el aplicativo Pix4DCapture se estableció los parámetros fundamentales de vuelo; asimismo se realizó la distribución en terreno de los puntos de apoyo. Durante la fase de Ejecución, se llevó a cabo en terreno la recolección de datos utilizando tecnología de RPAS y DGPS con corrección satelital en tiempo real. En la fase de Gabinete, Se utilizó el software Agisoft para realizar el procesamiento fotogramétrico y obtener el ortomosaico junto con el modelo digital de elevación. Y como resultados se obtuvieron, la delimitación de la unidad fiscalizable, la estimación de áreas, perímetros, volumen, un perfil topográfico longitudinal y los valores de pendientes. Por último, los datos recabados se utilizaron para comprobar que se estaban cumpliendo los instrumentos de gestión ambiental aprobados en la unidad sujeta a fiscalización.

Palabras claves: fotogrametría, ortomosaico, modelo de elevación digital

ABSTRAC

This report describes the author's professional career in the Environmental Assessment and Supervision Agency (OEFA), emphasizing his crucial contribution to the auditable unit “Area degraded by solid waste from local construction and demolition of Corporación Rodricas EIRL (ADRCD)” , located in the district of Villa El Salvador, Lima. The objective was to obtain information on the surface relief of the ADRCD as input for the environmental supervision of the OEFA. The photogrammetric survey was carried out using a remotely piloted aircraft system RPAS and Differential Global Positioning System DGPS, in three phases. In the Planning phase, the area of interest was defined and the distribution of photogrammetric flight missions was planned with the Google Earth software, and the fundamental flight parameters were established with the Pix4DCapture application; Likewise, the distribution of the support points on the ground was carried out. During the Execution phase, data collection was carried out on the ground using RPAS and DGPS technology with real-time satellite correction. In the Cabinet phase, Agisoft software was used to perform photogrammetric processing and obtain the orthomosaic along with the digital elevation model. And as results, the delimitation of the auditable unit, the estimation of areas, perimeters, volume, a longitudinal topographic profile and slope values were obtained. Finally, the data collected was used to verify that the environmental management instruments approved in the unit subject to inspection were being complied with.

Keywords: photogrammetry, orthomosaic, digital elevation model

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Trayectoria del autor

El autor es Bachiller en Ingeniería Geográfica, de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la Universidad Nacional Federico Villarreal ,acumulando más de 10 años de experiencia profesional en instituciones públicas con un enfoque especializado en topografía, geodesia, fotogrametría con RPAS; asimismo, en planificación, ejecución y elaboración de reportes e informes técnicos de evaluaciones ambientales mediante RPAS en los sectores hidrocarburos, pesca, electricidad, minería, residuos sólidos; diseño de base de datos de componentes ambientales, elaboración y control de calidad cartográfica de componentes ambientales, estandarización y sistematización de información tabular y vectorial de componentes ambientales.

1.2 Descripción de las instituciones donde laboré

Instituto Geográfico Nacional (IGN)

Desde setiembre 2010 hasta Junio de 2011, participé en prácticas pre profesionales en el Instituto Geográfico Nacional, entidad responsable de la cartografía nacional, trabajando como editor cartográfico en la Dirección de Cartografía. Durante esta experiencia, adquirí conocimientos esenciales sobre edición, normativa cartográfica y control de calidad.

Actividad laboral:

- Edición cartográfica y generación de las cartas del departamento de Ica a escala 1:25 000
- Edición y actualización cartográfica de las cartas nacionales 1:100 000

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)

Desde octubre de 2011 hasta mayo de 2015 me desempeñe como técnico cartográfico, automatizador cartográfico y actualizador cartográfico, realizando actualizaciones de información cartográfica, control de calidad de bases de datos tabular de centros poblados y edición cartográfica para mapas censales.

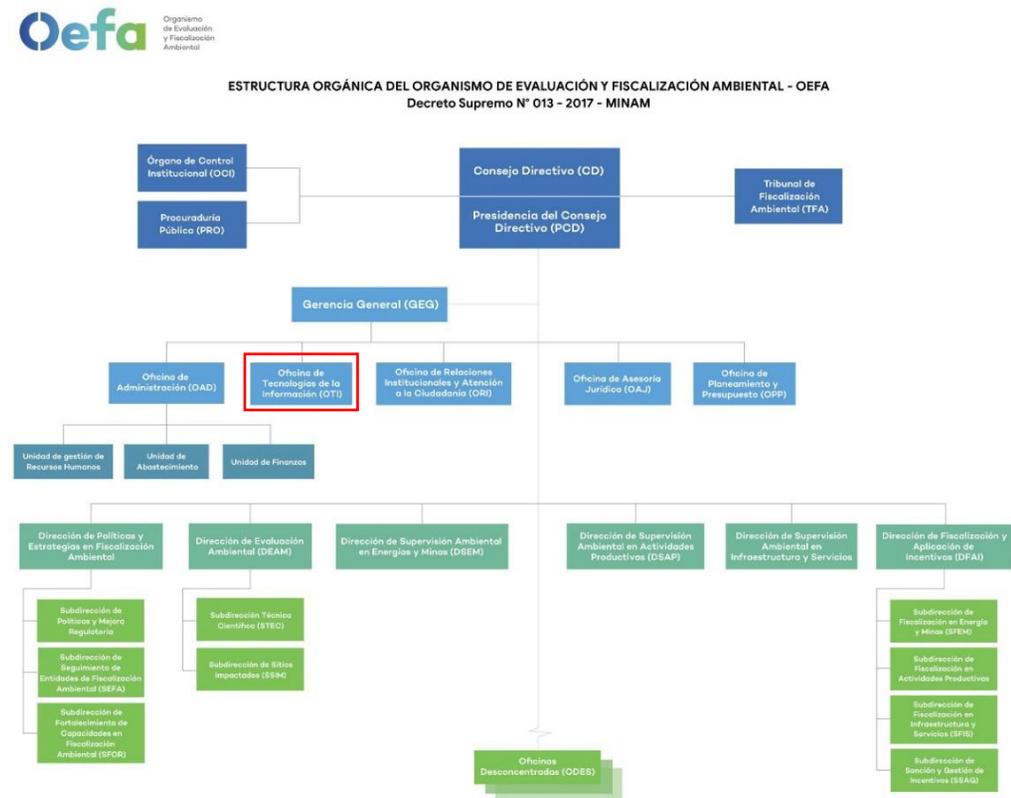
Actividad laboral:

- Actualización de la cartografía de Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda
- Generación de mapas para el IV Censo Nacional Agropecuario
- Actualizar las coberturas digitales de la base de datos espaciales del INEI, con la información de 312 distritos de la prueba piloto para el XII Censo de Población y VII de Vivienda
- Control de calidad de las bases de datos tabular de los centros poblados, base de la Encuesta Provincial a hogares Rurales 2014

1.3 Organigrama de la empresa donde laboro

Figura 1

Organigrama del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y Dirección donde se laboró



1.4 Áreas y funciones desempeñadas

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental es una institución dependiente del Ministerio del Ambiente, establecida en 2008 a través del decreto legislativo N° 1013. Su función principal es actuar como la autoridad central en el Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA) en el Perú.

Misión:

Contribuir a la creación de un entorno saludable y equilibrado para promover el desarrollo sostenible, colocando al ciudadano en el centro de nuestras acciones. Implementar estrategias para asegurar que los agentes económicos cumplan con sus obligaciones ambientales, adoptando un enfoque territorial y preventivo que evalúa los riesgos.

Visión:

Ser una nación contemporánea que utilice de manera responsable sus recursos naturales, equilibrando el progreso económico con la preservación ambiental sostenible, en favor de su población.

Mencionaré una de las funciones del OEFA:

Función evaluadora: abarca actividades de vigilancia, monitoreo y otras similares destinadas a prevenir impactos ambientales y determinar posibles responsabilidades en caso de infracciones a las normativas ambientales. Asimismo, incluye la identificación de pasivos ambientales del Subsector Hidrocarburos.

La Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM), dentro de sus competencias, propone, planifica y ejecuta actividades de monitoreo y evaluación ambiental para determinar el estado de

la calidad ambiental en sus diferentes aspectos. Dependiendo de su objetivo, estas actividades pueden ser preventivas o de respuesta.

Desde junio de 2015 hasta la actualidad me desempeñe como Asistente I y Evaluador E-IV en la Dirección de Evaluación Ambiental realizando diseño de base de datos de componentes ambientales como agua, suelo, sedimentos, biológicos entre otros, generación de reportes de consultas de información georreferenciada de pasivos ambientales del subsector hidrocarburos, elaboración cartográfica temática, levantamiento de información fotogramétrica con RPAS y DGPS.

