

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

ANALISIS, DESARROLLO Y COMPARACION DE UN
LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRICO REALIZADO CON
UN RPA FRENTE A UN LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO
CONVENCIONAL RALIZADO CON GNSS - MINA BARRICK,
2018

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Rufo Wiston Pari Rendon
Fredy Diogenes Sedano Mateo

Asesor:

Ing. Alejandro Vildoso Flores

Lima - Perú

2019



DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios, por permitirnos haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional.

A nuestra familia, quienes nos brindaron comprensión, amor, sabios consejos, ayuda en los momentos difíciles, que si ella no hubiera sido posible concluir esta tesis.

A nuestros compañeros de trabajo y universidad, quienes fueron un gran apoyo y un ejemplo de superación.

AGRADECIMIENTO

A Dios por protegernos durante todo el camino y darnos fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de nuestra existencia.

A nuestra familia, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

A nuestros docentes de la Universidad Privada del Norte, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al Ing. Alejandro Vildoso Flores, tutor de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y rectitud como docente.

A todas las personas que nos apoyaron y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE ECUACIONES	11
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
ACRONIMOS	14
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Realidad problemática.....	15
1.2. Formulación del problema	19
1.2.1. Problema general.....	19
1.2.2. Problemas específicos	19
1.2.2.1. Problema específico 1	19
1.2.2.2. Problema específico 2	19
1.2.2.3. Problema específico 3	19
1.3. Objetivos	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.3.2.1. Objetivo específico 1	20
1.3.2.2. Objetivo específico 2	20
1.3.2.3. Objetivo específico 3	20
1.4. Hipótesis.....	20

1.4.1.	Hipótesis general.....	20
1.4.2.	Hipótesis específica.....	21
1.4.2.1.	Hipótesis específica 1.....	21
1.4.2.2.	Hipótesis específica 2.....	21
1.4.2.3.	Hipótesis específica 3.....	21
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA		22
2.3.	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	24
2.3.1.	Técnicas	24
2.3.2.	Instrumentos.....	24
2.4.	Procedimiento	24
2.4.1.	Método directo	25
2.4.1.1.	Sistema global de navegación por satélite GNSS.....	25
2.4.1.2.	Medición estática	26
2.4.1.3.	Medición RTK (Real Time Kinematic)	27
2.4.1.4.	Aspectos relevantes de un levantamiento topográfico con GNSS.....	31
2.4.1.5.	Fuentes de error de los receptores GNSS.....	33
2.4.1.6.	Indicadores de calidad de posición de un receptor GNSS	33
2.4.1.7.	Costos del levantamiento topográfico con receptores GNSS	34
2.5.	Método indirecto	37
2.5.1.	Fotogrametría.....	37
2.5.2.	Fotogrametría con aeronaves pilotadas a distancia RPA	37
2.5.3.	Tipos de RPAs para fotogrametría.....	38
2.5.3.1.	RPA de ala fija	39
2.5.3.2.	RPA multirrotores	40
2.5.3.3.	RPA híbridos.....	40
2.5.4.	WingtraOne VTOL – PPK.....	42

2.5.5.	Precisiones de los levantamientos fotogramétricos	43
2.6.	Trabajos de campo con RPA.....	44
2.6.1.	Comprobación del clima	44
2.6.2.	Consideraciones del plan de vuelo.....	45
2.6.3.	Escala de la fotografía.....	47
2.6.4.	Resolución de píxel GSD y altura de vuelo	48
2.6.5.	Planificación del vuelo con RPA	49
2.6.6.	Control de vuelo.....	52
2.6.7.	Overlap.....	53
2.6.8.	Puntos de apoyo fotogramétrico (PAF)	53
2.6.9.	Ubicación de los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF).....	54
2.6.10.	Colocación de los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF).....	56
2.6.11.	Características de un RPA para fotogrametría.....	57
2.6.12.	Límites operativos.....	59
2.7.	Post procesamiento de Imágenes	60
2.7.1.	Ajuste con puntos de enlace	60
2.7.2.	Aerotriangulación	61
2.7.3.	Ajuste con puntos de control.....	62
2.7.4.	Software de fotogrametría Agisoft Metashape	63
2.8.	Archivos de salida a partir de fotogrametría con RPA	64
2.8.1.	Ortomosaico	64
2.8.2.	Nube de puntos.....	65
2.8.3.	Modelo digital de terreno MDT	66
2.8.4.	Curvas de Nivel.....	67
2.9.	Costos del levantamiento fotogramétrico realizado con RPA	68
CAPÍTULO III. RESULTADOS		71

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	79
4.1 Discusión.....	79
4.2 Conclusiones	80
4.3 Recomendaciones.....	81
REFERENCIAS	82
ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Mano de Obra	35
Tabla 2 Equipos	35
Tabla 3 Materiales	35
Tabla 4 Subcontratos	36
Tabla 5 Resumen	36
Tabla 6. Comparación de las características técnicas de los RPA.....	41
Tabla 7. Resolución por pixel.....	49
Tabla 8. Condiciones de operación de un RPA	57
Tabla 9. Estructura del RPA	58
Tabla 10. Características de la cámara	58
Tabla 11 Límites Operativos el RPA WingtraOne	59
Tabla 12 Mano de Obra	69
Tabla 13 Equipos	69
Tabla 14 Materiales	70
Tabla 15 Subcontratos	70
Tabla 16 Resumen	70
Tabla 17. Requerimiento de un RPA para vuelo fotogramétrico a gran altitud	71
Tabla 18. Cuadro de coordenadas de los PAF puntos de control	72
Tabla 19 Error entre los PAF y la nube de puntos.....	73
Tabla 20. Error Absoluto entre los PAF y la nube de puntos	75
Tabla 21. Estadísticas para una muestra	75
Tabla 22 Rendimiento de los RPA y GNSS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Matriz operacional	22
Figura 2. Ubicación de la zona en estudio.....	23
Figura 3. Constelación NAVSTAR.....	25
Figura 4. Método de Posicionamiento GNSS Estático.....	26
Figura 5. Método de Posicionamiento GNSS RTK.....	27
Figura 6. Densidad de puntos a partir de receptores GNSS	28
Figura 7. Malla TIN generada a partir de un levantamiento topográfico con GNSS	29
Figura 8. Equidistancia entre puntos, levantamiento topográfico realizado con receptores GNSS	30
Figura 9. Modelo 3D, a partir de un levantamiento topográfico con GNSS	31
Figura 10. Solución GDOP en receptores GNSS	34
Figura 11. Ubicación de los RPA en la teledetección	38
Figura 12. Tipos de RPAs	39
Figura 13. RPA WingtraOne	42
Figura 14. Despegue, misión y aterrizaje del RPA WingtraOne.....	43
Figura 15. Precisión de los levantamientos fotogramétricos.....	44
Figura 16. Revisar los pronósticos meteorológicos antes de volar.....	45
Figura 17. Planificación para adquisición de fotografías en terrenos con variación del relieve	46
Figura 18. Representación del GSD en el terreno	48
Figura 19. Planificación de la misión de vuelo, software wingtra pilot	50

Figura 20. Monitoreo del RPA durante el vuelo, software WingtraPilot	52
Figura 21. Tipos de marca utilizadas como PAF.....	54
Figura 22. Distribución de los PAF	55
Figura 23. Punto de apoyo fotogramétrico PAF.....	56
Figura 24. Puntos de enlace	61
Figura 25. Generación de nube de puntos	61
Figura 26. Fotografías aéreas enlazadas a los PAF, software Trimble business center	63
Figura 27. Entorno software Agisoft Metashape	64
Figura 28. Ortofoto del área de estudio, software global mapper	65
Figura 29. Nube de puntos, software Agisoft Metashape	66
Figura 30. Modelo digital de terreno, software Agisoft Metashape	67
Figura 31. Curvas de nivel, software global mapper.....	68
Figura 32. Error en las componentes X, Y, Z.....	73
Figura 33. Prueba T-Student para una muestra	76
Figura 34. Resumen del costo por actividades RPA/GNSS.	78

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Escala de la fotografía	47
Ecuación 2. Imagen Fotográfica Digital.....	48
Ecuación 3. Cantidad mínima de GCP	62

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal “analizar desarrollar y comparar un levantamiento fotogramétrico realizado con una aeronave pilotada a distancia RPA frente a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS en la mina Barrick, 2018” el cual desarrollaremos en el capítulo I, para tal fin se realizó un vuelo fotogramétrico en el asentamiento minero, Lagunas Norte operada por Barrick Gold Corporation, ubicada al norte del Perú, en el distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de la Libertad; a una altura entre los 3700 y 4500 m.s.n.m.

En la actualidad la topografía ha sufrido cambios tan revolucionarios y significativos, que con la aplicación de nuevas técnicas e instrumentos nos permiten realizar mediciones directas o indirectas de la superficie terrestre, la cual desarrollaremos en el capítulo II en la que nos enfocaremos a resaltar las ventajas y desventajas de cada metodología.

Seguidamente en el capítulo III analizaremos los resultados obtenidos a partir de las ambas técnicas de captura de información tridimensional georreferenciada.

Finalmente podemos concluir en base a los resultados estadísticos con un nivel de significancia del 5% que las medias de los errores absolutos de X, Y y Z se encuentran por debajo del parámetro permitido de 0.17m, por lo tanto, no existe diferencia significativa en la precisión de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA y un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.

Palabras clave: Levantamiento, fotogrametría, topografía, GNSS.

ABSTRACT

The main objective of this research is "to analyze the development and comparison of a photogrammetric survey carried out with an RPA remotely piloted aircraft compared to a conventional topographic survey carried out with GNSS receivers at the Barrick mine, 2018" which we will develop in Chapter I, for such Finally, a photogrammetric flight was made in the mining settlement, Lagunas Norte, operated by Barrick Gold Corporation, located in northern Peru, in the district of Quiruvilca, province of Santiago de Chuco, department of Libertad; at a height between 3700 and 4500 m.s.n.m.

At present, the topography has undergone such revolutionary and affected changes that, with the application of new techniques and instruments, it allows us to make direct or indirect measurements of the earth's surface, which we will develop in Chapter II in which we will focus on highlighting the advantages and disadvantages of each methodology.

Then in chapter III we will analyze the results detected from the techniques of capturing georeferenced three-dimensional information.

Finally we can conclude based on the statistical results with a level of significance of 5% that the means of the absolute errors of X, Y and Z are below the allowed parameter of 0.17m, therefore, there is no significant difference in the accuracy of photogrammetric surveys carried out with RPA and a conventional topographic survey carried out with GNSS receivers.

Keywords: Survey, photogrammetry, topography, GNSS.

ACRONIMOS

RPA	Remotely Piloted Aircraft, (Aeronave Piloteada a Distancia)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo Aéreo no Tripulado)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
VTOL	Vertical Takeoff Landing (Despegue y Aterrizaje Vertical)
GNSS	Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegación por Satélite)
RTK	Real Time Kinematic (Cinemático en tiempo Real)
PPK	Post-Processed Kinematic Post Proceso Cinemático)
GSD	Ground Sample Distance (Distancia de Muestra en el Suelo)
DEM	Digital Elevation Model (Modelo Digital de Elevación)
DSM	Digital Surface Model (Modelo Digital de Superficie)
MDT	Digital Terrain Model (Modelo Digital de Terreno)
PAF	Puntos de Apoyo Fotogramétrico
PDOP	Position Dilution of Precision (Dilución de Precisión de Posición)
RMS	Raíz Media Cuadrática

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la actualidad la topografía ha sufrido cambios tan revolucionarios y significativos, y con la aplicación de técnicas e instrumentos nos permiten realizar mediciones directas o indirectas de la superficie terrestre, de una manera más rápida y obteniendo resultados cada vez más precisos y confiables; estos resultados son de suma importancia para obtener la información necesaria y realizar un análisis detallado de la superficie terrestre. (Baldeón, 2015)

El uso de equipos topográficos convencionales permite realizar mediciones precisas, pero las jornadas de realización de los levantamientos topográficos son largas, requieren de varias personas para su ejecución y pueden presentar situaciones donde el acceso de los topógrafos supone alto riesgo. Además, existe la necesidad que la obtención de estos datos se dé en el menor tiempo posible, que estos sean confiables y cumplan con las exigencias de cada proyecto, por lo tanto, con la integración de nuevas tecnologías, como el uso de vehículos aéreos no tripulados RPA es de gran importancia para acelerar la toma de datos en campo. (Arun, Anushka, Ankush, & Dharmendra, 2017), (Tony, 2002)

Al respecto, es necesario analizar en qué magnitud difiere la precisión de un levantamiento fotogramétrico realizado con una aeronave piloteada a distancia RPA frente a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS y las posibles áreas de aplicación de esta tecnología, dependiendo del tipo de aeronave y de los resultados que se espera obtener. Una de las aplicaciones más relevantes hoy en día, está en la fotogrametría digital orientada específicamente a los levantamientos fotogramétricos y cartográficos gracias a su elevada precisión que ofrece debido a la

visión estereoscópica, esto permite una correcta identificación de los detalles topográficos, la digitalización directa de los polígonos sobre las ortofotos y la georreferenciación de las líneas resultantes; Lo cual permite realizar un análisis más detallado de los elementos que conforman en plano cartográfico. Por lo tanto, la restitución digital supone una mejora en cuanto a la exactitud geométrica respecto a otros métodos de adquisición de datos. (Cheli, 2011), (Sobrino, 2000)

Todos los desarrollos realizados anteriormente fueron aplicados a fotogrametría terrestre, posteriormente se hicieron pruebas con globos aerostáticos, pero con la aparición de los aviones, en 1909 se realizan las primeras fotografías aéreas, entrando en desarrollo a partir de 1920. Con la aparición de las computadoras hacia el año 1960, se da inicio a la fotogrametría analítica, cuyo punto más alto alcanza en 1980. Finalmente, “en los años 90 con la aparición de la informática, discos duros de gran almacenamiento, tarjetas gráficas capaces de soportar gran cantidad de imágenes y con procesadores cada vez más rápidos, aparecen los primeros restituidores digitales”. (Sanches, 2007)

En el mundo existen muchos estudios sobre fotogrametría clásica utilizando aeronaves tripuladas y sus diferentes variables y aplicaciones, sobre todo usando sensores como cámaras análogas RGB, lidar y radar, pero muy pocas investigaciones referidas a los RPA y ninguna investigación enfocada a los a los RPA diseñados específicamente para fotogrametría por lo que esta técnica, aun es desconocida por gran parte de los ingenieros. (Davalos Gonzales)

(Coello Romero & Ballesteros Abellán, 2015) en su tesis de titulación “Fotogrametría de UAV de ala fija y comparación con Topografía clásica” concluye que, desde el punto de vista de la fotogrametría, los vehículos aéreos no tripulados

son una nueva solución para la captura de imágenes aéreas y generación de productos topográficos.

(Villareal Moncayo, 2015) en su tesis de titulación “Análisis de la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de vehículos no tripulados UAV respecto a la densidad de puntos de control” refiere que la precisión de los levantamientos topográficos usando UAV varía de acuerdo a la densidad de puntos de control, por lo que se debe tener en cuenta la visibilidad entre los puntos de control.

En nuestro país, los levantamientos topográficos y fotogramétricos han tenido avances significativos en los últimos años, predominando el uso de los equipos topográficos convencionales de tales como, estaciones totales mecánicas / robóticas, escáneres laser y receptores GNSS; Sin embargo, a partir de año 2012, con la aparición de los RPA y el uso de sensores remotos, se dio un gran salto en la fotogrametría aérea, y su aplicación en los levantamientos fotogramétricos tuvo un crecimiento exponencial. Sobre estos temas, en el Perú existe la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) quien regula, controla, fiscaliza y administra todas las actividades vinculadas sobre el uso de RPAs. Pero es muy superficial y en algunos casos no aplica a la realidad en la que vivimos. Las aeronaves pilotadas a distancia (RPA), al ser aeronaves están sujetas a la legislación aeronáutica vigente en el Perú. En consecuencia, la DGAC es responsable de controlar que el uso de dichas aeronaves, se realice en el ámbito de la ley y la seguridad. (NTC 001-2015, 2015)

La fotogrametría es el conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuales podemos deducir de la fotografía de un objeto, la forma y dimensiones del mismo; esta técnica se basa en los principios de la geometría proyectiva, la visión

estereoscópica y finalmente el tipo de procesamiento dependerá del origen de las fotografías, es decir del tipo de sensor utilizado. (Quiroz, 2014)

Por lo tanto, según lo anteriormente expuesto, podemos mencionar que una aeronave pilotada a distancia RPA constituye un nuevo componente del sistema aeronáutico, que ha alcanzado hoy en día un desarrollo tecnológico que permite su uso en diversas aplicaciones civiles tales como: minería, agricultura y medio ambiente, uso de la tierra y agua, distribución y avance de enfermedades, identificación rápida de zonas con deficiencias nutricionales, control de cosechas, inventario forestal, ordenamiento territorial, arqueología, catastro, titulación de tierras (rural, urbana), ordenamiento territorial, vigilancia, control policial, fronteras, terrorismo, monitoreo del cambio climático y ecológico.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera analizar, desarrollar y comparar un levantamiento fotogramétrico realizado con una aeronave pilotada a distancia RPA frente a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS?

1.2.2. Problemas específicos

1.2.2.1. Problema específico 1

¿Cuáles son las características que debe cumplir un RPA y los GNSS para realizar levantamientos fotogramétricos y topográficos de precisión?

1.2.2.2. Problema específico 2

¿Cuál es la precisión de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS?

1.2.2.3. Problema específico 3

¿Cuál es el rendimiento y costo de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar, desarrollar y comparar un levantamiento fotogramétrico realizado por una aeronave pilotada a distancia RPA frente a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.

1.3.2. Objetivos específicos

1.3.2.1. Objetivo específico 1

Determinar las características que debe cumplir un RPA y los GNSS para realizar levantamientos fotogramétricos de precisión.

1.3.2.2. Objetivo específico 2

Determinar la precisión de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.

1.3.2.3. Objetivo específico 3

Determinar el rendimiento y costo de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Hipótesis Nula (H₀): El levantamiento fotogramétrico realizado con una aeronave pilotada a distancia RPA no es más eficiente que un levantamiento topográfico realizado con receptores GNSS.

Hipótesis Alternativa (Ha): El levantamiento fotogramétrico realizado con una aeronave pilotada a distancia RPA es más eficiente que un levantamiento topográfico realizado con receptores GNSS.

1.4.2. Hipótesis específica

1.4.2.1. Hipótesis específica 1

Hipótesis Nula (Ho): No existen características que debe cumplir un RPA y los GNSS para realizar levantamientos fotogramétricos de precisión.

Hipótesis Alternativa (Ha): Existen características que debe cumplir un RPA y los GNSS para realizar levantamientos fotogramétricos de precisión.

1.4.2.2. Hipótesis específica 2

Hipótesis Nula (Ho): No Existe diferencia significativa en la precisión de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.

Hipótesis Alternativa (Ha): Existe diferencia significativa en la precisión de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.

1.4.2.3. Hipótesis específica 3

Hipótesis Nula (Ho): No existe diferencia significativa en el rendimiento y costo de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.

Hipótesis Alternativa (Ha): Existe diferencia significativa en el rendimiento y costo de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación planteada según la naturaleza de los datos es cuantitativa, según el propósito es aplicada, según la manipulación de las variables es cuasi experimental y de corte transversal. Es cuantitativa porque se centra en el estudio y análisis de diversos procedimientos basados en la medición, es aplicado porque está centrada en encontrar mecanismos que permita lograr un objetivo concreto y es de corte transversal porque está referida a un tiempo y espacio específico. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2010)

Variable independiente: Análisis y desarrollo del levantamiento fotogramétrico realizado con un RPA frente a un levantamiento topográfico convencional utilizando receptores GNSS

Variable dependiente: Comparación del levantamiento fotogramétrico realizado con un RPA frente a un levantamiento topográfico convencional utilizando receptores GNSS

Variables	Definición Conceptual	Dimensión	Indicadores
Comparación del levantamiento fotogramétrico realizado con un RPA frente a un levantamiento topográfico convencional utilizando receptores GNSS	Conjunto de mediciones precisas ejecutadas sobre un terreno con los instrumentos adecuados para determinar el rendimiento y costo de la elaboración de un plano topográfico. (Franquet Bernis, 2010)	Precisión Rendimiento Costo	Resolución de la cámara GSD Tipo de RPA Tipo de GNSS Especialistas capacitados Clima
Análisis y desarrollo del levantamiento fotogramétrico realizado con un RPA frente a un levantamiento topográfico convencional utilizando receptores GNSS	Se refiere al estudio estadístico de un conjunto de propiedades y características para determinar las posiciones de puntos del terreno y su representación gráfica. (Franquet Bernis, 2010)	Estadística Propiedades Características	T student Software SPSS V.25 Software de topografía y fotogrametría Tipo de RPA Tipo de GNSS

Figura 1. Matriz operacional

Fuente: Elaboración propia

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas

Para la presente investigación se utilizó la técnica de la observación.

2.3.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados en la presente investigación fueron: Una aeronave pilotada a distancia RPA híbrido, con capacidad de despegue y aterrizaje vertical, marca Wingtra modelo WingtraOne, el cual lleva a bordo cámara de 42 Megapíxeles y es capaz de recibir señal de satélites L1/L2.

Por otro lado, para la topografía convencional se utilizó 03 receptores GNSS de última generación marca Trimble, modelo R10 en modo RTK.

Para el post procesamiento de imágenes, se utilizó los siguientes softwares: Agisoft Metashape, Autodesk Civil 3D y Global Mapper.

2.4. Procedimiento

Para la recolección de datos se realizó mediante 2 métodos de medición.

Método directo. Se realizó utilizando los receptores GNSS Trimble R10 en modo RTK, la cual trata de examinar el terreno teniendo en cuenta las características físicas, geográficas y alteraciones existentes; posteriormente esta información se verá reflejada en un plano topográfico.

Método indirecto. Se realizó un vuelo fotogramétrico con el RPA WingtraOne, durante el vuelo el drone registro 363 fotografías de alta resolución, las mismas que serán procesadas con el software Agisoft Metashape para su respectivo análisis y generación de planos topográficos.

2.4.1. Método directo

2.4.1.1. Sistema global de navegación por satélite GNSS.

GNSS (Global Navigation Satellite System), o Sistema Global de Navegación por Satélite y se refiere al conjunto de tecnologías que componen el sistema de navegación por satélite, los cuales proveen de posicionamiento geoespacial tridimensional con una cobertura global 24/7 de manera autónoma. Los orígenes del GNSS se sitúan en los años 1970 inicialmente destinados al uso militar y con el paso del tiempo fue ganando popularidad en el uso civil.

Actualmente existen varios métodos de posicionamiento GNSS entre los más conocidos y utilizados en este momento están: el Método Estático, que generalmente se utiliza en levantamientos geodésicos, y el método Real Time Kinematic o RTK enfocado principalmente al replanteo o ubicación de un punto con coordenadas conocidas sobre la superficie terrestre. (Trimble, 2019)

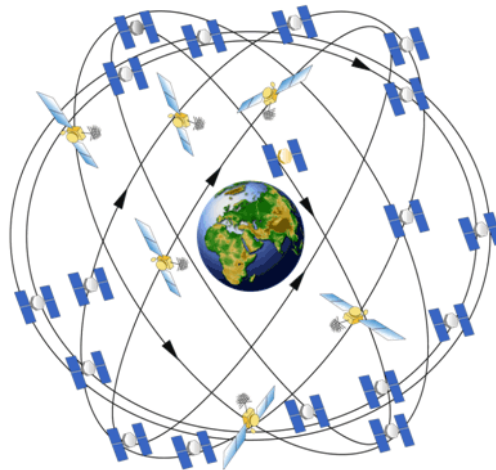


Figura 3. Constelación NAVSTAR

Fuente: www.trimble.com

2.4.1.2. Medición estática

Se trata de un método desarrollado para posicionar puntos geodésicos de alta precisión, con el objetivo de unificar un solo marco de referencia, todos los trabajos de georreferenciación deberán estar referidos a la red geodésica nacional.

Dependiendo de su importancia y precisión los puntos geodésicos se clasifican en el siguiente orden: 0, A, B, C y PFCH.

En este método es necesario observar al menos con dos receptores GNSS en simultáneo. La gran ventaja radica en que los diferenciales de error en el posicionamiento son similares en ambos puntos y serán eliminados en el post proceso y ajuste de líneas base, para esta metodología es recomendable tener una buena geometría de satélites GDOP, habilitar en el receptor la mayor cantidad de constelaciones disponibles y registrar la meta data con un intervalo de 1 o 5 segundos de grabación continua. (Trimble, 2019)

La precisión nominal típica utilizando esta metodología con un receptor GNSS de doble frecuencia está alrededor de:

Horizontal: 3mm + 1 ppm RMS

Vertical: 3,5 mm + 0,4 ppm RMS

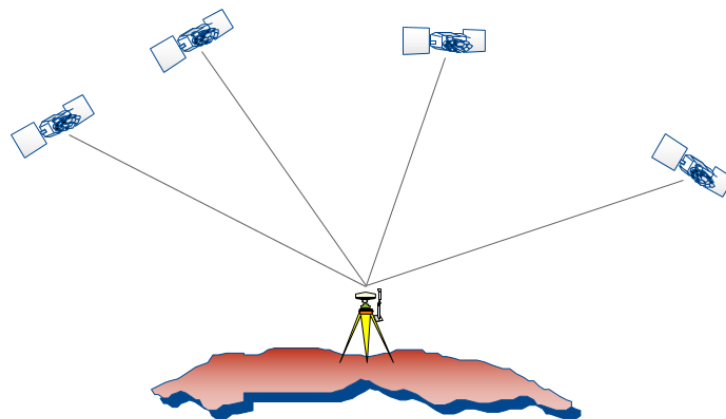


Figura 4. Método de Posicionamiento GNSS Estático

Fuente: Elaboración propia

2.4.1.3. Medición RTK (Real Time Kinematic)

También llamada navegación cinemática en tiempo real, esta técnica por su integridad, disponibilidad, confidencialidad y continuidad, fue la más adecuada para coleccionar la información de la presente investigación, ya que ha demostrado alta precisión y excelente productividad al momento de realizar levantamientos topográficos convencionales.

En la práctica, la metodología RTK utiliza un sólo receptor GNSS como estación base y un número ilimitado de receptores móviles. La estación base está referida a un punto con coordenadas conocidas, ésta transmitirá correcciones (TX) usando diferentes protocolos de transmisión como: NTRIP, VRS, COORS, multi estación, mono estación, radio UHF o bluetooth de largo alcance. Estas correcciones son recibidas (RX) por los receptores móviles, procesadas al instante o en tiempo real, y como resultado nos proporcionara la posición relativa milimétrica en coordenadas Este, Norte y Elevación. (Trimble, 2019)

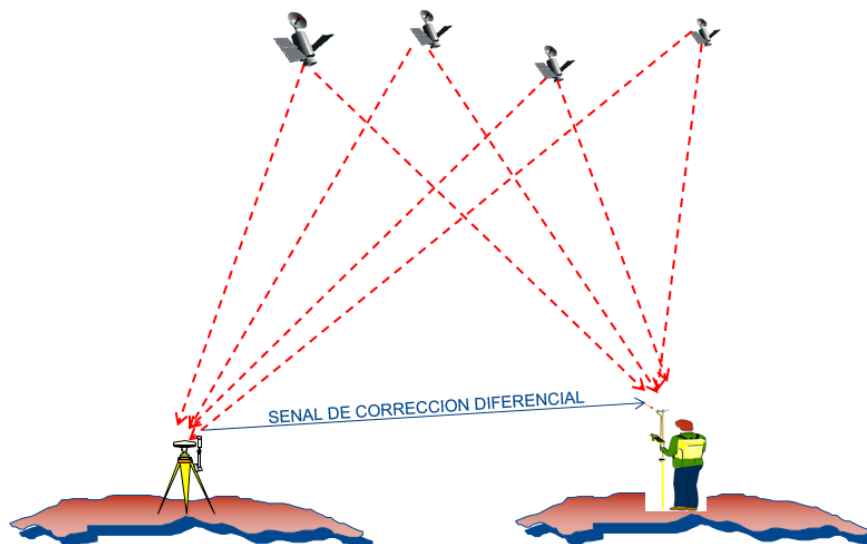


Figura 5. Método de Posicionamiento GNSS RTK

Fuente: Elaboración propia

Es importante recordar, que todos los puntos medidos durante el levantamiento, corresponden a coordenadas calculadas al centro eléctrico de la antena del receptor GNSS, por lo tanto, es recomendable medir con mucha precisión la altura de la antena.