Donde mi desempeño profesional estuvo a cargo de:

- Diseño de base de datos georreferenciada de componentes ambientales como Agua, Suelo, Sedimento, roca entre otros y matrices biológicas como herpetología, mastozoología, ornitología y flora
- Sistematización y control de calidad de información tabular y vectorial de componentes ambientales como Agua, Suelo, Sedimento, roca entre otros y matrices biológicas como herpetología, mastozoología, ornitología y flora en las evaluaciones ambientales
- Diseño de base de datos tabular y gestión de información de la Coordinación de Pasivos Ambientales del SubSector Hidrocarburos
- Capacitación a especialistas ambientales, en el uso de tecnologías RPAS, como planeación y ejecución de exploraciones e inspecciones aéreas para las supervisiones ambientales

- Elaboración cartográfica temática de componentes ambientales en las evaluaciones ambientales
- Elaboración de reportes e informes técnicos de evaluaciones y supervisiones ambientales con RPAS
- Levantamiento fotogramétrico con equipos RPAS de tipo RGB y Multiespectral para las evaluaciones y supervisiones ambientales

II. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON RPAS Y PUNTOS DE APOYO FOTOGRAMÉTRICO DE CORRECCIÓN EN TIEMPO REAL EMPLEANDO TECNOLOGIA TRIMBLE RTX PARA EVALUACIÓN DEL RELIEVE SUPERFICIAL PARA SUPERVISION AMBIENTAL

2.1 Presentación

Este informe de suficiencia profesional presenta el proceso del levantamiento fotogramétrico con RPAS y puntos de apoyo fotogramétrico DGPS de corrección en tiempo real con tecnología Trimble RTX para la obtención de información espacial georreferenciada con precisión centimétrica. Este método facilita la revisión y evaluación del relieve superficial para asegurar que se cumplan las obligaciones ambientales establecidas en los instrumentos de gestión ambiental (IGA), conforme al marco de supervisión ambiental del Organismo de Evaluación Fiscalización Ambiental.

La Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) del OEFA desde el año 2017 implementa el uso de RPAS y desde el 2020 usa tecnología Trimble RTX para los puntos de apoyo fotogramétrico, ambos para los estudios de evaluación o supervisión ambiental y así obtener información actualizada y precisa, lo que requirió la colaboración de especialistas, incluyendo al autor, quien proporcionó asistencia técnica a las diversas direcciones del OEFA, en este caso de estudio a la Dirección de Supervisión ambiental en Infraestructura y Servicios (DSIS).

El Organismo de evaluación y fiscalización ambiental (OEFA) y dada la Resolución de Consejo Directivo N.º 010-2022-OEFA/CD para la preparación, gestión y actualización del Inventario Nacional de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos, mediante la DSIS, tenía la

problemática de falta de información sobre el relieve superficial a precisión centimétrica en la unidad fiscalizable ADRCD de Corporación Rodricas EIRL

Por ello requieren el respaldo de la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) la cual designaron al autor para brindar asistencia en el estudio y en el empleo de tecnologías con RPAS y DGPS.

2.2 Objetivo

Objetivo general

- Realizar el levantamiento fotogramétrico del relieve superficial del Área degradada por residuos de la construcción y demolición Local de la Corporación Rodricas EIRL, mediante uso de equipos con RPAS y puntos de apoyo fotogramétrico con corrección satelital en tiempo real.

Objetivos específicos

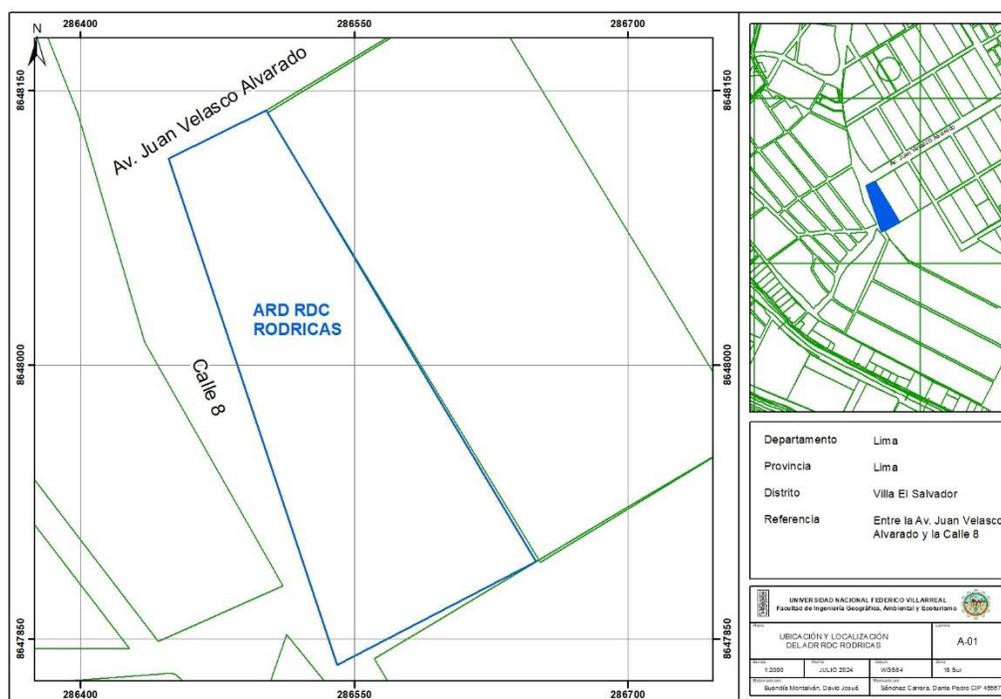
- Realizar un levantamiento con puntos de apoyo fotogramétrico con corrección satelital en tiempo real utilizando tecnología Trimble RTX del relieve superficial
- Realizar el proceso fotogramétrico mediante RPAS en la unidad fiscalizable
- Obtener resultados del relieve superficial como cálculos de área, volumen, pendientes y perfil longitudinal.

2.3 Área de estudio

El área de estudio abarca el ámbito de la unidad fiscalizable ADR RCD Rodricas, la cual se ubica en la intersección entre la avenida Juan Velasco Alvarado y la calle 8, localizada en el distrito de Villa El Salvador, provincia y departamento Lima.

Figura 2

Mapa de ubicación de la unidad fiscalizable ADRCRCD Rodricas



Nota. Elaboración propia, revisado por Ing. Dante Pedro Sánchez Carrera

2.4 Antecedentes

Varios estudios han investigado la aplicación de levantamientos fotogramétricos con RPAS. A continuación, se presentan los antecedentes:

Meza (2022) evalúa en su tesis “Análisis comparativo de un levantamiento fotogramétrico con diferentes alturas de vuelo y cantidades de puntos de apoyo usando drones” las diferentes

configuraciones de un levamiento fotogramétrico a diferentes alturas para determinar la altura de vuelo más idónea así como la cantidad y distribución de puntos de apoyo fotogramétrico

Según Pedraza (2019) en su estudio “Análisis comparativo del levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico con RPAS en la Huaca Aznapuquio Los Olivos – 2019” quien examinó las diferencias entre el tradicional levantamiento topográfico y el levantamiento topográfico mediante RPAS, se observó una significativa variación en el tiempo requerido para la ejecución del trabajo y en los costos operativos involucrados.

Finalmente Vilcas (2023) en su investigación “Seguridad operacional 2022 Propuesta de mejora de la norma técnica complementaria 001-2015 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones” propone la integración de mejoras a la Norma técnica complementaria que promueve y establece los requerimientos y límites operacionales de los equipos RPAS para uso civil y de esta forma enriquecer las normas ya existentes con la finalidad de minimizar riesgos, fomentar la seguridad de los operadores en el espacio aéreo y asegurar la protección de las personas y las propiedades terrestres.

2.5 Metodología

En el marco de la metodología utilizada en este estudio, se llevaron a cabo tres fases fundamentales. Cada una de estas fases fue dirigida por una secuencia de acciones específicas, los cuales se presentan de manera resumida en el siguiente esquema metodológico:

Figura 3

Fases del levantamiento fotogramétrico con RPAS y DGPS



2.5.1 Fase de Planificación

En la presente fase se definió los límites del área de estudio, lo que permitió un análisis de las características topográficas del terreno, este proceso se llevó a cabo mediante la utilización del software Google Earth, de esta manera se obtuvo una perspectiva amplia y detallada del terreno.

Planificación de los Puntos de apoyo fotogramétrico

Del análisis previo del terreno y ubicación, se estima un área aproximada de seis hectáreas y dado que es un área pequeña que no cuenta con un punto base geodésico de Orden “C” o similar para realizar el ajuste geodésico y tampoco se pretende comprar información del IGN, se utilizará

el servicio Trimble Center Point RTX que posee la institución dado que es una opción viable para estos casos de estudio

Se seleccionó el equipo DGPS de trabajo con el cual cuenta la institución OEFA que es el receptor GNSS de marca Trimble, modelo R10-2 y la controladora marca Trimble, modelo Juno T41 con el servicio activo de Trimble Center Point RTX; asimismo se realizó las coordinaciones logísticas que consisten en la solicitud de uso del equipo y accesorios para el día de ejecución en campo planificado, se solicitó 5 marcas terrestres fotoidentificables de material de tela no reflectante a color rojo y negro de medidas 2mx2m, también se añadió a la solicitud pizarra acrílica, plumón acrílico y libreta de notas.

Figura 4

Equipo receptor GNSS



Nota. Equipo de marca Trimble y modelo R10-2 junto con sus accesorios cables, cargador, baterías, desenganche rápido, antena y maleta de transporte

Figura 5

Controladora topográfica



Nota. Controladora de marca Trimble y modelo Juno T41, para uso del equipo receptor GNSS

Figura 6

Accesorios adicionales



Nota. Se observan los accesorios a utilizar como bastón de fibra de carbono de 2 m, bípode de apoyo, marca terrestre fotoidentificables de 2 x 2 m y pizarra acrílica.