La precisión nominal típica utilizando esta metodología con un receptor GNSS de doble frecuencia en una línea base menor a 30 Km está alrededor de:

Horizontal: 8mm + 1 ppm RMS

Vertical: 15 mm + 0.4 ppm RMS

Durante el levantamiento topográfico convencional se colectó puntos discretos que provienen de una medición con receptores GNSS en modo RTK los cuales responden a un formato ASCII donde existen delimitadores (.CSV, .TXT) estos puntos incluyen un ID, coordenadas (3D) Este, Norte, Elevación y una Descripción o Código, P - E - N - Z - D. (Trimble, 2019)

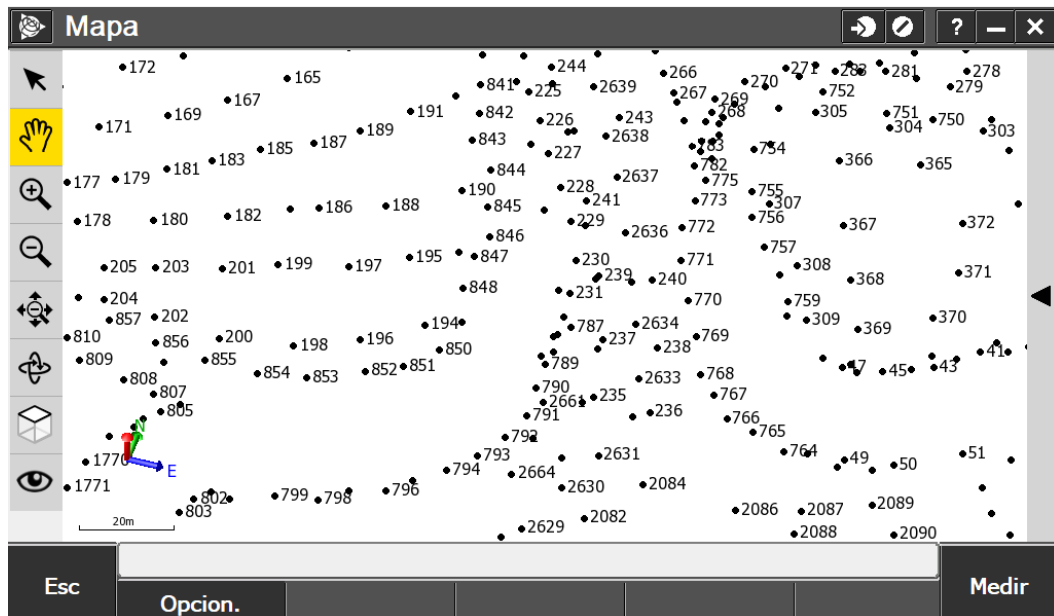


Figura 6. Densidad de puntos a partir de receptores GNSS

Fuente: Elaboración propia

La captura de estos puntos responde a la pericia, habilidad o experiencia del topógrafo para representar a escala el terreno, capturando puntos a diferentes equidistancias y dependiendo de si se puede o no ingresar a ciertos lugares (Taludes, crestas y demás zonas inaccesibles) en el mejor de los casos la equidistancia entre punto y punto será de ± 5 mts. El cuál será la representación tridimensional de la superficie existente. (Sobrino, 2000)

Si analizamos el levantamiento topográfico convencional, nos damos cuenta, que el topógrafo únicamente colecta puntos en: crestas, toes y algunos puntos de relleno en zonas planas; quedando demasiada información faltante en el talud, puesto que es imposible medir puntos ya que es inaccesible y supone demasiado riesgo acceder a estas zonas.

Una vez concluido el levantamiento en campo, vamos a oficina volcamos los datos en el software especializado, Civil 3D o Minesight y posteriormente generar superficies a partir de los puntos.

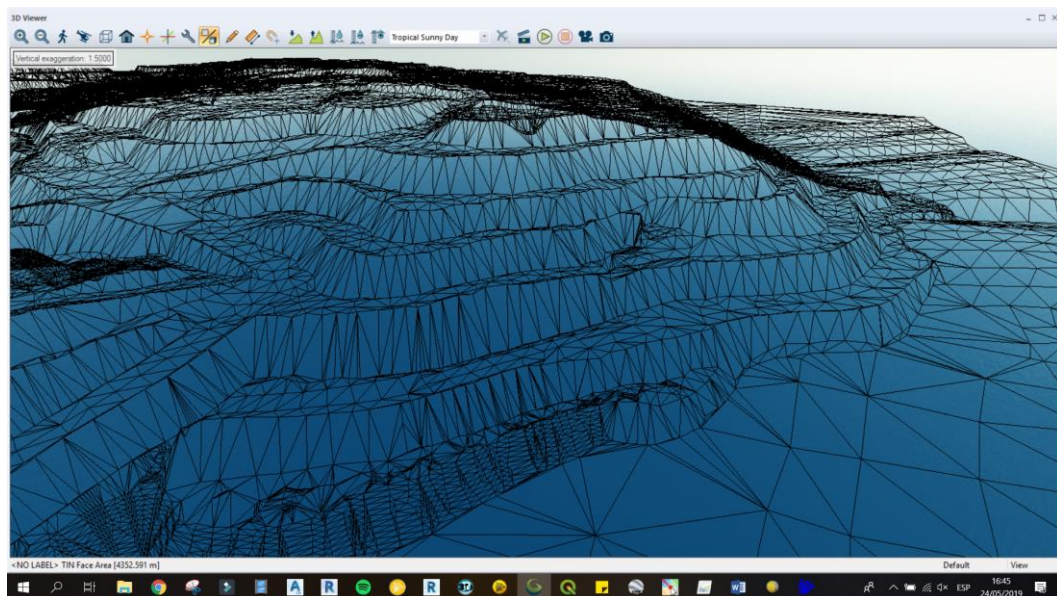


Figura 7. Malla TIN generada a partir de un levantamiento topográfico con GNSS

Fuente: Elaboración propia

Una vez en el software, procedemos a importar los puntos, generamos una superficie, editamos la triangulación y finalmente obtenemos una malla TIN, la cual es la representación morfológica de la superficie. En los TIN los puntos se conectan con una serie de aristas para formar una red o caras de triángulos y como resultante obtendremos una triangulación que cumple con el principio de Delaunay, quien refiere que la circunferencia circunscrita de cada triángulo de la red no debe contener ningún vértice de otro triángulo.

Como resultado de los TIN obtendremos triángulos con una resolución baja y en áreas donde la superficie es irregular y no se pudo capturar puntos la resolución será aún más baja.

Civil 3D, interpola los puntos de la cresta con los del toe como si fuera un plano inclinado perfecto, ya que no cuenta con más información para interpolar; pero es claro que los taludes nos son planos inclinados perfectos, generalmente los taludes son muy irregulares; por lo tanto, existe algunos errores.

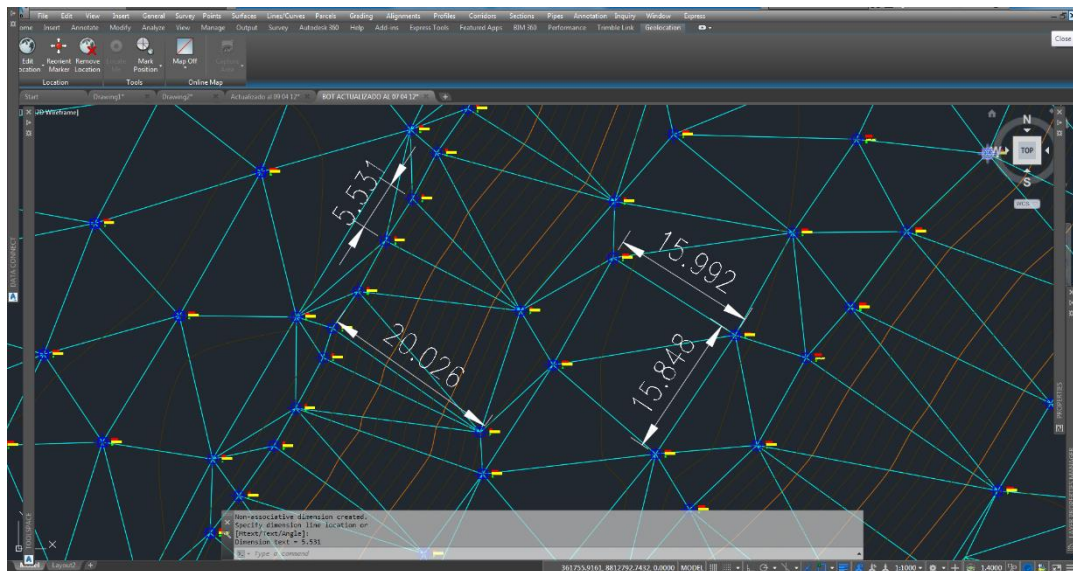


Figura 8. Equidistancia entre puntos, levantamiento topográfico realizado con receptores GNSS

Fuente: Elaboración propia

El resultado obtenido a partir del levantamiento topográfico tiene errores importantes que en general son asumidos como algo normal.

Para representar un montículo de material suelto ya sea arena, grava o cualquier otro material, mediante un levantamiento topográfico convencional se necesita realizar mediciones directas caminando sobre el terreno de interés, ver figura 6. Para este estudio, por ejemplo, el levantamiento topográfico utilizando receptores GNSS se completó con un total 2800 puntos de relleno sobre la superficie de interés.

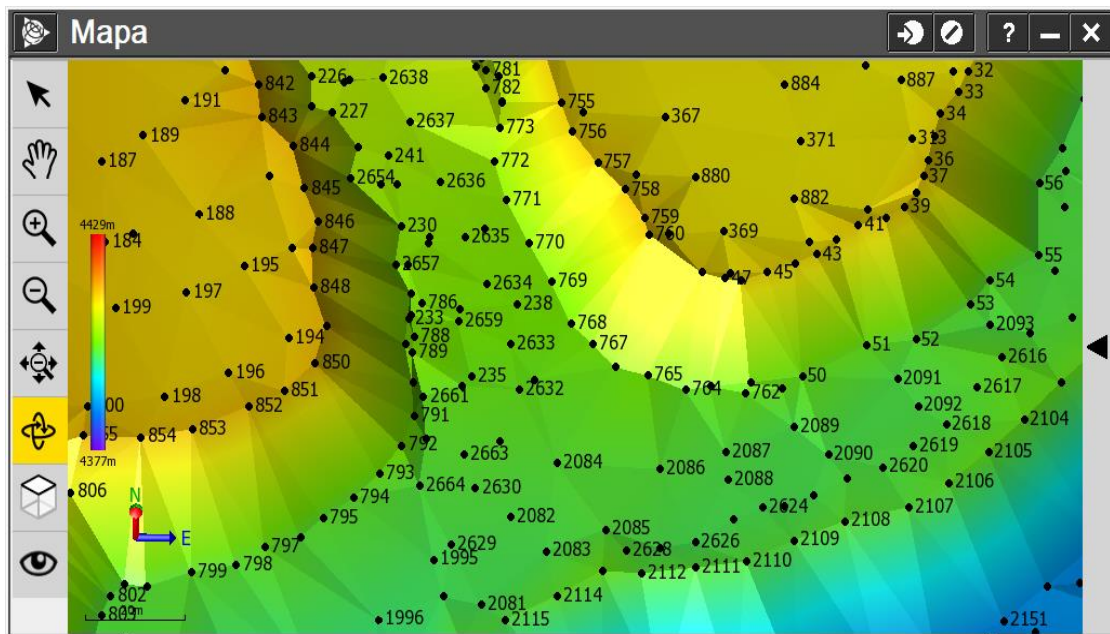


Figura 9. Modelo 3D, a partir de un levantamiento topográfico con GNSS

Fuente: Elaboración propia

2.4.1.4. Aspectos relevantes de un levantamiento topográfico con GNSS

Las ventajas de las labores realizadas con receptores GNSS van en aumento día a día conforme cambia la tecnología. Sin embargo, podemos mencionar algunos aspectos relevantes o ventajas frente a los trabajos realizados con sistemas de aeronaves piloteadas a distancia RPA. (Trimble, 2019)

- Las condiciones meteorológicas adversas no es impedimento para trabajar con receptores GNSS, ya sea lluvia, granizo, tormentas de arena, vientos superiores a los 65km/h, neblina, gran altitud sobre el nivel del mar, o nieve.
- No es necesario que el operador tenga inter visibilidad o línea de vista entre los receptores base y móvil.
- El trabajo lo puede realizar una sola persona.
- La precisión de los puntos registrados es homogénea, debido a que el error por punto es único y no acumulativo.
- No necesitan mantenimiento constante ni calibración permanente.
- Tiene dificultades de recepción de señal de satélite en zonas cerradas como quebradas profundas, áreas urbanas con edificios altos y zonas de selva con masa arbórea muy densa.
- Actualmente existen servicios de corrección satelital como: PPP, RTX, VRS o Atlas que proporcionan posiciones el tiempo real con una precisión centimétrica sin necesidad de una estación base local en tierra. Estas correcciones tienen cobertura en todo el mundo a través señal de celular IP o satélite.
- El sistema de posicionamiento por satélite, es una herramienta de gran ayuda, y de uso muy fácil, pero esto no significa eximirse de sus constantes cambios o actualizaciones, ya que los resultados a priori podrían ser desfavorables en rendimiento precisión y exactitud.

2.4.1.5. Fuentes de error de los receptores GNSS

- Efectos de propagación de la señal
- Efecto de multipath y trayectoria
- Retraso atmosférico
- Efecto de la ionosfera y troposfera
- Ruido de la señal
- Desplazamiento de las placas tectónicas
- Órbitas no modeladas de los satélites
- Cantidad de satélites visibles
- Geometría de los satélites
- Campos electromagnéticos
- Marco de referencia

2.4.1.6. Indicadores de calidad de posición de un receptor GNSS

El DOP, toma en cuenta la posición de cada satélite con respecto a otros de la misma constelación, así como la geometría relativa del receptor GNSS. Un valor cercano al cero “0” indicaría mayor probabilidad de precisión. (Trimble, 2019)

- PDOP: Posición (tres coordenadas X, Y, Z)
- RDOP: Relativa (posición medida en función del tiempo)
- HDOP: Horizontal (Dos coordenadas horizontales X, Y)
- VDOP: Vertical (Altura solamente)
- TDOP: Hora (Desajuste del reloj solamente)

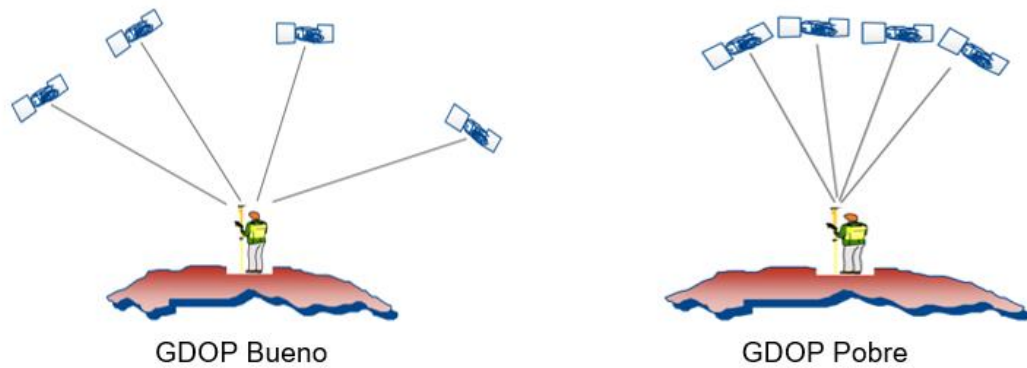


Figura 10. Solución GDOP en receptores GNSS

Fuente: Elaboración propia

2.4.1.7. Costos del levantamiento topográfico con receptores GNSS

- **Especificaciones**
 - El Levantamiento en tiempo real con receptores GNSS, tendrá una resolución entre punto y punto 5m x 5m en áreas de relleno y en secciones transversales cada 10m y 10 puntos en cada sección y cubrirá un área de 15 Ha.
- **Entregables**
 - Archivo de puntos con resolución de 5m x 5m
 - Superficie TIN
 - Modelo digital de terreno DEM
 - Plano de curvas a nivel con equidistancia de 0.5m
- **Rendimiento**
 - Relieve llano con pendientes de (0 a 12%) 15 - 20ha
 - Relieve Ondulado con pendientes de (12 a 55%) 10 - 12ha.
 - Relieve Escarpado (Mayor a 55%) 5 – 8 ha

Tabla 1
Mano de Obra

Descripción	Und	Cantidad	Pu (s/.)	Parcial (s/.)
Auxiliar de topografía	día	2	151.60	303.20
Chofer	día	1	151.60	151.60
Supervisor	día	1	301.60	301.60
Topógrafo	día	1	226.60	226.60
Cadista	día	1	226.60	226.60
		subtotal		1209.60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2
Equipos

Descripción	Und	Cantidad	Pu (s/.)	Parcial (s/.)
Camioneta Pick Up 4x4	día	1	298.30	298.30
GPS Geodésico Trimble R10	día	3	228.60	685.80
Laptop	día	1	33.50	33.50
Software Trimble Business Center	día	1	33.30	33.30
Software AutoCAD Civil 3D	día	1	60.00	60.00
		subtotal		1,111.10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3
Materiales

Descripción	Und	Cantidad	Pu (s/.)	Parcial (s/.)
Materiales por brigada	día	2	96.50	193.00
Petróleo	día	2	60.00	120.00
EPP x Persona	día	6	29.20	175.20
		subtotal		488.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4

Subcontratos

Descripción	Und	Cantidad	Pu (s/.)	Parcial (s/.)
Alimentación	día	6	60.00	360.00
Hospedaje	día	6	80.00	480.00
SCTR salud y pensión	día	6	8.30	49.80
	subtotal		S/	889.80

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5

Resumen

Descripción	Precio (s/.)
Costo directo	3,698.70
Gastos administrativos 15%	554.81
Utilidad 35%	1,294.55
Sub total	5,548.06
IGV 18%	998.65
Total, presupuesto	6,546.71

Fuente: Elaboración propia

2.5. Método indirecto

2.5.1. Fotogrametría

La Fotogrametría es, “el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”.