Se planteó la ubicación y distribución de cinco puntos de apoyo fotogramétrico en el área de estudio, las cuales será verificadas en campo y en todo caso se podrá realizar un ajuste de su posición próxima.

Planificación y configuración de vuelos fotogramétricos

Se seleccionó el equipo de trabajo con el cual cuenta la institución OEFA que es el RPAS de la marca DJI y modelo Phantom 4 Pro V2 el cual cuenta con las correspondientes calibraciones de IMU, compás y brújula correctos, con accesorios y un dispositivo Tablet tipo Ipad y de marca Apple y el aplicativo de licencia libre Pix4DCapture

Figura 7

Equipo RPAS



Nota. Equipo RPAS marca DJI y modelo Phantom 4 Pro V2, equipo multirotor, mando, juego de hélices, memoria micro SD, cables, y maletín de transporte.

Figura 8

Maleta de baterías para RPAS



Nota. Baterías para modelo Phantom 4 Pro V2, cargadores, cables y maleta de transporte.

Figura 9

Interfaz del aplicativo Pix4DCapture mostrando el ADRCD Rodricas



Nota. Aplicativo Pix4DCapture donde se configuran los valores para los parámetros de misión fotogramétrica

Se estableció una distribución de misiones de vuelo fotogramétrico así como su cantidad para cubrir el área de estudio, teniendo en cuenta una relación de tamaño de pixel que se va representar el terreno, en este caso a un proyectado de 2 -3 cm/pix

Se realizó el planeamiento de los vuelos fotogramétricos así como la configuración de valores de los parámetros como tipo de misión, altura de vuelo, traslape entre ortofotos frontal y traslape lateral, ángulo de cámara del equipo RPAS y la velocidad de desplazamiento en el vuelo, éstas misiones planificadas tuvieron un ajuste y validación final in situ del área de estudio.

Asimismo, se prevé el uso de aplicativos de datos climáticos y meteorológicos como el UAV Forecast y para información del campo magnético el aplicativo Magnetology.

Y se utilizaran como documentos normativos para el presente estudio la R.D. N.º 501-2015-MTC/12 que es la Norma técnica complementaria que establece los requerimientos y límites operacionales de los equipos RPAS para uso civil y la Resolución Jefatural N.º 051-2017-CENEPRED/J la cual brinda una guía para la operación y ejecución de proyectos fotogramétricos con RPAS.

2.5.2 Fase de Ejecución

Recopilación de información geodésica

Para recopilación de información geodésica se dispuso en la distribución de cinco puntos de apoyo fotogramétrico teniendo en cuenta la topografía del área de estudio y verificando que no exista interferencias en el cielo, como infraestructuras altas, árboles, estructuras metálicas, relieves de terreno como laderas muy próximas y la accesibilidad a la ubicación de estos puntos.

La medición de estos puntos de apoyo fotogramétrico se realizó mediante el equipo receptor GNSS móvil de marca Trimble y modelo R10-2 y con el método de corrección vía satélite, ya que se cuenta con el servicio Trimble Center Point RTX, el cual permitió obtener posicionamientos puntuales y precisos en tiempo real, porque emplea información satelital y atmosférica actualizada de la red global de estaciones de seguimiento continuo (CORS), combinada con un modelo ionosférico altamente preciso y algoritmos avanzados para calcular correcciones diferenciales. Los tiempos de convergencia para la toma de datos fue entre 3 a 6 minutos por punto, Estas correcciones fueron transmitidas al receptor GNSS móvil, obteniendo precisiones horizontales de entre 1 a 2 cm y verticales de entre 3 a 5 cm, por lo que no se requirió una estación base geodésica y postproceso geodésico. Finalmente se descargaron los datos en formato CSV con las coordenadas corregidas.

La toma de datos geodésicos se llevó a cabo en las posiciones designadas para colocar marcas terrestres fácilmente identificables (como marcas de tela, cal, yeso u otros materiales con contraste notorio con el entorno). Esto asegura que sean capturadas durante el sobrevuelo, lo que contribuye al ajuste fotogramétrico de las ortofotos para lograr una alta precisión de centímetros.

Levantamiento de información fotogramétrica

Con la finalidad de asegurar la viabilidad de los vuelos fotogramétricos, se revisó in situ las condiciones climáticas y se revisó la posible presencia de obstáculos existentes como antenas radiotelefónicas, presencia de avifauna u otros elementos que puedan interferir con la ejecución así como visión directa entre el operador y el equipo RPA. Se verificó los puntos donde el equipo RPA realizará su despegue e inicio de misión de vuelo.

Se estableció la cantidad de dos misiones de vuelo fotogramétrico que cubran el área a estudiar y se tomaron en cuenta los siguientes valores de los parámetros de vuelo: tipo de misiones a grilla simple, una altura de vuelo de 100m, traslape entre ortofotos tanto frontal como lateral al 80% y un ángulo de cámara de 90 grados, todas estas configuraciones para poder asegurar el objetivo de estudio, evitar ruidos, deformaciones y huecos en el modelo de elevación digital y también para el ortomosaico, manteniendo el GSD proyectado entre 2 – 3 cm/pix.

2.5.3 Fase de Gabinete

Procesamiento

1) Procesamiento geodésico

Dado el método de levantamiento geodésico para los puntos de apoyo fotogramétrico, no se requiere un postproceso para esta información, por lo cual se muestran la lista de coordenadas precisas que se obtuvieron:

Tabla 1

Coordenadas de puntos de apoyo fotogramétrico

N.º	Zona	Código	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18 Sur		Altura elipsoidal
			Este (m)	Norte (m)	
1		FT-RODRICAS-01	286551.129	8647977.119	154.216
2		FT-RODRICAS-02	286545.920	8647848.202	126.573
3	ADR RCD Rodricas	FT-RODRICAS-03	286636.502	8647910.606	134.947
4		FT-RODRICAS-04	286497.551	8648135.252	117.839
5		FT-RODRICAS-05	286471.605	8648096.947	117.903

Nota. Se muestra en la figura las coordenadas de los cinco puntos de apoyo fotogramétrico obtenido mediante el método Trimble RTX.

En siguiente, se detalla en un mapa la distribución espacial de los puntos de apoyo fotogramétrico en el área de análisis:

Figura 10

Mapa de distribución de los puntos de apoyo fotogramétrico en el área de estudio



Nota. En figura se muestra la ubicación de los cinco puntos de apoyo fotogramétrico en el área de estudio

2) Procesamiento fotogramétrico

El tratamiento de la información requirió la realización una secuencia de acciones siguientes:

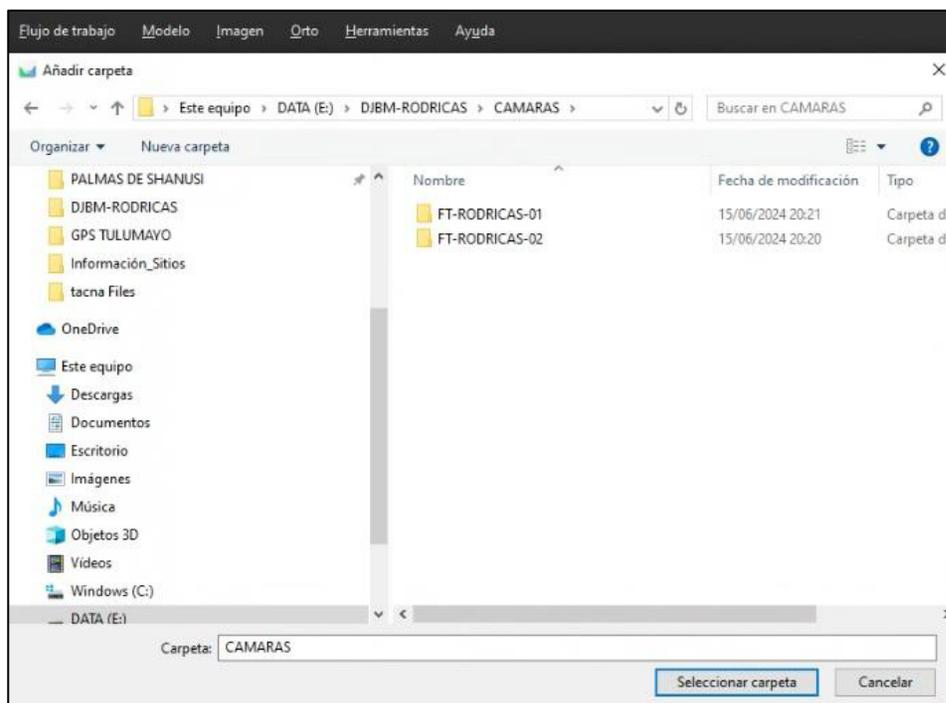
a) Importación de las ortofotos al software Agisoft

Se procederá a iniciar un proyecto en el software Agisoft, y se seleccionará la carpeta con las ortofotos del área de estudio para su importación al software. Una vez completada esta tarea,

se procederá a establecer el sistema de coordenadas en Datum WGS84, con proyección UTM Zona 18 Sur.