(Davalos Gonzales)

La fotogrametría se utiliza desde hace más 100 años atrás para la elaboración de cartografía general o topográfica, en escalas medias e incluso grandes. Estas desarrollaron metodologías que permiten realizar levantamientos tridimensionales de grandes extensiones de terreno alcanzando precisiones bastante aceptables en función de la escala de trabajo como 1/500 000, 1/100 000. (Cheli, 2011)

Con la existencia de diferentes sensores ubicados en el espacio, como los satélites artificiales o sondas, dio origen a la teledetección, y ésta es empleada como complemento orientado a un sin número de estudios en distintos ámbitos de la ciencia: geología, recursos pesqueros, oceanografía, hidrografía, hidrología, climatología, estimación de cosechas, salud de las plantas, control de plagas, censo de animales silvestres, diferentes usos del suelo, control territorial, planificación urbana, etc. (Chuvienco, 1990)

2.5.2. Fotogrametría con aeronaves pilotadas a distancia RPA

La fotogrametría trata sobre la adquisición de datos desde sensores instalados en plataformas espaciales o volantes que posteriormente serán sometidas a un tratamiento para obtener información sobre nuestro entorno. En síntesis, se trata de observar algo “a distancia” (tele) y a través de un medio entre el objeto y el sensor.

Los drones por su versatilidad nos permiten planificar y trazar convenientemente misiones de vuelo a diferentes escalas, y levantar rápidamente el área de interés con fotografías alta resolución. (Davalos Gonzales)

En función a la cobertura y la resolución, podemos ubicar a la tecnología RPA por encima de los levantamientos topográficos convencionales con GNSS, y por debajo de los aviones tripulados y satélites artificiales que orbitan la tierra, con los cuales también es posible realizar fotogrametría.

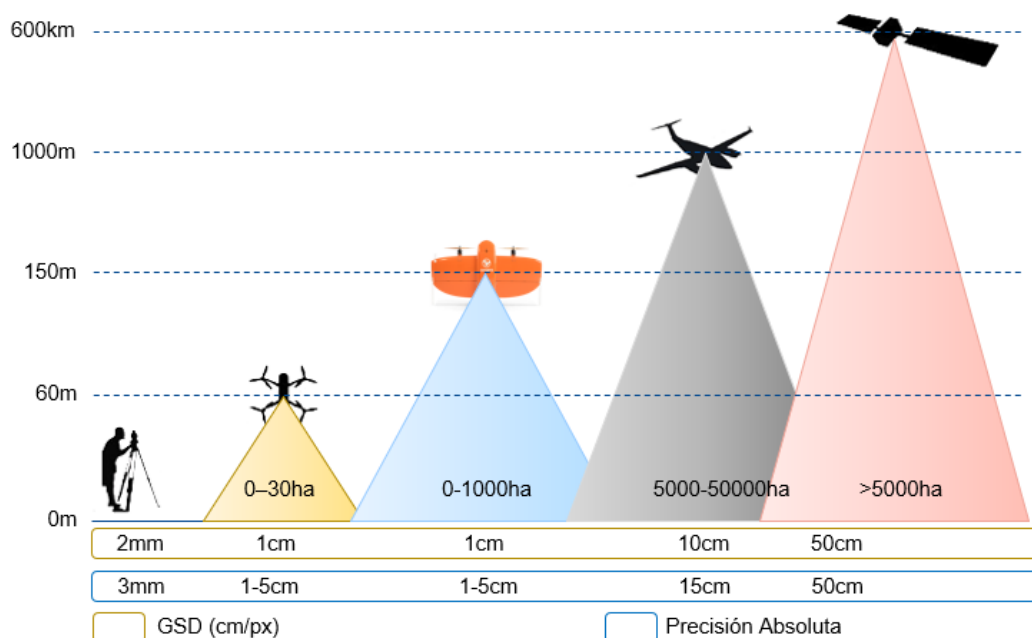


Figura 11. Ubicación de los RPA en la teledetección

Fuente: Elaboración propia

2.5.3. Tipos de RPAs para fotogrametría

Los RPA o más conocidos como drones, han cambiado en pocos años la manera que tenemos de ver el mundo gracias a sus fotografías y vídeos de paisajes increíbles; durante los próximos años se estima que viviremos una revolución aún mayor por parte de los drones.

Estos vehículos aéreos no tripulados han logrado gran popularidad en los últimos años, hasta el punto de ser elementos indispensables en diversas investigaciones y que serían prácticamente imposible sin la existencia de estos, por lo tanto, podemos según la forma de sus alas y capacidad de vuelo.

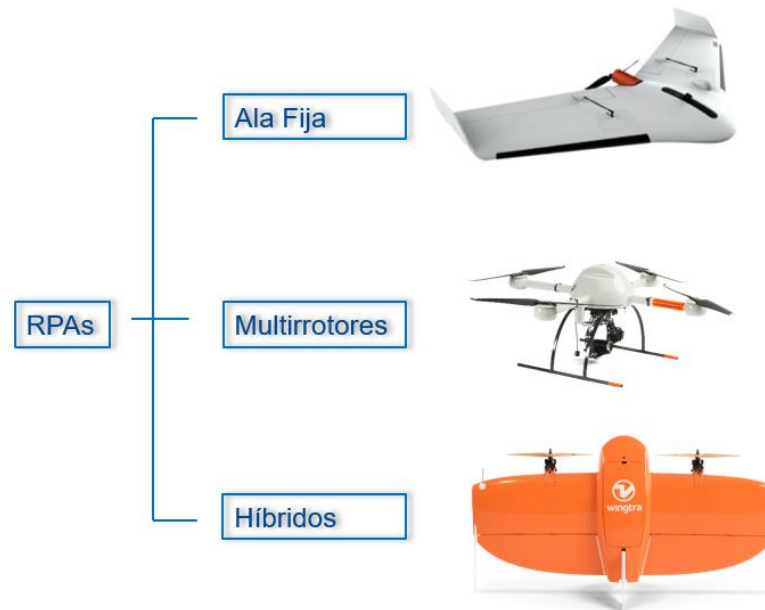


Figura 12. Tipos de RPAs

Fuente: Elaboración propia

2.5.3.1. RPA de ala fija

Los RPA de ala fija presentan un diseño similar al de un avión, pero de pequeñas dimensiones, el cual es una gran ventaja ya que hace posible un excelente desempeño aerodinámico que incrementa su autonomía de vuelo de hasta 59min. Se debe a su diseño y la mínima resistencia que ofrece el aire durante el vuelo. Estos drones están orientados básicamente para sobrevolar áreas de gran envergadura, de hasta 1200ha. Por vuelo, áreas relativamente planas o relieve no muy accidentado, tienen buena estabilidad durante el vuelo, alcanzan los 110 km/h en velocidad crucero, los aterrizajes suelen ser un poco aparatosos si no se cuenta con área adecuada.

2.5.3.2. RPA multirrotores

Los RPA multirrotores o de ala rotatoria, son aquellos que tienen al menos dos hélices helicóptero, cuatro hélices cuadricóptero, seis hélices hexacóptero y ocho hélices octocóptero; Estos son el tipo de drones más comunes, por su facilidad para volar, dimensiones pequeñas, fácil transporte y bajo costo.

La autonomía de estos drones generalmente no supera los 30 minutos de vuelo, están más orientados para registrar información audiovisual, pero también existen algunos modelos diseñados específicamente para realizar fotogrametría profesional, sus principales limitantes son: poca resistencia a la velocidad del viento y baja velocidad durante el vuelo, por tanto, el área a cubrir durante una misión será de entre 20 – 60 Ha. (Wingtra, 2018)

La ventaja más importante de los multirrotores radica en el despegue y aterrizaje vertical, ya que esta opción les permite volar casi en cualquier entorno y hasta es posible volar durante la noche.

2.5.3.3. RPA híbridos

Los RPA híbridos son una mezcla de los drones de ala fija y los multirrotores, es de suponer que despegue y aterrizaje como un multirrotores, pero vuela como un avión, una de las ventajas es su gran autonomía durante el vuelo y su precisión al momento del aterrizaje, son capaces de llevar cámaras de gran resolución además de estar equipados con diferentes tipos de receptores GNSS. Para la presente investigación se utilizó un RPA híbrido de fabricación suiza, marca Wingtra modelo WingtraOne. (Wingtra, 2018)

Para realizar la presente investigación y alcanzar los objetivos planteados, se eligió el RPA más adecuado en función a sus características técnicas (tabla 6) Este dron debe adaptarse a un amplio espectro de aplicaciones sin comprometer su integridad, siendo especialmente deseable para levantamientos topográficos a gran altura, por encima de los 4000 msnm. Además de realizar vuelos en espacios reducidos.

A continuación, podemos observar un cuadro comparativo de las características técnicas de cada RPA disponible en el mercado y finalmente se eligió el modelo WingtraOne por contar con un sensor (cámara) de 42mpx y por su capacidad de despegue y aterrizaje vertical (VTOL).

Tabla 6.

Comparación de las características técnicas de los RPA

Drones	UX11	UX5 HP	eBee X	Phantom 4	WingtraOne
Tipo de sensor (mpx)	21.4	36.0	24.0	20.0	42.0
Techo de vuelo (msnm)	6000	5000	5000	5000	5000
Tiempo de vuelo (min)	59	59	59	30	59
Despegue y aterrizaje	belly	belly	belly	vertical	vertical
Velocidad crucero (Km/h)	54	85	60	40	57
Temperatura (°C)	-20 a 45	-20 a 45	-10 a 40	0 a 40	-20 a 50
Resistencia al viento (km/h)	45	55	45	45	46
Resolución Max GSD (cm)	1.7	1.0	1.5	2.0	0.7
Peso (kg)	1.5	2.5	1.4	1.4	3.7
Estructura	foam	foam	foam	pet	epo foam
Señales rastreadas	GNSS	GNSS	GNSS	GNSS	GNSS
Rango de alcance (Km)	5	5	3	2.5	8

Fuente: Elaboración propia

2.5.4. WingtraOne VTOL – PPK

El WingtraOne es una aeronave no tripulada VTOL. Se refiere a un vehículo aéreo pilotado a distancia, con despegue y aterrizaje vertical, con capacidad de volar tan lejos y con gran estabilidad como un avión de ala fija.

Por sus cualidades, esta fue la aeronave escogida para realizar la presente investigación.

El RPA WingtraOne, tras el despegue vertical, a unos 50mts. De altura realiza una transición a un vuelo de crucero hacia el frente convirtiéndose en un RPA de ala fija, es en este modo de vuelo que el dron realizara el mapeo de la zona de interés y una vez concluido la misión, antes de aterrizar, el dron cambia el modo de vuelo, y empieza a descender en forma vertical, en este momento utilizara los sensores infrarrojos para regular la proximidad al suelo y realizar un aterrizaje exitoso, esto le permite al dron maniobrar en áreas muy reducidas. Además de garantizar la seguridad de la aeronave, del piloto y los sensores que lleva a bordo. (Wingtra, 2018)



Figura 13. RPA WingtraOne

Fuente: Elaboración propia

Dicha aeronave seguirá la trayectoria pre programada desde el despegue, durante el vuelo y aterrizaje. Durante el vuelo el RPA no requiere ninguna intervención humana, salvo en casos de emergencia podemos cambiar al modo manual y tomar control de la aeronave.

Todas las imágenes capturadas a lo largo de las líneas de vuelo a una altura de 70mts. Estarán georreferenciadas gracias a la antena GNSS L1/L2 y al IMU incorporado en el dron y con capacidad de realizar post proceso cinemático PPK y referidas a un marco de referencia local o global.

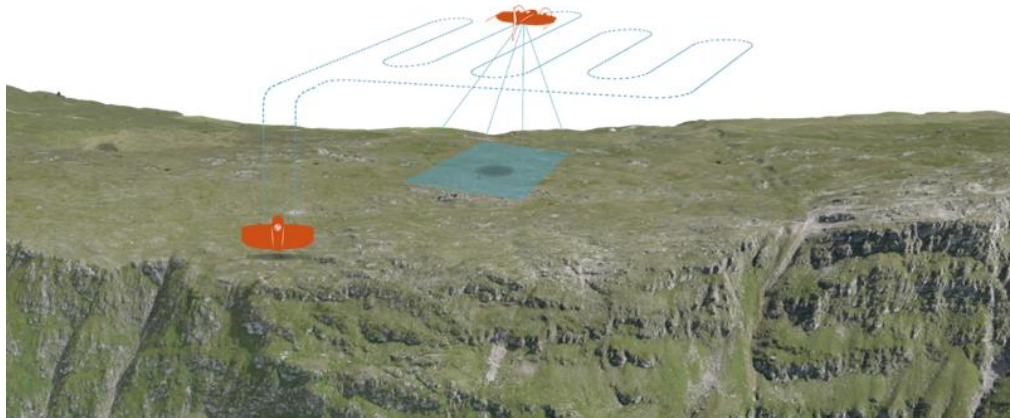


Figura 14. Despegue, misión y aterrizaje del RPA WingtraOne.

Fuente: www.wingtra.com

2.5.5. Precisiones de los levantamientos fotogramétricos

Debido las mejoras y cambios que presenta esta técnica frente a la convencional, también se incrementa el nivel de exigencia, y estará acorde a la evolución de la tecnología. (Ministerio de Agricultura, 2014)

ESCALA DEL PLANO	VERIFICACION DEL PLANO EN TERRENO (90% de los puntos verificados presentarán un error menor o igual que)	
	ALTIMET. (m)	PLANIMET. (m)
1:500 Curvas c/0,5 m	0,17	0,17
1:1.000 Curvas c/1,0 m	0,33	0,33
1:2.000 Curvas c/2,0 m	0,67	0,67
1:5.000 Curvas c/5,0 m	1,67	1,67
1:10.000 Curvas c/10,0 m	3,33	3,33
1:20.000 Curvas c/20,0 m	6,67	6,67

Figura 15. Precisión de los levantamientos fotogramétricos

Fuente: Manual de procedimientos geodésicos y topográficos

2.6. Trabajos de campo con RPA

Una vez seleccionada el área a sobre volar con el RPA se procede a distribuir los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF) los cuales serán levantados en modo tiempo real con un receptor GNSS, Esta labor se deberá realizar antes del vuelo. (Wingtra, 2018)

2.6.1. Comprobación del clima

- Para obtener pronósticos meteorológicos más precisos, hoy en día existen muchas opciones, podemos visitar diferentes sitios web o descargar aplicaciones dedicadas al pronóstico del clima, en función a nuestra ubicación geográfica.
- Es importante asegurarse que las condiciones climáticas estén dentro de los límites permisibles recomendados por el fabricante del RPA

- El rendimiento del RPA fue probado en condiciones medioambientales ideales a nivel del mar, por lo tanto, en otras condiciones su comportamiento distará mucho de lo esperado.
- En un vuelo a gran altura es importante considerar -15% la duración de la batería, ya que los cambios bruscos de temperatura afectarán directamente.
- Evitar en lo posible interferencias, zonas con altos niveles de electromagnetismo, sub estaciones eléctricas, y torres de radiotransmisión.
- Si alguna condición no satisface el rango permisible indicado por el fabricante, el piloto deberá cancelar la misión.



Figura 16. Revisar los pronósticos meteorológicos antes de volar.

Fuente: Elaboración propia

2.6.2. Consideraciones del plan de vuelo

Cuando realizamos la planificación de vuelo sobre un terreno con geomorfología irregular con muchas variaciones de altura, las misiones de vuelo se realizarán de 3 formas diferentes, como se muestra a continuación. (Davalos Gonzales)

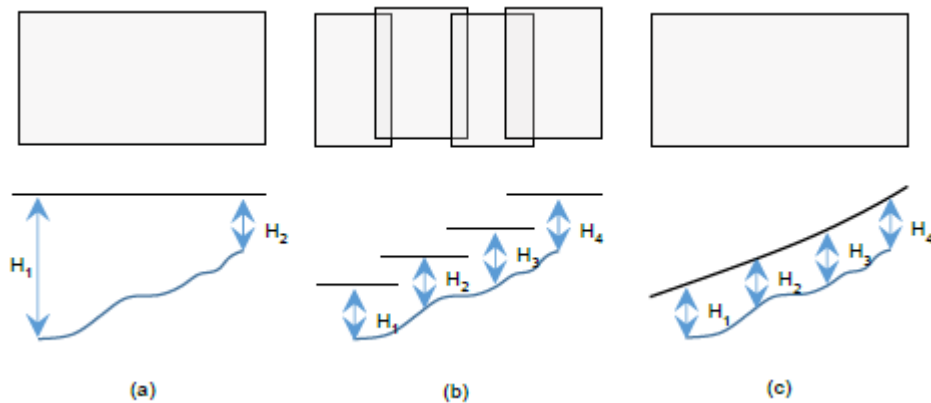


Figura 17. Planificación para adquisición de fotografías en terrenos con variación del relieve

Fuente: Emilio Chuvieco

- a. Realizando una misión a una altura constante sin considerar la diferencia de altitud del relieve topográfico (Figura 17a). Como consecuencia de la diferencia de altura entre la aeronave y el terreno, se obtendrá un GSD variable y por lo tanto las precisiones serán diferentes en el levantamiento; mientras menos distancia del relieve al RPA tendremos mayor precisión y cuando exista mayor distancia entre estos la precisión disminuirá.
- b. Realizando un vuelo escalonado a diferentes alturas (Figura 17b). estos se realizarán en varias misiones tomando en cuenta que las líneas de vuelo deben ser perpendiculares a la pendiente del área de interés; es importante programar los vuelos con un traslape de 70% o superior, en estos casos el GSD mantendrá una ligera homogeneidad ya que no existe demasiada diferencia de altura entre los diferentes vuelos.
- c. De las tres clases de planificación de misiones de vuelo, este tipo es el más indicado para realizar los levantamientos fotogramétricos con RPA, ya que la aeronave sobrevuela en función el relieve topográfico (Figura 17c). y mantendrá un

GSD constante y como consecuencia las precisiones del levantamiento serán uniformes lo que conlleva a un buen resultado.

2.6.3. Escala de la fotografía

La elección de la escala de la fotografía (EF) es entonces función de la escala de representación (escala del plano a representar) y del tamaño de los objetos que se pretenden detectar, según la fotogrametría analógica y analítica, viene dada según el ábaco de la siguiente figura. (Quiroz, 2014)

$$E_F = \frac{1}{m_b} = \frac{f_c}{H}$$

Ecuación 1. Escala de la fotografía

Fuente: Quiroz Rozado

f_c = distancia principal o distancia focal de la cámara.

H = altura de vuelo sobre el terreno.

m_b = Escala de la fotografía.

En un perfil de un relieve topográfico ondulado existirán infinitos valores de escala. Entonces, al referirnos a la escala de un fotograma, nos referimos al valor promedio, respecto a un plano de referencia, elegido con criterio de que se encuentre equidistante, entre el plano tangente a puntos más elevados y los valles más profundos existentes en el terreno

En estos es necesario calcular la escala de una imagen digital (EFD) en función de un parámetro interno de la cámara fotográfica conocido como tamaño del pixel (medido en micrómetros), según la siguiente expresión:

$$E_{FD} = \frac{1}{m_b} = \frac{1}{(GSD \div T_p) \times 10^4} = \frac{T_p}{GSD} \times 10^{-4}$$

Ecuación 2. Imagen Fotográfica Digital

Fuente: Quiroz Rosado

T_p = Tamaño del pixel (μm).

GSD = Representación del pixel en el terreno (cm).

m_b = Escala de la fotografía.

2.6.4. Resolución de píxel GSD y altura de vuelo

GSD (Ground Sample Distance) es la distancia que representa en el terreno el valor de cada pixel, por ejemplo, si el valor GSD = 2.0cm quiere decir que cada pixel mide 2.0cm en el terreno. El valor GSD es una variable muy importante al momento de planificar los vuelos ya que de este depende la altura de vuelo y la resolución de las imágenes, cuanto más pequeño sea la resolución del pixel, mayor detalle tendrán las imágenes y por consiguiente mayor resolución en la orto foto. Cuando más bajo vuele el dron, la resolución del GSD será mayor. (Chuvienco, 1990)

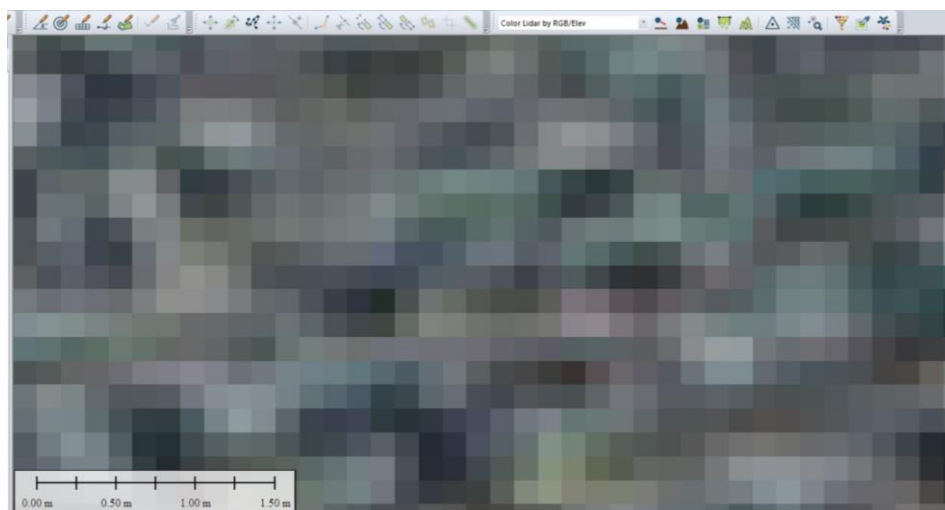


Figura 18. Representación del GSD en el terreno

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.

Resolución por pixel

Altura de vuelo	Resolución por pixel
54 m	0.7 cm/px
100 m	1.3 cm/px
300 m	3.9 cm/px
800 m	10 cm/px

Nota. El valor en el campo GSD determina la altura por defecto que se utiliza para los vuelos dentro de dicha misión. Por ejemplo, si introduce 3,2 cm en el campo GSD la aeronave no tripulada volará a 100 m. Fuente. Wingtra

2.6.5. Planificación del vuelo con RPA

La planificación de un vuelo se define en función a las exigencias de la escala, finalidad del trabajo. En este paso se debe tomar en cuenta ciertos parámetros de corrección, como: traslape, altura de vuelo y resolución de la imagen. (Wingtra, 2018)

El software Wingtra Pilot estima el tiempo de vuelo total que se necesita para cubrir el área de la misión, a través de sencillas relaciones geométricas se realiza el cálculo de los elementos que conforman el plan de vuelo.

- Cantidad de líneas de vuelo (Pasadas) y el número de fotografías que se requieren en cada uno de estas.
- Porcentaje de recubrimiento lateral y transversal.
- Distancias entre el centro de las fotos.
- Resolución de las imágenes y o altura de vuelo del RPA.

Para cada vuelo, el piloto identificara la dirección del viento, altura de vuelo, la ubicación del área de despegue y aterrizaje, en función a estos parámetros el software re-calcula el tiempo de vuelo en campo.

A continuación, se completa la lista de verificación o check list pre vuelo, de tal forma aseguraremos que el RPA se encuentra listo para despegar.

a. En oficina (antes del vuelo)

- Identificación de la zona el google earth (en este paso se definirá que modelo de RPA se utilizara y si es viable o no el proyecto, en función a la escala requerida y a la geomorfología del lugar)
- Especificaciones del proyecto
- Cuál es el marco de referencia horizontal (datum horizontal)
- Cual es al marco de referencia vertical (datum vertical)
- Cuál es el GSD o resolución de la orto foto
- Cuál es la precisión horizontal y vertical
- Planificación de la misión de vuelo
- Calcular y en cuantos vuelos se completará la misión

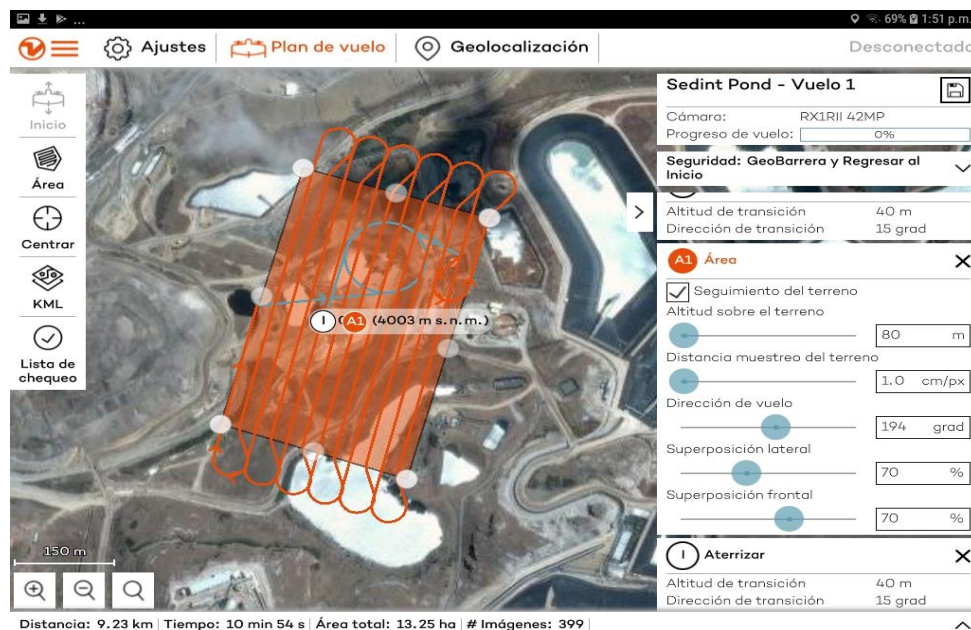


Figura 19. Planificación de la misión de vuelo, software WingtraPilot

Fuente: Elaboración propia

b. En campo (Antes del vuelo)

- Distribución y georreferenciación de los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF)
- Verificar la dirección del viento, temperatura y condiciones de luz. Las condiciones de luz influyen directamente en la calidad de las imágenes.
- Configurar parámetros de la cámara de acuerdo a las condiciones climáticas, soleado, nublado, o la superficie sobre la que se volara.
- Ubicación del despegue y aterrizaje

c. En campo (Durante el vuelo)

Durante el vuelo es importante monitorear lo siguiente:

- Porcentaje de batería
- Velocidad crucero.
- Potencia del motor de la aeronave
- Altura a la que está volando
- Distancia al punto de aterrizaje
- Verificar comandos de emergencia
- Conexión de telemetría

d. En campo (después del vuelo)

- Comprobación de la integridad de los datos
- Descargar las imágenes de la cámara
- Revisar la cantidad de imágenes

e. En oficina (después del vuelo – post proceso)

- Software de fotogrametría
- Imágenes georreferenciadas

2.6.6. Control de vuelo

Mediante una tableta que contiene el software WingtraPilot podemos monitorear, editar o abortar el vuelo. Es crucial mantener contacto visual y conexión de telemetría en todo momento, además de verificar en el software de vuelo el porcentaje de la batería, velocidad del viento, altura de vuelo, cantidad de satélites y tiempo transcurrido de la misión. Durante el vuelo no existe intervención humana a menos que el usuario lo desee o se presente una emergencia. (Wingtra, 2018)

Una vez concluida la misión el RPA iniciara la secuencia de aterrizaje automático, y aterrizará en un punto seleccionado por el piloto; Una vez con la aeronave en tierra, procedemos a desactivar el autopiloto e iniciaremos el proceso de descarga de imágenes y logs del vuelo.

Precaución – Es responsabilidad del piloto ejecutar maniobras arriesgadas y diseñar planes de vuelo poco seguros, exponiendo la seguridad del RPA y las personas involucradas.

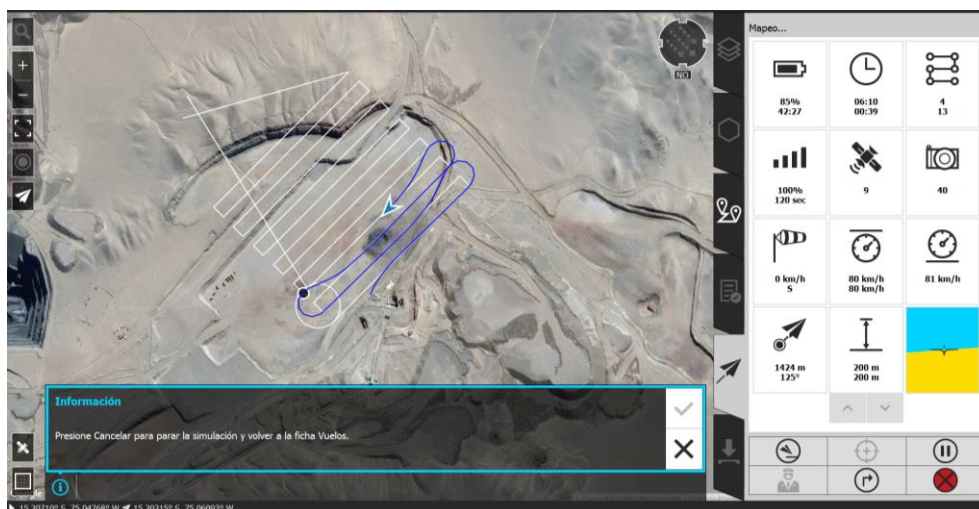


Figura 20. Monitoreo del RPA durante el vuelo, software WingtraPilot

Fuente: Elaboración propia

2.6.7. Overlap

El traslape de imágenes puede variar según las solicitudes de los resultados, puede variar entre 60% y 85%.