Figura 11

Módulo en el software Agisoft para la importación de ortofotos

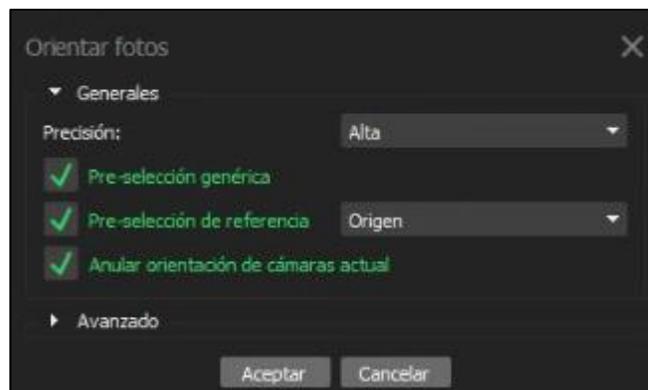


b) Alineación de ortofotos

Luego se procedió a alinear las ortofotos, además, se realizó un filtro para descartar las ortofotos que no estaban correctamente calibradas y que carecían de detalles estructurales y de terreno necesarios para asegurar la calidad de los productos. El proceso continuó con las fases de «Flujo de trabajo» y «Orientar fotos», donde se ajustaron las configuraciones generales para seleccionar una alta precisión en la alineación de las ortofotos.

Figura 12

Imagen de la configuración para la Orientación de fotos



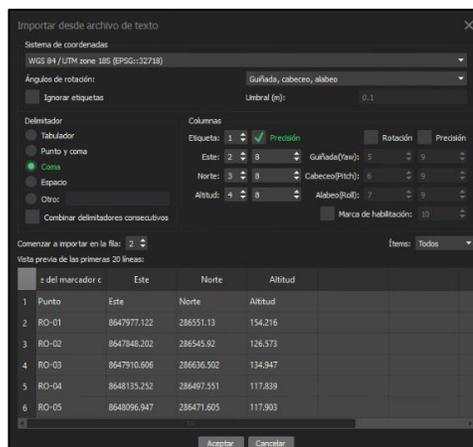
c) Importación e Identificación de PAF

Para incorporar los PAF, se accedió a la barra de herramientas y se seleccionó la opción «Referencia», desde donde se importó un archivo Excel (*.csv) delimitado por comas que incluía únicamente información del nombre de los puntos, coordenadas Este, Norte y Altitud. Tras la importación de los PAF, se procedió a comprobar cada uno de ellos con las ortofotos respectivas, con el fin de confirmar, ajustar y precisar correctamente su ubicación.

Después de ubicar los PAFs en las ortofotos, se llevó a cabo el proceso de optimización para que el software ajuste los PAFs de manera precisa.

Figura 13

Imagen de la configuración para la importación de puntos de apoyo fotogramétrico

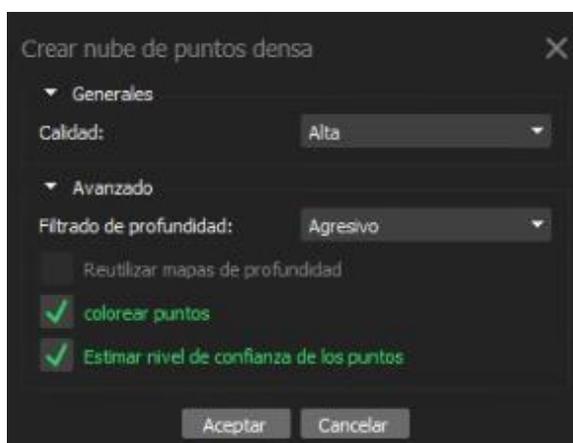


d) Creación de nube de puntos densa

Después, se procedió seleccionando la función «construir nube densa» dentro del menú «Flujo de trabajo». En la configuración principal, se eligió una calidad de proceso «alta» con el objetivo de obtener una mejora en la resolución espacial y del relieve. Una vez ajustadas todas las opciones, se dio inicio a la generación de la nube de puntos densa.

Figura 14

Imagen de la configuración para la creación de nube de puntos densa

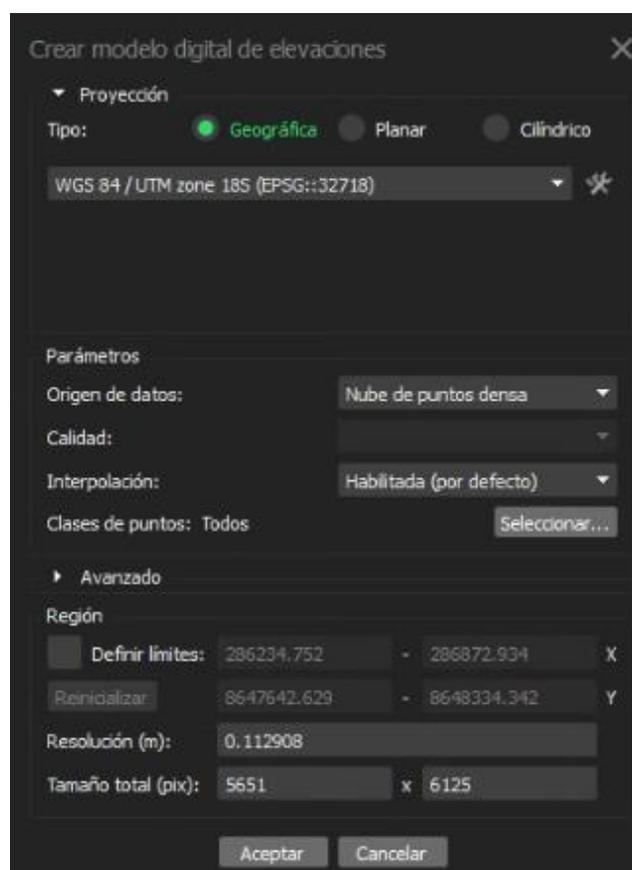


e) Generación del Modelo de elevación digital – MED

Se utilizó la nube de puntos densa como entrada para la obtención del Modelo de Elevación Digital (MED). Luego, se definió la región de interés y se exportó en formato TIFF.

Figura 15

Imagen de la configuración para la creación del modelo de elevación digital

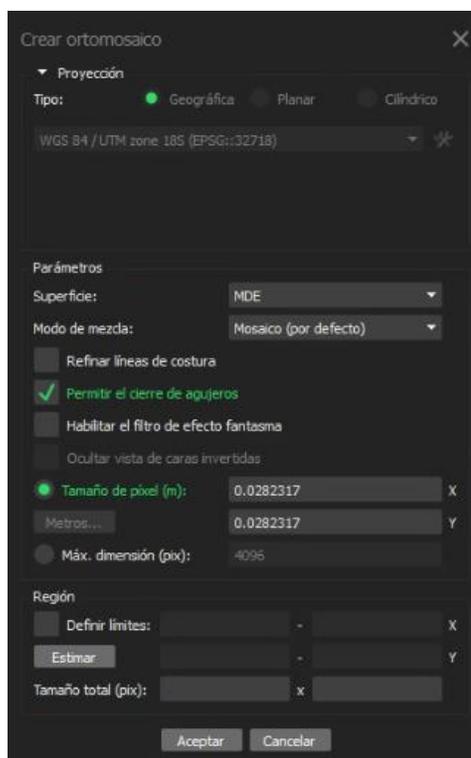


f) Generación del Ortomosaico RGB

Finalmente, se generó el Ortomosaico en RGB utilizando el MED, Se utilizó la opción «Crear ortomosaico», delimitando previamente la región de interés y exportando el resultado en formatos TIFF.

Figura 16

Imagen de la configuración para la creación de Ortomosaico RGB



Obtención de productos y cálculos

En función a la generación del Modelo de elevación digital y el Ortomosaico RGB con una exactitud de centímetros y la delimitación del área de interés, se obtendrá los datos de cálculo de área, perímetro y volumen. Luego se diseñará un perfil topográfico y pendientes.

A continuación, se describe el procedimiento usado para calcular cada uno de los resultados que se buscan obtener.

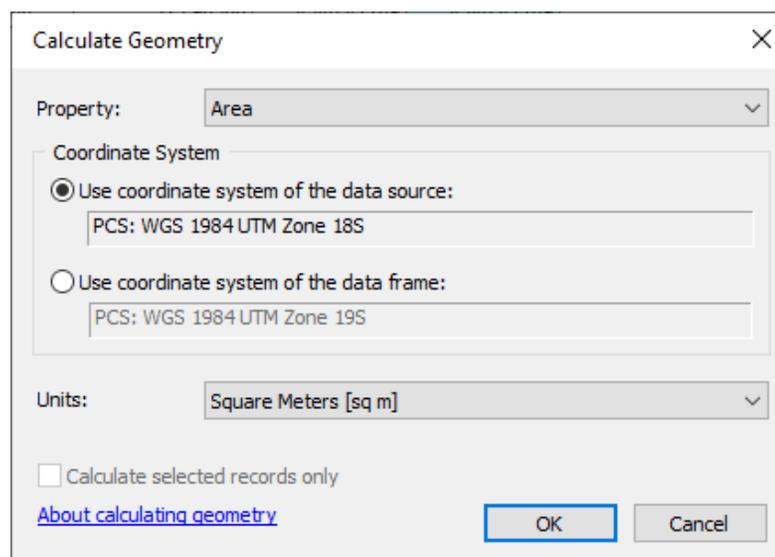
Área y perímetro

Para calcular el área y perímetro del ADR RCD Rodricas, se empleó el software ArcGIS utilizando los siguientes pasos:

- Se utilizó como base el Ortomosaico RGB.
- Se realizó la digitalización y creación de una capa de tipo polígono de los límites de la propiedad y los límites del ADR RCD Rodricas.
- En la tabla de la capa de los límites se crearon tres campos de tipo double con nombres: Área propiedad (AREA_PROP), Área ADR RCD (AREA_ADR_RCD) y Perímetro (PERIMETRO) respectivamente.
- Con la herramienta «Calculate geometry» y seleccionando el tipo y unidades se estimaron las áreas y perímetro.