Un traslape alto resultara en:

- Buena precisión
- Mayor cantidad de líneas de vuelo
- Mayor cantidad de imágenes a procesar
- Mayor tiempo de procesamiento
- Mayor duración del vuelo
- Archivos sumamente pesados hasta llegar a sobrecargar las computadoras
- Es importante seleccionar el traslape adecuado en función a la resolución y la precisión requerida.

Para esta investigación el traslape frontal fue de 80% y lateral de 70% obteniendo 363 imágenes de alta resolución y 111.332.366 millones de puntos, la equidistancia entre punto y punto es de 0.02cm tras en procesamiento.

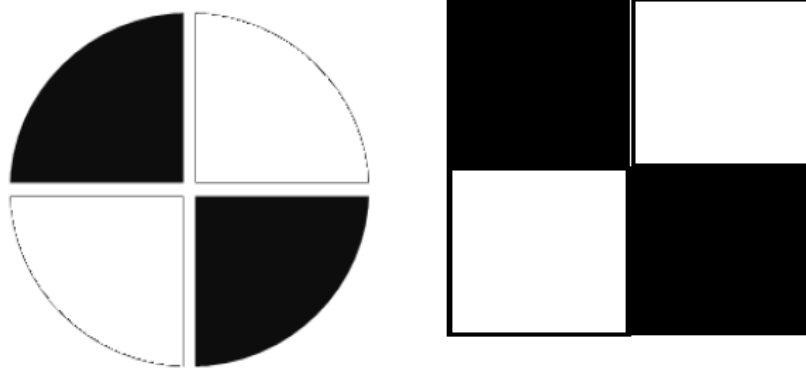
2.6.8. Puntos de apoyo fotogramétrico (PAF)

Los puntos de apoyo o (PAF) son marcas foto identificables pre establecidos antes del vuelo y distribuidas estratégicamente dentro del área de interés. Tomando como base un punto de control de orden “C” y utilizando receptores GNSS diferenciales en modo RTK se procede a posicionar los puntos de control PAF. (Davalos Gonzales)

En esta técnica el equipo de trabajo mínimo es de dos receptores GNSS (Base y Móvil), estos se comunicarán mediante frecuencias de radio o vía internet en el caso de una Base COORS. Estos receptores GNSS son controlados mediante un colector de datos con un software capaz de procesar, analizar y visualizar los datos. Los

puntos de foto control deben tener una precisión subcentimétrica. Esto es una tarea muy complicada alcanzar si no se cuenta con receptores GNSS de alta precisión.

(Chuvieco, 1990)



*Figura 21.*Tipos de marca utilizadas como PAF

Fuente: www.trimble.com

2.6.9. Ubicación de los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF)

Con respecto a la ubicación de los puntos de control o puntos de apoyo, se realiza a partir de una vista satelital del terreno, considerando sitios fácilmente identificables y con una distribución equidistante y tomando en cuenta la diferencia de nivel en el área del proyecto. En algunos casos debido a la antigüedad de las imágenes satelitales será necesario realizar una previa inspección visual del terreno con el fin de evaluar su factibilidad y seleccionar aquellas locaciones que brinden mejores resultados. (Chuvieco, 1990)

La elección de puntos de apoyo se hace tomando en cuenta los siguientes criterios:

- El detalle planimétrico deberá ser perfectamente identificable en las fotos.
- Los puntos se elegirán dentro de la zona marcada en el plan de vuelo de modo que estén distribuidos de forma homogénea en el área de interés, con

la finalidad de que cumplan los requisitos para la realización de la orientación absoluta del modelo.

- Es conveniente ubicar los puntos sobre un suelo estable, lo más horizontal posible, evitando detalles que se presten a una mala puntería estereoscópica.
- No incluir las marcas en los vértices del área del proyecto ya que serán visibles en pocas imágenes.
- Cada PAF debe ser identificable en al menos 5 imágenes, este proceso redundante incrementará la precisión que se genera al momento de incluir un PAF.
- En múltiples misiones, deberán incluirse PAFs en común de los vuelos para poder unificar el proyecto.

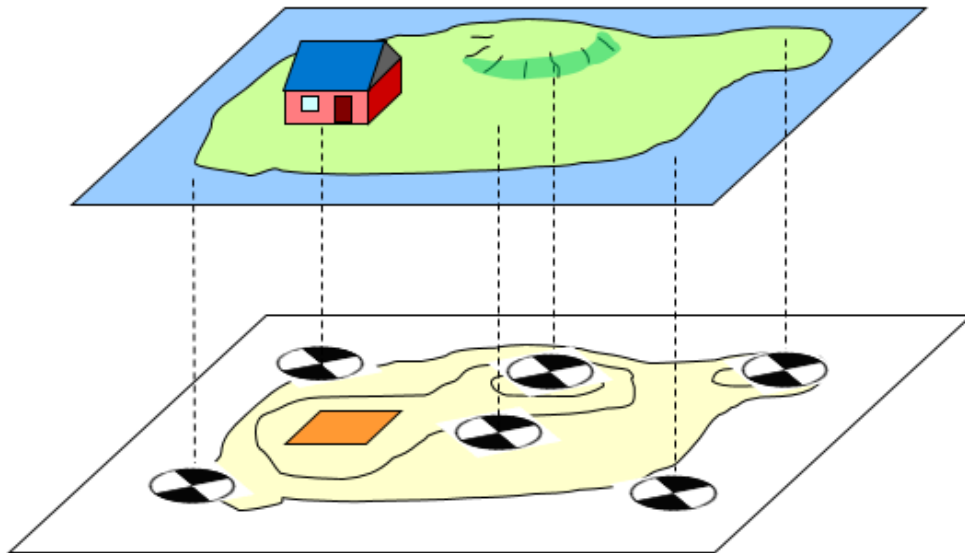


Figura 22. Distribución de los PAF

Fuente: www.trimble.com

2.6.10. Colocación de los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF)

Mediante replanteo se estima la posición propuesta para el punto. Una vez confirmada la utilidad y validación se coloca una estaca, marca de lona, yeso, pintura u otro elemento que sea foto identificable. Estas marcas se fijarán al terreno restringiendo su movimiento horizontal o vertical. Posteriormente se posiciona el receptor GNSS en el centro de la marca, se verifica la verticalidad, recepción de satélites, PDOP, recepción de correcciones de radio y se procede a medir las coordenadas, estos datos corresponderán al centro de la marca o estaca. Estas coordenadas en adelante se convertirán en el pilar fundamental para realizar el post proceso y alcanzar la precisión esperada, ya que nos servirán para escalar y georeferenciar la orto foto. (Fabian, 2018)



Figura 23. Punto de apoyo fotogramétrico PAF

Fuente: Elaboración propia

2.6.11. Características de un RPA para fotogrametría

Las especificaciones técnicas que debe cumplir un RPA enfocado a fotogrametría, varían mucho de acuerdo al tipo de aeronave, cada modelo de aeronave está diseñada a cierto tipo de trabajo, por lo tanto, no todos los RPA son capaces de volar a gran altitud y realizar fotogrametría de precisión. Los límites operativos que debe cumplir un RPA para realizar un vuelo seguro a gran altitud, se determinan según sus especificaciones técnicas utilizando las condiciones de la Atmósfera Estándar Internacional (ISA, por sus siglas en inglés). A continuación, mostramos algunos de los rangos aceptables. (Davalos Gonzales)

Tabla 8.

Condiciones de operación de un RPA

Especificaciones de vuelo	Rango aceptable
Resistencia al viento	65 k/h
Altitud	5000 m.s.n.m.
Tipo de vuelo	Manual / Autónomo
Limitaciones climáticas	Lluvia ligera
Tipo de batería	Polímero de litio
Temperatura	-20°C + 45°C
Altura de vuelo	750m AGL
Resolución del Sensor	42mpx
Tiempo de vuelo	59 min ²
Rango de vuelo	65km
Velocidad Crucero	85 km/h
Traslape	60% 90%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.

Estructura del RPA

Estructura del RPA	Valor
Tipo	VTOL (despegue y aterrizaje vertical)
Estándares	MIL-STD-810F
IP	56
Peso	Máximo 8 kg.
Rastreo de satélites	GPS y Glonass
Sensores de proximidad	Si
Estructura	Fibra de Carbono, EPO Foam
Propulsión	Motor eléctrico
Material de hélices	Fibra de carbono

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.

Características de la cámara

Característica	Valor
Memoria Extraíble	SD 64GB (Mínimo)
Estabilización de Imagen	SI
Enfoque	Automático
Lente	Fijo y/o Intercambiable
Batería	Recargable para 310 disparos aprox.
Compatibilidad	Debe ser compatible con el RPA
Grabación de video	En formatos estándares
Resolución	Mayor a 24 Megapíxeles
Conectividad	Wifi, Entrada USB

Fuente: Elaboración propia

2.6.12. Límites operativos

El WingtraOne no es capaz de volar de forma segura en todas las condiciones climáticas. La siguiente tabla nos muestra los parámetros aceptables para realizar un vuelo exitoso y seguro en diferentes condiciones. (Wingtra, 2018)

Tabla 11

Limites Operativos el RPA WingtraOne

Condiciones de operación	Rango aceptable
Tiempo	Después del amanecer y antes del atardecer
Distancia respecto a las nubes	Sin nubes y siempre manteniendo contacto visual.
Visibilidad del vuelo	5000 mts.
Limitaciones climáticas	Evite en todo momento: neblina, granizo, ráfagas de viento superiores a 46km/h. Lluvia intensa y nieve

Fuente. www.wingtra.com

2.7. Post procesamiento de Imágenes

En esta etapa realizaremos el procesamiento de imágenes con la ayuda de softwares fotogramétricos, los cuales están preparados con algoritmos especializados para realizar el tratamiento de imágenes digitales, integrando las desviaciones yaw, pitch, roll y los puntos de apoyo fotogramétrico, para la obtención de un modelo tridimensional georreferenciado, un mosaico orto rectificado y una nube de puntos de alta densidad. Actualmente existe una variedad de programas especializados capaces de realizar procesamientos fotogramétricos y el posterior tratamiento de estos, creando una nube de puntos con coordenadas x, y, z, un modelo digital del terreno y composición de una ortoimagen georreferenciada. Programas como UASMaster, Trimble Business Center (TBC) o Agisoft Photoscan se encargan de generar un modelo con el conjunto de los datos obtenidos. (Fabian, 2018)

2.7.1. Ajuste con puntos de enlace

Es el primer paso en el procesamiento, en el que el software analiza automáticamente las imágenes y la similitud de píxeles en común, para luego relacionarlas y orientarlas entre sí. Adicionalmente las georreferencia con el terreno en función a sus posiciones GNSS cuando se capturaron las imágenes durante el vuelo. Este proceso de aero triangulación ajusta y corrige las imágenes, mucho dependerá de la geo etiqueta, en este caso las posiciones de las imágenes ya fueron corregidas y contienen información geoespacial fiable con una precisión de ± 0.02 mts. (Cheli, 2011)

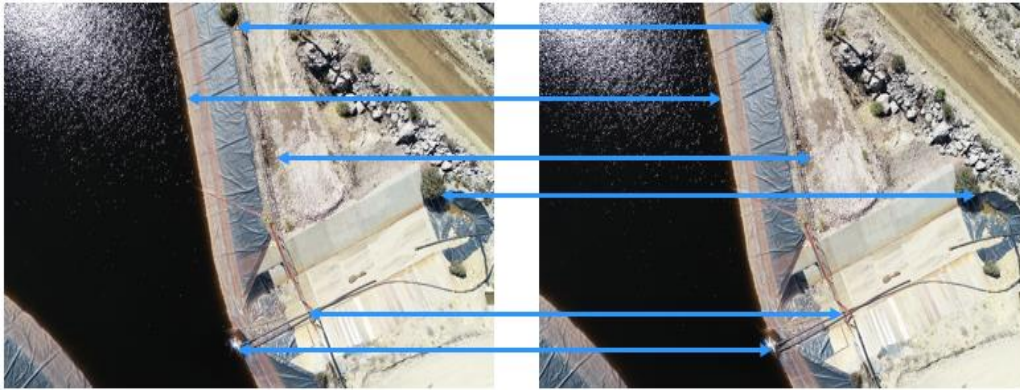


Figura 24. Puntos de enlace

Fuente: Elaboración propia

2.7.2. Aerotriangulación

La aerotriangulación consiste en posicionar la mayor cantidad posible de puntos del terreno, mediante procesos fotogramétricos en oficina, minimizando el trabajo en campo, este proceso consiste en escalar y georreferenciar el modelo estereoscópico, no obstante, necesita apoyarse en puntos con coordenadas conocidas. Este proceso no solo reduce la cantidad de GCP, sino también mejora la precisión, ya que no existe la limitante de ubicar puntos de control en zonas inaccesibles. (Cheli, 2011)

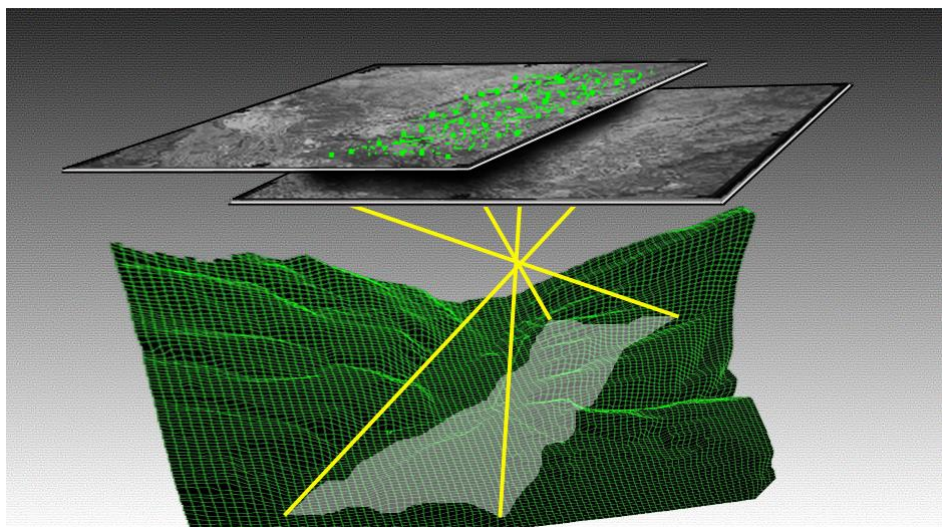


Figura 25. Generación de nube de puntos

Fuente: www.trimble.com

2.7.3. Ajuste con puntos de control

Para que un vuelo esté relacionado directamente con el terreno, es necesario la georreferenciación precisa con puntos de control o puntos de apoyo fotogramétrico cuya posición estará referida a un sistema de coordenadas (X, Y, Z)

En términos generales es recomendable colocar los PAF para hacer un proyecto más preciso y estable. El número mínimo de puntos de apoyo fotogramétrico está dado por la siguiente ecuación además dependerá directamente de la geomorfología del área de interés y la precisión solicitada. (Chuvieco, 1990)

Si $N = 1 \rightarrow$ mínimo de 3 GCPs

Si $N = 2 \rightarrow$ mínimo de 6 GCPs

Si $N = 3 \rightarrow$ mínimo de 10 GCPs

$$N^{\circ} \text{ mínimo} = (N + 1) (N + 2) / 2$$

Ecuación 3. Cantidad mínima de GCP

Fuente: Emilio Chuvieco

En cualquier caso, es recomendable tomar muchos más puntos de apoyo fotogramétrico.