Figura 17

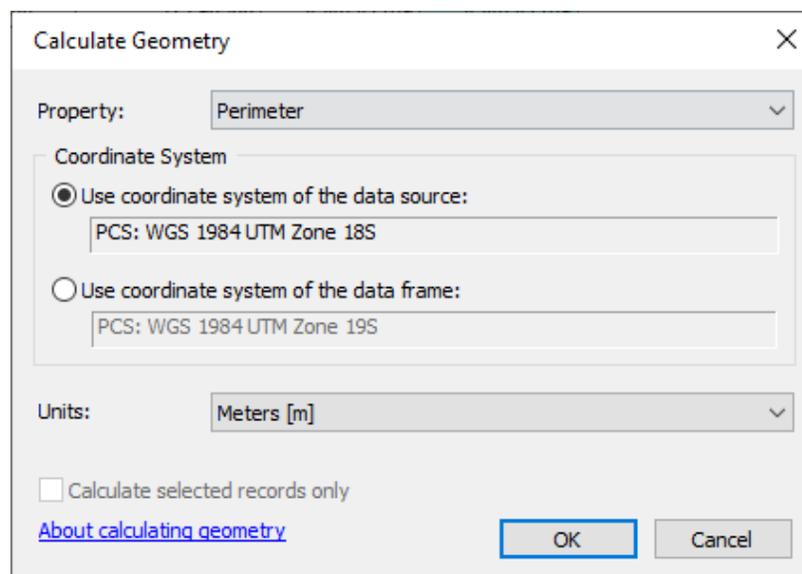
Imagen de la configuración para el cálculo de áreas en el software ArcGis



Nota. Herramienta «Calculate Geometry» y configuración de cálculo de áreas con unidades en m².

Figura 18

Imagen de la configuración para el cálculo de perímetro



Nota. Herramienta «Calculate Geometry» y configuración de cálculo de perímetro con unidades en m.

Volumen

Para el cálculo de volumen se emplearon los softwares ArcGis y Autocad civil 3D utilizando los siguientes pasos:

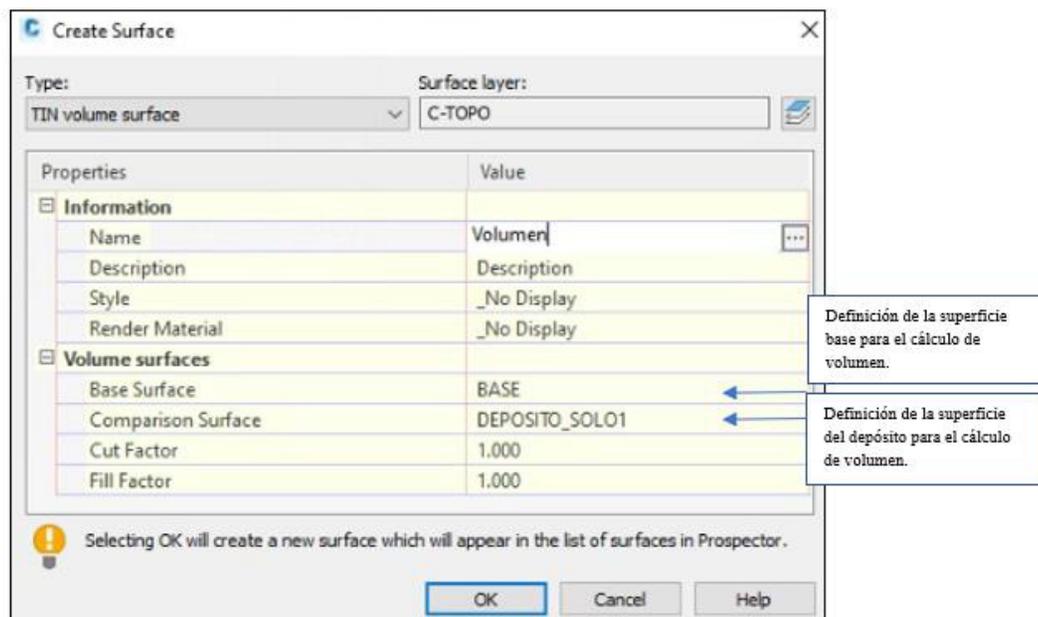
- Se utilizó como base el modelo de elevación digital.
- Mediante el software ArcGis se realizaron dos recortes del MED, el primero en función al límite del ADR RCD Rodricas y el segundo en función a las calles aledañas de la propiedad.
- En el software AutoCAD Civil 3D se estableció la configuración del datum y el sistema de coordenadas UTM WGS84 y Zona 18 Sur.

- Utilizando el software AutoCAD Civil 3D desde el menú Inicio, se utilizó la función «Crea superficie desde MED», resultando en la generación de dos superficies:
 - Superficie base, que corresponde al corte MED de las calles aledañas de la propiedad.
 - Superficie del depósito, correspondiente al corte MED del límite del ADR RCD Rodricas.

- Utilizando la opción «Crear superficie de volumen» del menú «Tablero de volumen» con la siguiente configuración especificada.

Figura 19

Imagen de la configuración para el cálculo de volumen



Perfil topográfico

Para el diseño del perfil topográfico se utilizó el software AutoCad Civil 3D utilizando los siguientes pasos:

- Se utilizó como base el modelo de elevación digital obtenido de la fotogrametría.
- En el software AutoCAD Civil 3D se configuró entorno de trabajo con el datum adecuado y sistema de coordenadas UTM WGS84 y Zona 18 Sur.
- Se generó una superficie basada en el Modelo de elevación digital.
- Mediante la herramienta «MapImport» se importó la línea de perfil de formato shapefile.
- Con la herramienta «Alignment» crea un alineamiento determinando la dirección con el punto de inicio y fin en base a la línea de perfil importado previamente.
- Mediante la herramienta «Create Surface Profile» y seleccionando el alineamiento y la superficie se creó el perfil topográfico.
- Con la definición de estilos se realizó la presentación del perfil topográfico.

Pendiente

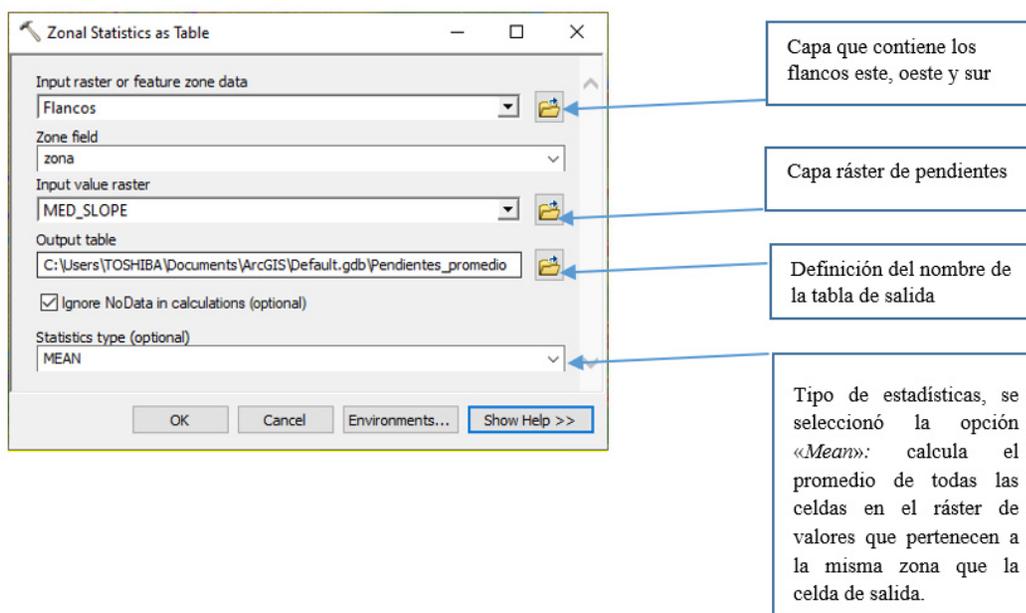
Para la estimación de pendientes, se empleó el software ArcGIS utilizando los siguientes pasos:

- Se utilizó como base el modelo de elevación digital obtenido de la fotogrametría.