Teniendo en cuenta la cantidad mínima de GCPs es (4) para proyectos pequeños, es importante considerar más puntos en proyectos de mayor envergadura, ya que en el proceso de restitución existe la posibilidad que un punto o más tengan algún error.

Un punto de control GCP no debe ser más preciso que la décima 1/10 parte del GSD. Por ejemplo, si el GSD es de 10cm, la precisión de las GCPs no debe ser inferior a 1cm. Esto es importante ya que estos no podrán ser remarcados en las imágenes con dicha precisión. (Chuvienco, 1990)

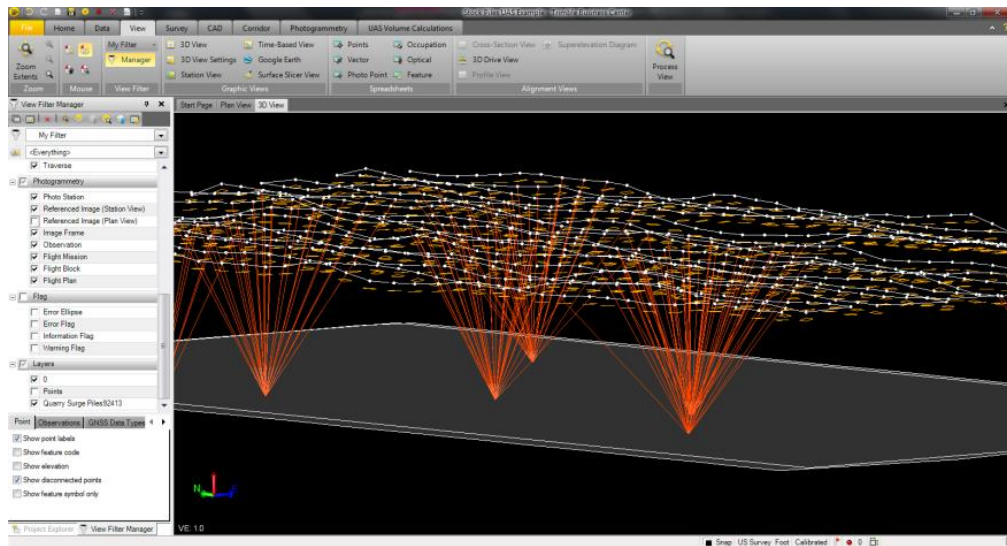


Figura 26. Fotografías aéreas enlazadas a los PAF, software Trimble business center

Fuente: Elaboración propia

2.7.4. Software de fotogrametría Agisoft Metashape

Agisoft metashape, actualmente posicionado en el mercado como uno de los más usados, presenta un flujo de trabajo sencillo, dinámico y fácil de usar. Orientado a profesionales que recién se inician en este campo, cuenta con herramientas altamente eficientes, como: generación de curvas de nivel, filtrado de vegetación, crea imagen teselas, enmascara objetos que nos son parte de la superficie y sus entregables son bastante profesionales. Este software, por su ligereza y velocidad de procesamiento, no demanda de un súper computador al momento de realizar los procesos, ya que no abarca demasiado espacio en la memoria y sus procesos son rápidos.

La última versión disponible es la V: 4.1 y tiene un costo de 3000 dólares americanos aproximadamente. (Agisoft Metashape, 2019)

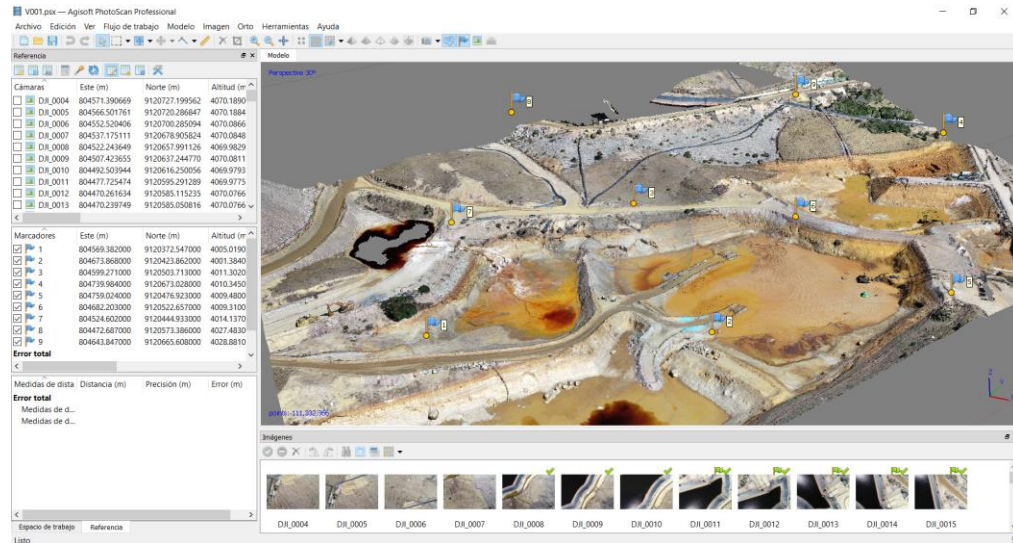


Figura 27. Entorno software Agisoft Metashape

Fuente: Elaboración propia

2.8. Archivos de salida a partir de fotogrametría con RPA

2.8.1. Ortomosaico

Generalmente suelen ser archivos muy pesados, gracias los diferentes formatos de intercambio esta información se torna más manejable. Uno de los formatos más utilizados es la extensión .TIFF que es un tipo de archivo que permite el intercambio de información de bandas espectrales georreferenciadas, esta información podría incluir sistemas proyectados, elipsoides, datum, y toda la información geoespacial necesaria para que la imagen pueda ser manejada en cualquier software especializado. (Chuvieco, 1990)

La presente orto imagen está compuesta por 3 bandas espectrales RGB (rojo, verde y azul) que van desde los 0.3 μ m. a 0.7 μ m. del espectro electromagnético. Este tipo de archivos puede ser leído en diferentes softwares como: Global Mapper, ArcGIS, Quantum GIS y AutoCAD raster.

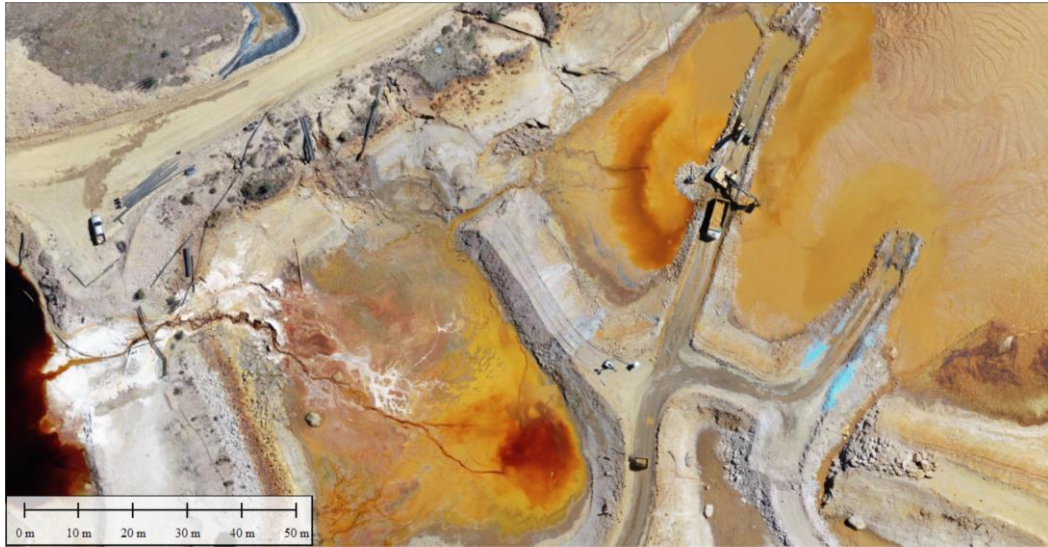


Figura 28. Ortofoto del área de estudio, software global mapper

Fuente: Elaboración propia

2.8.2. Nube de puntos

Las nubes de puntos son el resultado del procesamiento de imágenes, este tipo de archivo contiene información vectorial georreferenciada, además de llevar consigo un color asociado según su intensidad reflectante. El formato más frecuente para el intercambio de información de nubes de puntos generadas a partir de imágenes es el .LAS se refiere a un archivo binario que contiene información X, Y, Z para cada punto, permitiéndonos visualizar en cualquier software capaz de reconocer esta extensión. (Quiroz, 2014)

La nube de puntos, es un tipo de información con alto detalle y capaz de clasificar los puntos dependiendo de su intensidad reflectante o pulso electromagnético.

A partir de la nube de puntos clasificada sólo con los puntos de terreno o suelo desnudo podemos generar un sólido tridimensional, que será la fiel representación de la superficie terrestre.

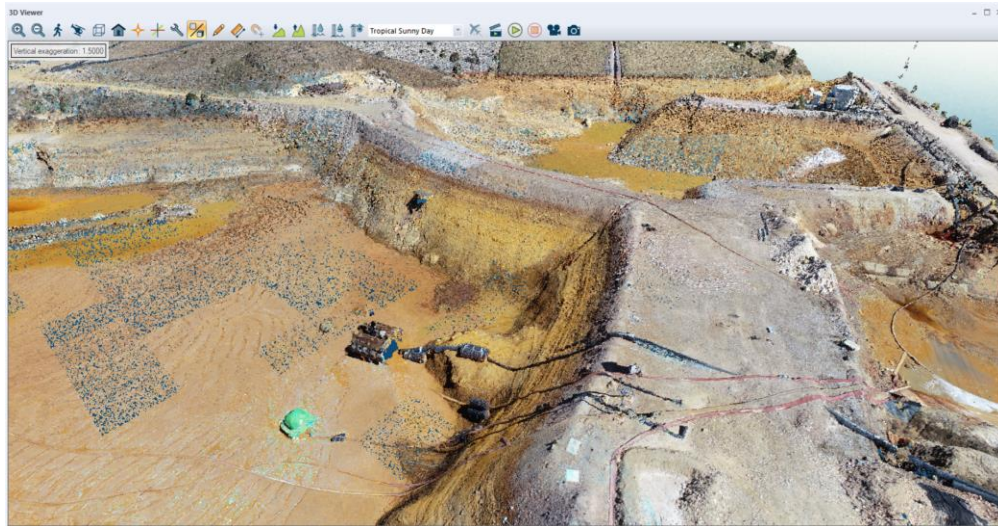


Figura 29. Nube de puntos, software Aguisoft Metashape

Fuente: Elaboración propia

2.8.3. Modelo digital de terreno MDT

DMT es el conjunto de capas tridimensionales que representan diferentes características del terreno, generalmente provienen del modelo digital de elevación. Este tipo de archivos constituye la base para un sin fin de aplicaciones, generalmente la generación de curvas de nivel del terreno, contiene información georreferenciada referido a coordenadas X, Y, Z, incluye en su información elementos geográficos, como: ríos, quebradas, crestas, toes y líneas de quiebre. Un modelo digital de terreno es un DEM al que se ha incrementado elementos naturales. (Corredor, 2015)

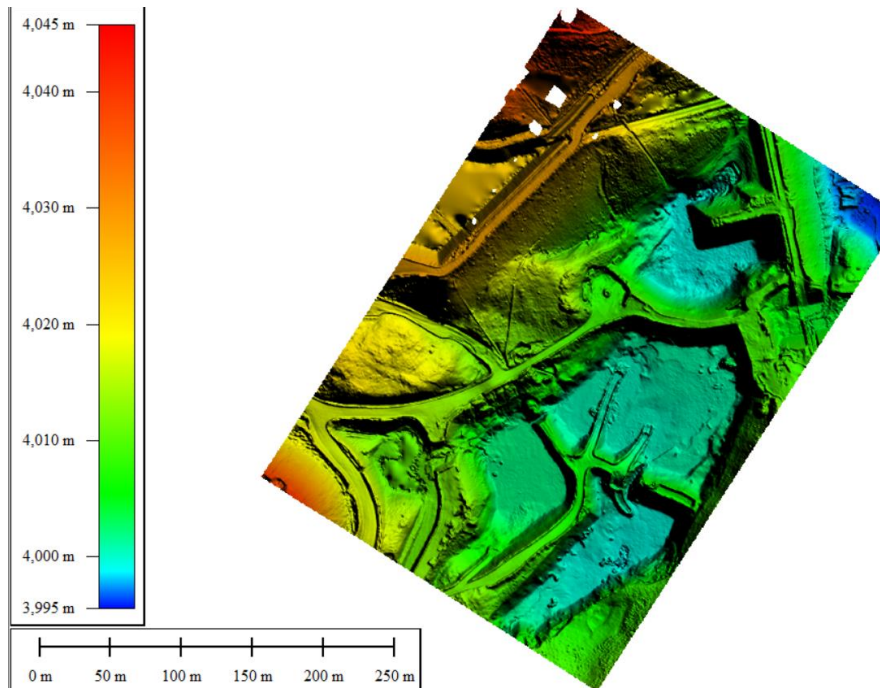


Figura 30. Modelo digital de terreno, software Aguisoft Metashape

Fuente: Elaboración propia

2.8.4. Curvas de Nivel

Una curva de nivel es una línea que une todos los puntos que tienen la misma elevación, dependiendo la cercanía entre curvas nos indican si el terreno presenta pendientes pronunciadas o pendientes suaves, adicionalmente con las etiquetas de altura que generalmente van inscritas en las curvas maestras podemos diferenciar las depresiones de las elevaciones. En la fotogrametría, si se trata de una zona boscosa o con presencia de edificaciones, es prácticamente imposible generar curvas de nivel que representen el terreno natural. Ya que las curvas fueron creadas a partir de la nube de puntos y estas a partir de las imágenes, y en las imágenes no se llegó a ver el terreno natural. Por lo que se debe tener siempre muy presente que existen muchas limitaciones que podrían hacer inviable esta tecnología, y que por el contrario debemos buscar otra tecnología como el lidar o laser scanning. (Davalos Gonzales)