- Se definió los límites de los flancos este, oeste y sur del ADRCO para el cálculo de pendientes
- Se utilizó la herramienta «Slope» para generar una superficie que muestra la pendiente utilizando datos de elevación.
- Se procedió a utilizar la herramienta «Zona Statistics as Table» para obtener los pendientes promedios por flancos con la siguiente configuración:

Figura 20

Imagen de la configuración para la estimación de pendiente por flancos



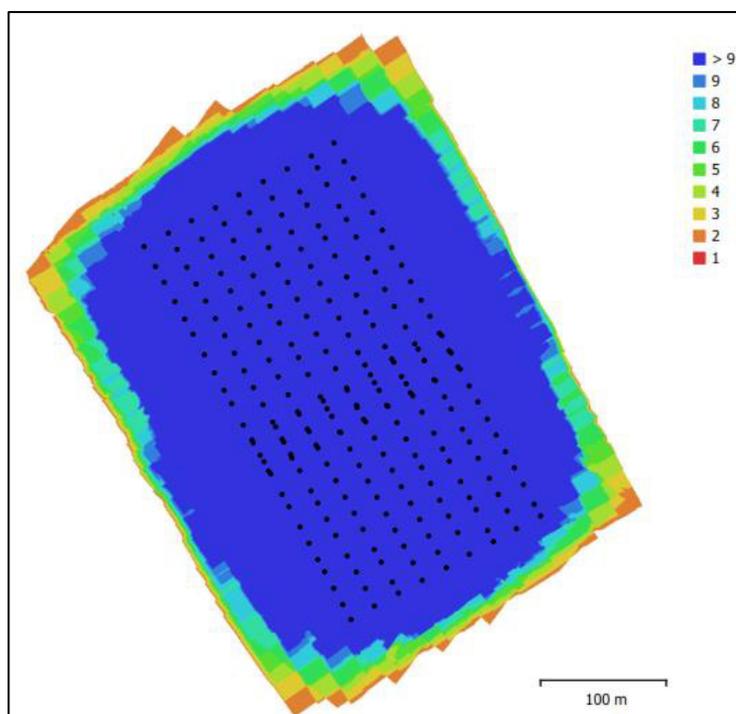
2.6 Resultados

A continuación se describen los resultados del proceso de levantamiento fotogramétrico utilizando RPAS y DGPS con corrección satelital en tiempo real

Se detalla los datos resultantes del procesamiento fotogramétrico mediante el software Agisoft

Figura 21

Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes en la ejecución del vuelo fotogramétrico



Datos de las cámaras procesadas

- Número de ortofotos: 234
- Ortofotos alineadas: 234

- Altitud media de vuelo: 115 m
- Cantidad de Puntos de paso: 98 156
- Resolución obtenida en terreno: 2.82 cm/pix
- Área abarcada: 0.152 Km²

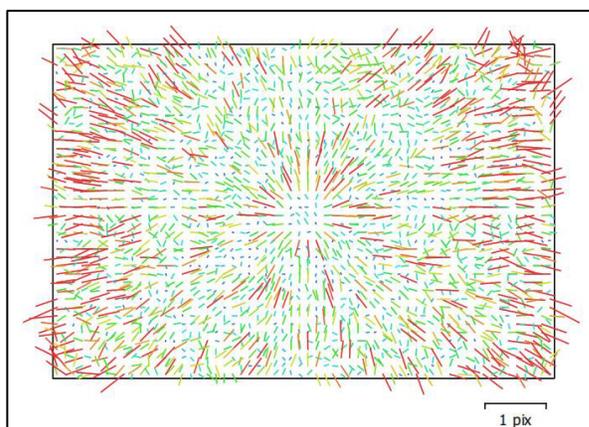
Tabla 2

Datos de la cámara utilizada mediante el equipo Phantom Pro V2

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

Figura 22

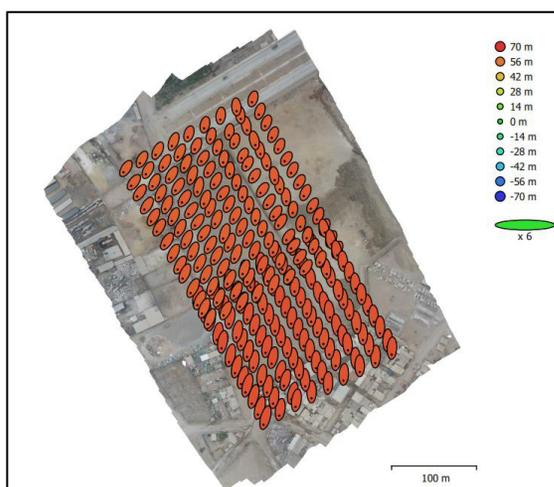
Calibración de cámaras



Nota. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8 mm)

Tabla 3*Coefficientes de calibración y matriz de correlación*

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4
F	3671.21	0.54	1.00	-0.29	0.44	-0.03	-0.03	-0.36	-0.03	0.08	-0.12
Cx	-14.2833	0.02		1.00	-0.11	-0.03	-0.01	0.11	0	-0.02	0.03
Cy	-26.2735	0.017			1.00	-0.03	-0.03	-0.16	-0.02	0.04	-0.05
B1	0.23303	0.021				1.00	-0.01	0.02	-0.02	0.01	-0.01
B2	0.335778	0.021					1.00	0.04	0.000	0.000	-0.03
K1	- 0.00520073	6.10E- 05						1.00	-0.85	0.79	-0.73
K2	-0.030944	0.00026							1.00	-0.99	0.96
K3	0.0701269	0.00048								1.00	-0.99
K4	-0.040826	0.00031									1.00

Figura 23*Posiciones de cámaras y estimadores de error*

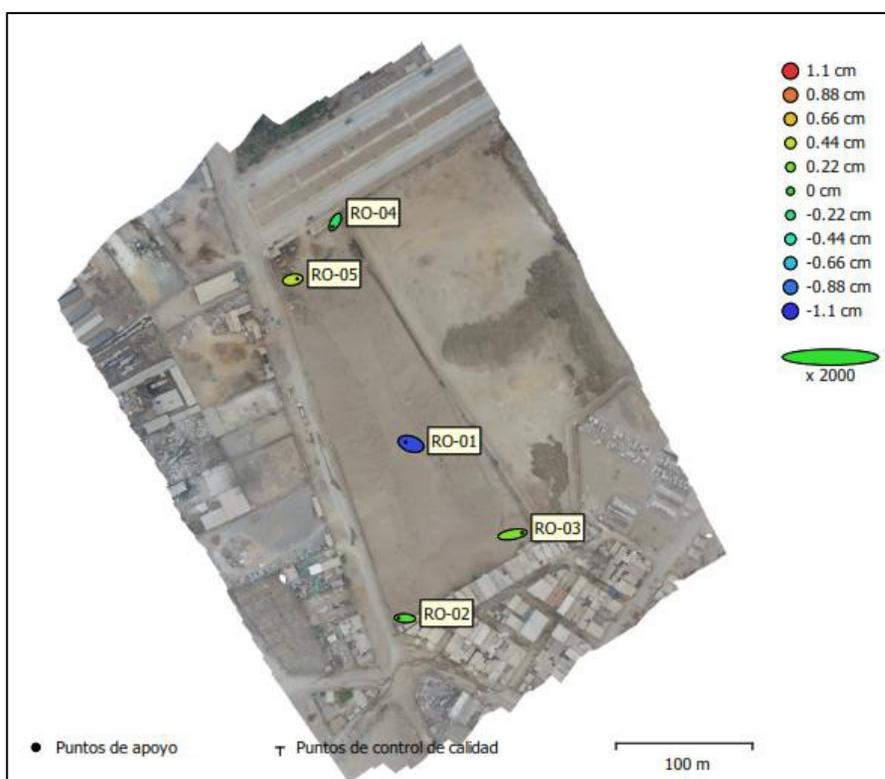
Nota. El Color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representa el error en XY, posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Tabla 4*Errores medios de las posiciones de cámaras*

Error en X (m)	Error en y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
0.574338	1.99409	62.199	2.07515	62.2336

Figura 24

Posiciones de los puntos de apoyo fotogramétrico tomados con corrección en tiempo real y estimaciones de errores



Nota. El Color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representa el error en XY, las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Tabla 5*Error medio cuadrático de los puntos de apoyo fotogramétrico*

Número	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Error en XY (mm)	Total (mm)
5	4.47305	1.71615	5.16516	4.79097	7.04501

Tabla 6*Listado de los puntos de apoyo fotogramétrico y el RMS*

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
PAF-RODRICAS-01	-3.8461	1.30292	-10.2085	10.9865	0.799 (14)
PAF-RODRICAS-02	-4.61513	0.30053	0.958956	4.72328	0.620 (10)
PAF-RODRICAS-03	7.04311	1.19649	2.5885	7.59851	0.555 (10)
PAF-RODRICAS-04	-1.85847	-3.3304	-1.40318	4.06379	0.390 (10)
PAF-RODRICAS-05	3.29995	0.644034	4.42622	5.55841	0.728 (10)
RMS	4.47305	1.71615	5.16516	7.04501	0.648

Los resultados del procesamiento fotogramétrico incluyeron un Modelo de elevación digital de una resolución de 11.3 cm/pix y un ortomosaico RGB de una resolución de 2.82 cm/pix ambos con una alta precisión de centímetros en terreno.

A continuación se muestra los productos obtenidos del procesamiento fotogramétrico

Figura 25

Modelo de elevación digital del ADR RCD Rodricas

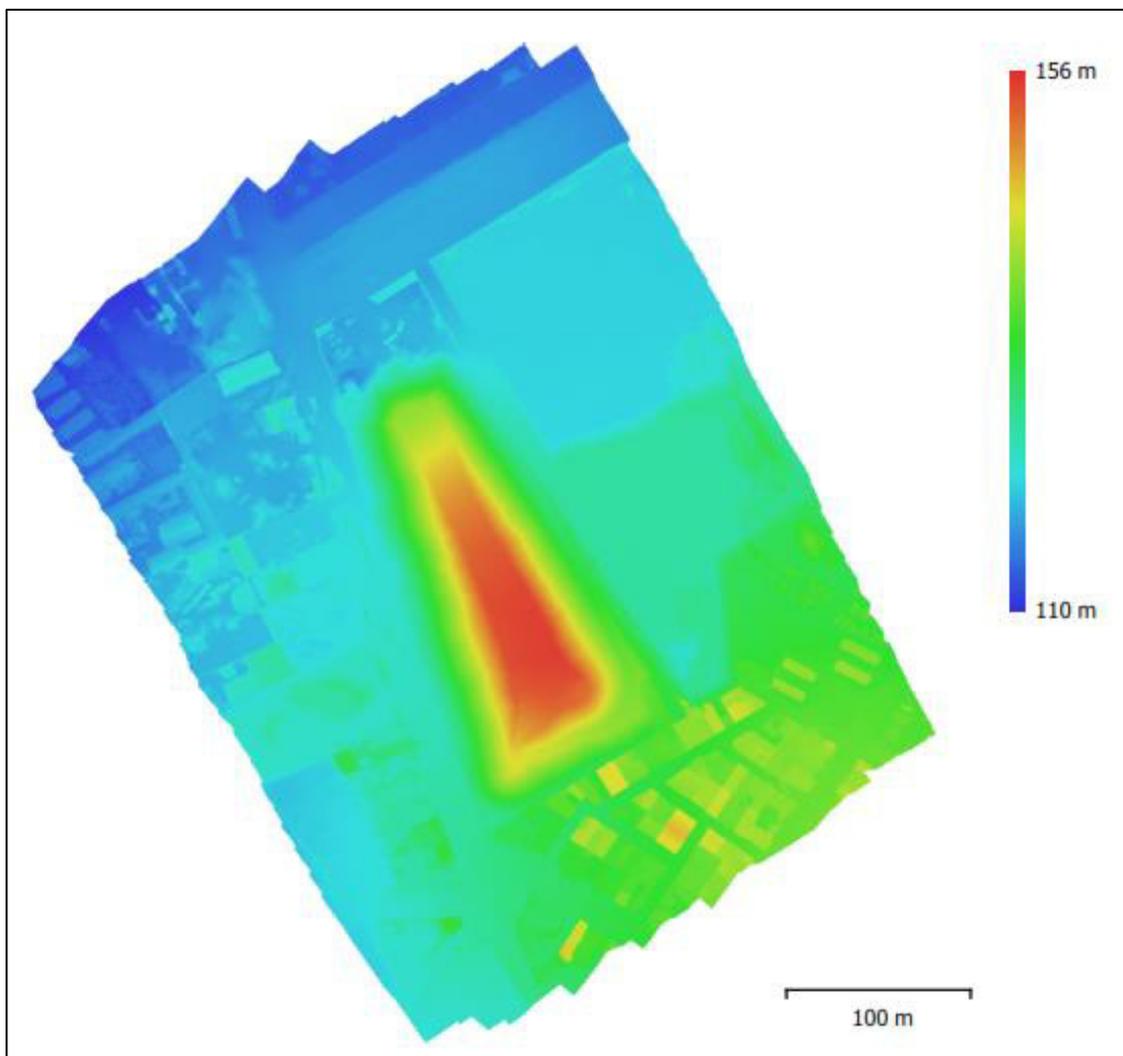


Figura 26

Ortomosaico RGB del ADR RCD Rodricas



Como parte del procesamiento fotogramétrico, se detallan los parámetros obtenidos en la secuencia de pasos descrita en la metodología requerida para la obtención de los productos

Parámetros obtenidos del procesamiento en Agisoft

Parámetros generales obtenidos

Cantidad de ortofotos: 234

Cantidad de ortofotos orientadas: 234

Sistema de coordenadas utilizado: WGS 84 – UTM zona 18 Sur

Parámetros obtenidos para Nube de puntos

Puntos: 98156 de 116840

Parámetros de la orientación

Precisión: Alta

Puntos de paso por ortofoto: 4000

Parámetros obtenidos para Mapas de profundidad

Número: 234

Calidad: Media

Nivel de filtrado: Agresivo

Parámetros obtenidos para Nube de puntos densa

Puntos: 15241032

Parámetros obtenidos para Modelo de elevación digital

Dimensión: 17 408 x 19 240

Parámetros obtenidos para Ortomosaico

Dimensión: 17 408 x 19 240

Sistema de coordenadas utilizada: WGS 84 – UTM zona 18 Sur

Asimismo se realizó una validación de la precisión de los puntos de apoyo fotogramétrico, extrayendo la información del ortomosaico obtenido del procesamiento fotogramétrico el cual se refleja en la siguiente tabla

Tabla 7

Error medio cuadrático de la comparación de coordenadas de los puntos de apoyo fotogramétrico

Código	Coordenadas y altitud mediante RTX			Coordenadas y altitud extraídas de Ortomosaico			DX	DY	DZ
	Este	Norte	Altitud	Este	Norte	Altitud			
PAF-RODRICAS-01	286551.13	8647977.12	154.216	286551.133	8647977.12	154.1158	-0.002666	0.00304	0.1002
PAF-RODRICAS-02	286545.92	8647848.2	126.573	286545.934	8647848.2	126.5962	-0.014255	-0.00231	-0.0232
PAF-RODRICAS-03	286636.502	8647910.61	134.947	286636.5	8647910.6	134.9576	0.002453	0.00224	-0.0106
PAF-RODRICAS-04	286497.551	8648135.25	117.839	286497.54	8648135.24	117.8015	0.010876	0.01693	0.0375
PAF-RODRICAS-05	286471.605	8648096.95	117.903	286471.604	8648096.94	118.0057	0.000709	0.00758	-0.1027
						RMS	0.008	0.009	0.067

A continuación se muestran la delimitación de la propiedad y del ADR RCD Rodricas obtenida mediante la digitalización sobre el ortomosaico RGB, así como lo verificado en campo en la ejecución.

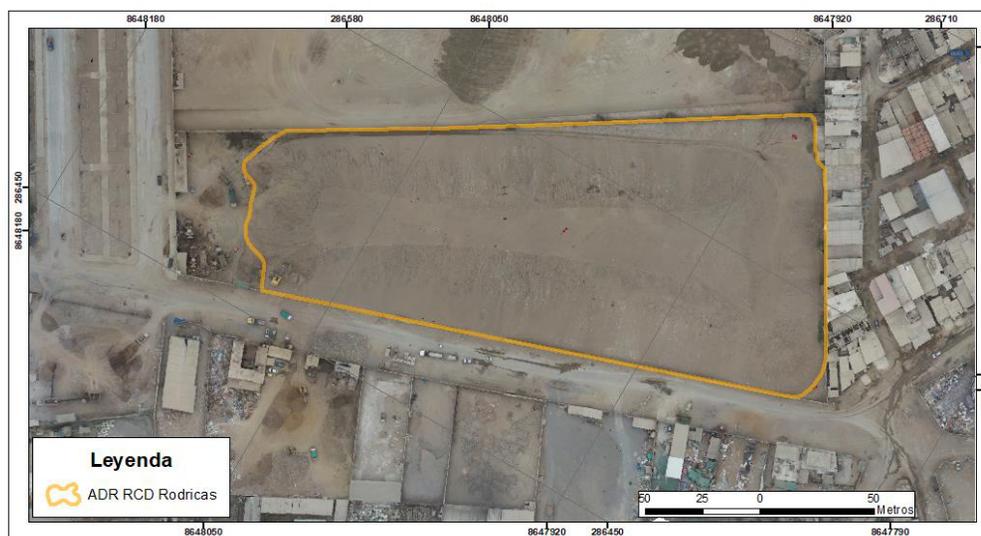
Figura 27

Delimitación de la propiedad de la unidad fiscalizable ADR RCD Rodricas



Figura 28

Delimitación de la unidad fiscalizable ADR RCD Rodricas



Se muestran los resultados de los cálculos sobre las delimitaciones realizadas tanto para la propiedad como para la unidad fiscalizable ADR RDC Rodricas para obtener los valores de áreas, perímetro y volumen.

Tabla 8

Estimación de áreas, perímetro y volumen

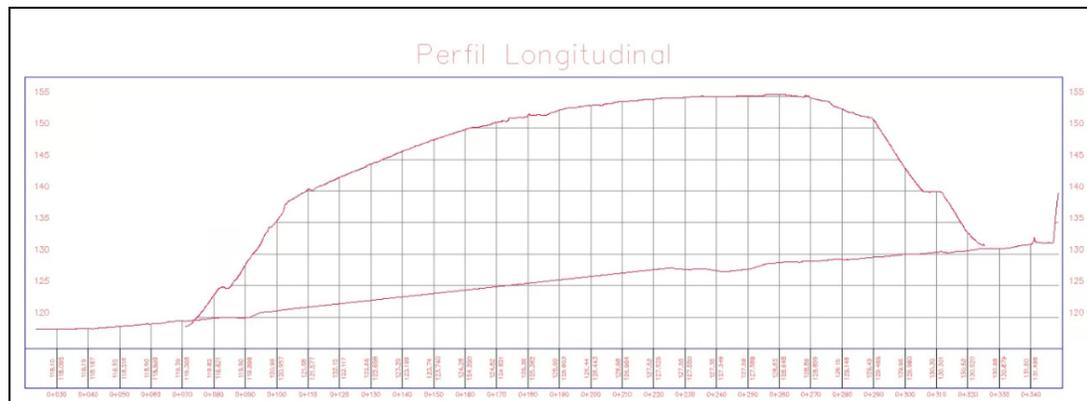
N.º	Nombre	Área (m ²)	Perímetro (m)	Volumen (m ³)
1	Propiedad Rodricas	26684	764	-
2	ADR RCD Rodricas	24085	683	323 966

Asimismo, se presenta la ubicación de una sección del perfil topográfico A-A' generado, así como su representación

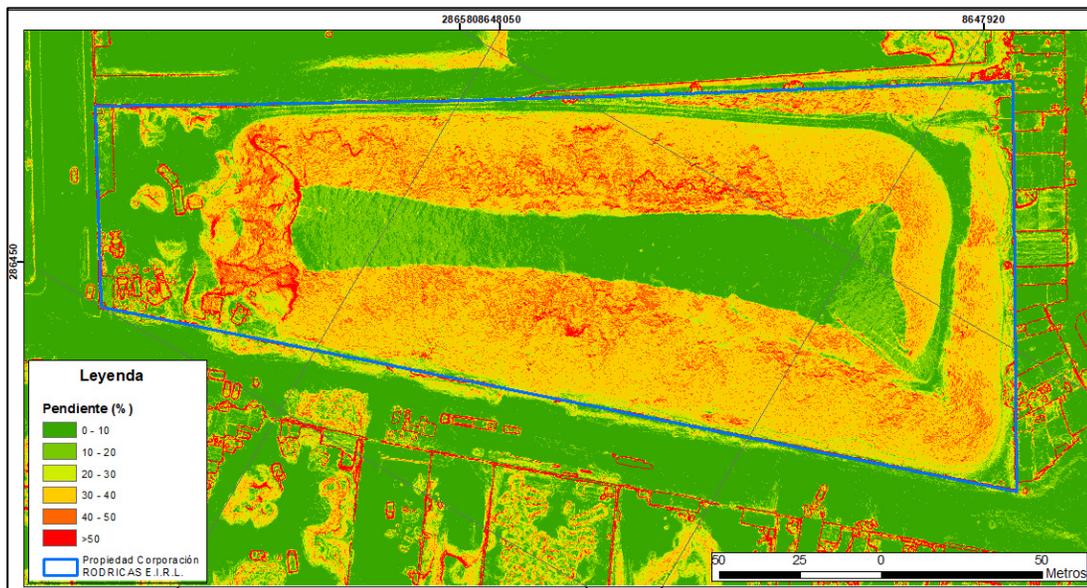
Figura 29

Ubicación de perfil topográfico longitudinal A-A'



Figura 30*Perfil topográfico longitudinal A-A'*

Se muestra el mapa temático de la distribución de pendientes en el ADR RCD Rodricas para poder visualizar como varía la topografía.

Figura 31*Mapa de pendientes*

A continuación se muestra el detalle de valores de pendiente promedio para cada uno de los tres flancos analizados

Tabla 9

Información obtenida de las pendientes en los flancos este, oeste y sur

N.º	Nombre	Pendiente en grados
1	Flanco este	37
2	Flanco oeste	36
3	Flanco sur	32

2.7 Discusión de Resultados

Los resultados que muestra Meza (2022) respecto a determinar la mejor configuración de vuelo fotogramétrico, altura del vuelo y distribución de puntos de apoyo fueron coincidentes con el presente informe obteniendo una resolución de 2.82 cm/pix en terreno y una exactitud de 0.9 cm en el plano horizontal XY y 6.7 cm en el plano vertical

Asimismo la reducción de tiempo en la ejecución del trabajo en campo que indica Pedraza (2019) es acorde al presente informe pero en lo que no se concuerda es en los costos involucrados, dado que para el uso de la presente tecnología usada para la corrección satelital en tiempo real Trimble RTX, se requiere un servicio de suscripción de paga.

La investigación de Vilcas (2023) concuerda con el presente informe en la vital importancia de fomentar la seguridad operativa para garantizar una adecuada planificación y ejecución de estudios con equipos RPAS, así como enriquecer con mejoras a la Norma técnica complementaria 001-2015

III. APORTES MÁS DESTACABLES AL ORGANISMO DE EVALUACION Y FISCALIZACION AMBIENTAL-OEFA

Se detallan los aportes más destacables realizados en el Organismo de Evaluación y Fiscalización ambiental dentro de las evaluaciones y supervisiones ambientales:

- Diseño, desarrollo y mantenimiento de base de datos tabular y aplicativo de registro de información para la Coordinación de Pasivos Ambientales del SubSector Hidrocarburos
- Diseñar el modelo de base de datos georreferenciada para los componentes ambientales tales como (agua, suelo, sedimento, roca, aire, ruido en otros especializados) y biológicas (herpetología, mastozoología, ornitología y flora) e implementarlo con apoyo de la coordinación de SIG en la base de datos corporativa de la institución.
- Creación de matriz de registro y herramientas para la sistematización y automatización de procesos con el propósito de alimentar la base de datos geográfica con información de los componentes ambientales
- Contribución en los estudios de levantamientos fotogramétricos con RPAS y DGPS para verificar que los agentes económicos cumplan con las obligaciones ambientales según los instrumentos de gestión ambiental, contribuyendo al desarrollo sostenible nacional
- Participar como docente en el curso de Entrenamiento para operadores RPAS para los supervisores ambientales del OEFA.

IV.CONCLUSIONES

- Se determinó la georreferenciación de cinco puntos de apoyo fotogramétrico mediante tecnología de corrección satelital en tiempo real con Trimble RTX sin necesidad de una estación base, y distribuidas en el ámbito de estudio. No requirió procesamiento de gabinete.
- Se realizó un análisis de la precisión de los puntos de apoyo fotogramétrico con respecto al ortomosaico y el modelo de elevación digital, por lo cual mediante software SIG se extrajo las coordenadas de todos los centros de las marcas de fotocontrol y con la extracción de valores por punto se extrajo la altitud con el modelo de elevación digital, y se obtuvo una diferencia promedio de 0.008 m para las coordenada este y norte, y para la altitud una diferencia promedio de 0.067 m, estos valores son óptimos para realizar análisis sobre estos productos.
- Se configuró el plan de vuelo fotogramétrico con el aplicativo Pix4DCapture con un GSD proyectado de 3cm/pix a 100 metros de altura desde el punto de despegue del RPA, del procesamiento resultó un ortomosaico con una resolución en el terreno de 2.82 cm/pix, por lo cual se mantuvo dentro de lo planificado y es adecuado para realizar análisis del relieve superficial para el presente estudio.
- Se obtuvo los resultados de cálculos de perímetro, área, volumen, pendientes de los flancos, este, oeste, sur y perfil longitudinal los cuales son derivados a la DSIS - CRES para asegurar que se cumplan los instrumentos de gestión ambiental aprobados.

V.RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar misiones de vuelo de inspección previo a la misión de vuelo fotogramétrico para una verificación del espacio aéreo del área de estudio, asegurar la cobertura de señal de mando – RPA, no perder la visión directa entre el operador y el RPA; asimismo, la posible presencia de otros elementos que dificulten la ejecución como líneas eléctricas, aves de la zona, presencia de neblina, etc. con la finalidad de salvaguardar la integridad física y seguridad del supervisor ambiental y el uso adecuado de los bienes de la institución.
- Se sugiere que con el propósito de localización de los puntos de apoyo fotogramétrico, se encuentran en zonas despejadas de elementos que puedan interferir con la toma de datos del equipo DGPS como árboles, laderas de cerro, estructuras metálicas; asimismo, esto contribuirá con la correcta captura en las ortofotos del punto de fotocontrol necesario para asegurar el pos-procesamiento de la información.
- Se recomienda que para la planificación de las misiones fotogramétricas la configuración del traslape horizontal entre ortofotos sea mayor o igual a 75% y vertical mayor o igual a 75%, para asegurar el producto a fin de reducir la presencia de ruido, deformidades y huecos en los productos procesados.
- Se recomienda ampliar el alcance de la cobertura fotogramétrica del área de estudio, añadiendo al área planificada un buffer adicional de 200 metros como máximo, con el fin de asegurar una recopilación adecuada de datos crudos suficientes para la elaboración de los productos solicitados.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres CENEPRED. (5 de Junio de 2017). “*Protocolo para la Operación de los Sistemas de Aeronaves Piloteadas a Distancia (RPAS)*.”. Resolución Jefatural N° 051-2017/CENEPRED/J. <http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/docs/difusion-manuales/protocolo.pdf>
- Meza D. (2022). *Análisis comparativo de un levantamiento fotogramétrico con diferentes alturas de vuelo y cantidades de puntos de apoyo usando drones*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio UNP. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3339>
- Pedraza A. (2019). *Análisis comparativo del levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico con RPAS en la Huaca Aznapuquio*. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36819>
- Vásquez A. (2021). *Análisis del volumen de material apilado obtenido de un levantamiento topográfico con drone comparado con el volumen obtenido de un levantamiento topográfico con estación total*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4747>
- Vilcas G. (2023). *Seguridad operacional 2022 Propuesta de mejora de la norma técnica complementaria 001-2015 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/8197>

Trimble (2012-2018) Guía de usuario *Trimble R10* GNSS Estados Unidos.

<https://receiverhelp.trimble.com/r10-gnss/R10%20UserGuide.pdf>

NTC 001-2015 Norma Técnica Complementaria Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 3 de noviembre de 2015

Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 2.0