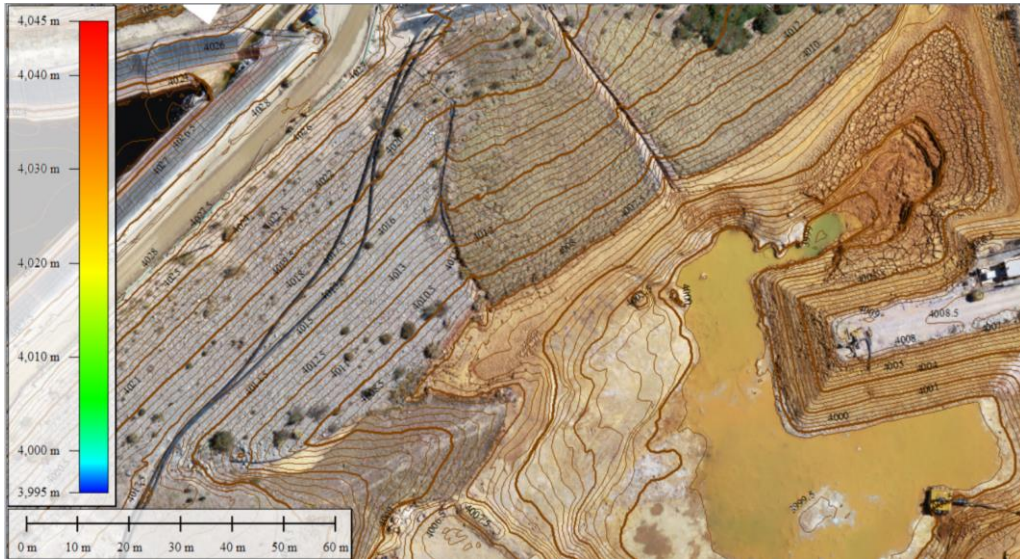


Figura 31. Curvas de nivel, software global mapper

Fuente: Elaboración propia

2.9. Costos del levantamiento fotogramétrico realizado con RPA

- **Especificaciones**
 - Resolución de la ortofoto: 2.0 GSD
 - Altura de vuelo: 70 m AGL
 - Área a volar. 15ha
 - PAF: 8
- **Entregables**
 - Nube de puntos con resolución de 0.05 cm x 0.05 cm
 - Superficie TIN
 - Modelo Digital de Superficie DEM
 - Plano de curvas a nivel con equidistancia de 0.25 m
- **Rendimientos**
 - Vuelos por día 5 vuelos
 - Tiempo por vuelo 40 minutos

- Traslape frontal 80 %
- Traslape lateral 70 %
- AGL 194m
- GSD 2.5cm/px
- Área por vuelo 140 ha

Tabla 12
Mano de Obra

Descripción	Und	Cantidad	Pu (s/.)	Parcial (s/.)
Chofer - Auxiliar de Topografía	día	1	126.60	126.60
Supervisor	día	1	301.60	301.60
Topógrafo	día	1	226.60	226.60
Especialista en Fotogrametría	día	1	301.60	301.60
Piloto de RPA	día	1	301.60	301.60
				1,258.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13
Equipos

Descripción	Und	Cantidad	Pu (s/.)	Parcial (s/.)
Camioneta Pick Up 4x4	día	1	298.30	298.30
RPA WingtraOne	día	1	1,045.00	1045.00
GPS Geodésico Trimble R10	día	2	228.60	457.20
Laptop	día	1	33.50	33.50
Software Trimble Business Center	día	1	33.30	33.30
Software Aguisoft Metashape	día	1	55.60	55.60
Software AutoCAD Civil 3D	día	1	60.00	60.00
				1,983.10

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14
Materiales

Descripción	Und	Cantidad	Pu (s/.)	Parcial (s/.)
Materiales por brigada	día	2	96.50	193.00
Petróleo	día	2	60.00	120.00
EPP x persona	día	6	29.20	175.20
				488.20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15
Subcontratos

Descripción	Und	Cantidad	Pu (s/.)	Parcial (s/.)
Alimentación	día	6	60.00	360.00
Hospedaje	día	6	80.00	480.00
SCTR Salud y pensión	día	6	8.30	49.80
			S/	889.80

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16
Resumen

Descripción	Precio (s/.)
Costo directo	4,619.10
Gastos administrativos 15%	692.87
Utilidad 35%	1,616.69
IGV 18%	1,247.16
Total, presupuesto	8,175.82

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos referente a los objetivos planteados en la presente investigación son:

Respecto al objetivo 1 y según las recomendaciones de los fabricantes, no todas las aeronaves piloteadas a distancias RPA y receptores GNSS fueron diseñadas para desempeñarse en condiciones medioambientales extremas, como: gran altitud, por encima de los 4000 msnm. Por lo tanto, no soportan lluvias, ráfagas de viento superior a las 30k/h, temperaturas inferiores a los $-10^{\circ}\text{C} + 40^{\circ}\text{C}$. A continuación, en la siguiente tabla podemos apreciar algunas características que debe cumplir un RPA y los GNSS garantizar levantamientos topográficos de precisión.

Tabla 17.

Requerimiento de un RPA para vuelo fotogramétrico a gran altitud

Condiciones de Operación	Rango aceptable
IP	56
Estándares	MIL-SDT-810F
Resistencia al viento	65k/h
Altitud	5000 m.s.n.m.
Limitaciones climáticas	Lluvia ligera
Tipo de batería	Polímero de litio
Temperatura	$-20^{\circ}\text{C} + 45^{\circ}\text{C}$
Resolución del Sensor	42mpx
Tiempo de vuelo	59 min
Rango de vuelo	65km
Velocidad crucero	80k/h

Fuente: Elaboración propia

Otro aspecto importante a considerar en un RPA para fotogrametría, son los sensores que lleva a bordo como: la cámara, IMU (unidad de medición inercial), antena GNSS L1/L2 y sensores de proximidad para garantizar el buen desempeño de la aeronave al momento de seguir la ruta preprogramada, Es necesario, contar con un software de vuelo y que el operador pueda intervenir para cambiar la ruta de vuelo para aterrizar la aeronave en caso de fallo de comunicaciones o pérdida de la señal de GPS para finalizar el vuelo antes de tiempo y realizar un aterrizaje seguro.

Respecto al objetivo 2, referente a la precisión a la **precisión** de la nube de puntos generada a partir de las imágenes post procesadas, dependerán de la resolución de la cámara, la altura de vuelo, resolución espacial y densidad de nube de puntos.

Tabla 18.

Cuadro de coordenadas de los PAF puntos de control

ID	C_NORTE	C_ESTE	ELEVACION
GCP-01	9120372.557	804569.382	4005.019
GCP-02	9120423.862	804673.868	4001.384
GCP-03	9120503.713	804599.271	4011.302
GCP-05	9120476.923	804759.024	4009.480
GCP-06	9120522.667	804682.203	4009.310
GCP-07	9120444.933	804524.602	4014.137
GCP-09	9120665.618	804643.847	4028.881
GCP-10	9120646.720	804631.889	4028.187

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19

Error entre los PAF y la nube de puntos

ID	Error en X	Error en Y	Error en Z
GCP-01	0.007	-0.015	0.024
GCP-02	-0.011	0.010	-0.024
GCP-03	-0.015	-0.012	0.022
GCP-05	0.015	-0.012	0.018
GCP-06	-0.013	0.012	0.02
GCP-07	-0.010	-0.011	0.016
GCP-09	-0.016	-0.012	-0.020
GCP-10	-0.016	0.011	-0.022
MEDIA	0.007	0.003	0.004
RSM	0.013	0.012	-0.021

Se observa que el RSM de Error Z es la más alta, mientras que la menor está dada por el error X, Y respectivamente. Fuente: Elaboración propia.

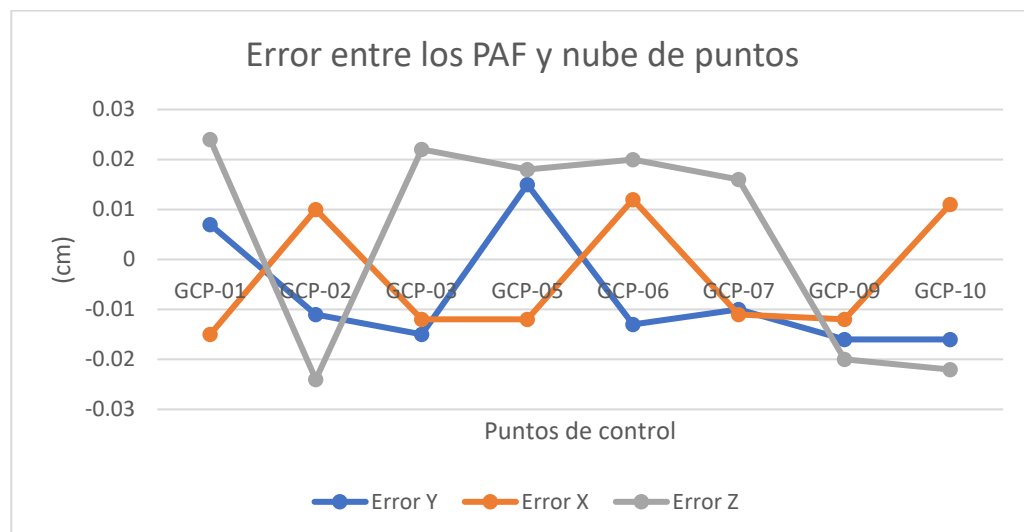


Figura 32. Error en las componentes X, Y, Z

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la precisión del levantamiento fotogramétrico realizado con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.

Hipótesis Específica 2

La precisión del levantamiento fotogramétrico realizado con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS se encuentra dentro de lo permitido

Planteamiento de las pruebas de hipótesis estadísticas:

Hipótesis Nula H_0 : La media de los errores absolutos entre el levantamiento fotogramétrico realizado con RPA y el levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS, son mayores o iguales a 0.17μ Error $(x, y, z) \geq 0.17$

Hipótesis Alternativa H_a : La media de los errores absolutos entre el levantamiento fotogramétrico realizado con RPA y el levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS son menores a 0.17μ Error $(x, y, z) < 0.17$

Consideraciones para la prueba:

Para decidir si la precisión o los errores absolutos se encuentran dentro del parámetro permitido, utilizaremos la prueba estadística T-Student para una muestra, debido a que los datos de la muestra son cuantitativos, menores a 30 y asumiendo que vienen de una población con distribución normal.

Decisión:

Para decidir si aceptar o rechazar la hipótesis nula, se comparará el grado de significancia p de la prueba T-Student y el nivel de significancia $\alpha=0.05$

Si el nivel de significancia $p/2 < \alpha$ entonces se rechazará la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa o del investigador.

Tabla 20.

Error Absoluto entre los PAF y la nube de puntos

ID	Error en X	Error en Y	Error en Z
GCP-01	0.007	0.015	0.024
GCP-02	0.011	0.010	0.024
GCP-03	0.015	0.012	0.022
GCP-05	0.015	0.012	0.018
GCP-06	0.013	0.012	0.020
GCP-07	0.010	0.011	0.016
GCP-09	0.016	0.012	0.020
GCP-10	0.016	0.011	0.022
MEDIA	0.013	0.012	0.021

Datos de la variable Error Absoluto que mide la precisión de las mediciones. Fuente: Elaboración propia

Resultados de la prueba T-Student para una muestra:

Se procedió a realizar los cálculos de la prueba T-Student en el programa estadístico

SPSS V.25

Tabla 21.

Estadísticas para una muestra

PRECISIÓN	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
ERROR X	8	,01288	,003271	,001156
ERROR Y	8	,01187	,001458	,000515
ERROR Z	8	,02075	,002816	,000996

Los resultados de la tabla descriptiva indica que la media del error Z (elevación) es mayor que la media de los errores X, Y, sin embargo, están por debajo de 0.17, la siguiente prueba nos permitirá concluir si podemos afirmar que están por debajo de lo permitido.

	Valor de prueba = 0.17					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
ERROR X	-135,885	7	,000	-,157125	-,15986	-,15439
ERROR Y	-306,808	7	,000	-,158125	-,15934	-,15691
ERROR Z	-149,921	7	,000	-,149250	-,15160	-,14690

Figura 33. Prueba T-Student para una muestra

Fuente: Elaboración propia

Decisión:

- P valor de X = 0.000 por tanto rechazamos Ho y aceptamos Ha.
- P valor de Y = 0.000 por tanto rechazamos Ho y aceptamos Ha.
- P valor de Z = 0.000 por tanto rechazamos Ho y aceptamos Ha.

Conclusión:

En base a los resultados estadísticos de la muestra, podemos concluir con un nivel de significancia del 5% que existe evidencia suficiente para afirmar que las medias de los errores absolutos de X, Y y Z se encuentran por debajo del parámetro permitido de 0.17, es decir, no existe diferencia significativa en la precisión de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA y un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS, por lo tanto, podemos afirmar que la nube de puntos derivada del RPA garantiza alta precisión.

En relación al objetivo 3 referido al **rendimiento** y **costo** de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA y el levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS, se tomó en cuenta lo siguiente:

Tabla 22

Rendimiento de los RPA y GNSS

Descripción	RPA	GNSS
Área	15ha	15ha
Colocación PAF	45min	-
Tiempo de configuración	10min	10min
Tiempo de trabajo en campo	8min	7hr.
Procesamiento de datos	1hr 10min	10min
Precisión horizontal	+2cm	+2cm
Precisión Vertical	+3cm	+2cm
Tiempo total	2hr 33 min	7hr 20min

Se observa que el levantamiento fotogramétrico con RPA es 3 veces más eficiente que el levantamiento topográfico convencional. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el **costo** de cada técnica se analizó los precios unitarios involucrados en cada una de las actividades, siendo las más resaltantes: mano de obra, materiales, equipos y sub contratos. A continuación, en el presente cuadro podemos observar cada una de las actividades necesarias para realizar el levantamiento fotogramétrico con RPA y el levantamiento topográfico, además de analizar sus respectivos costos.

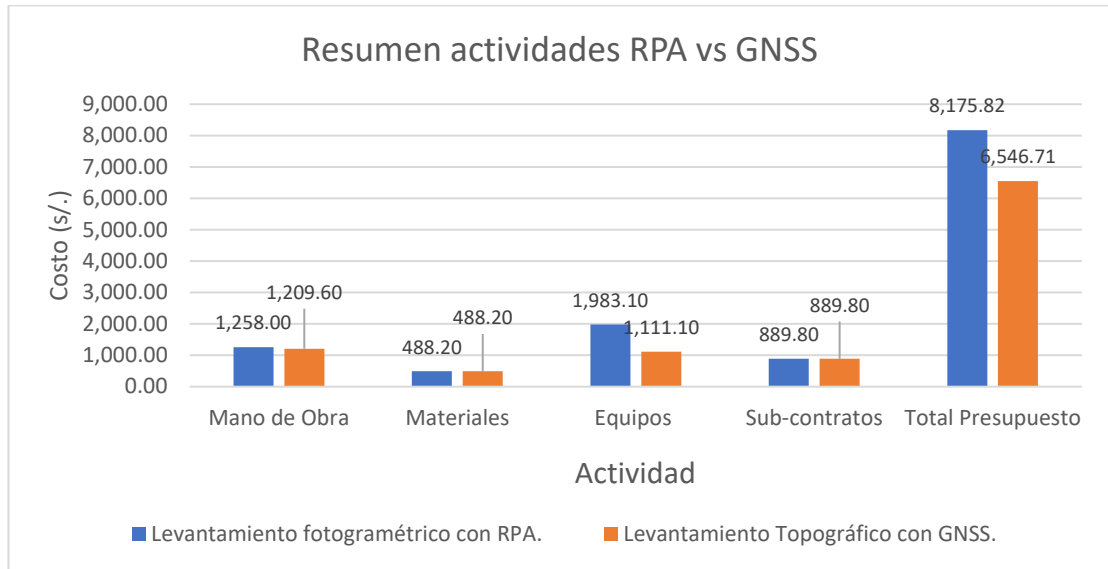


Figura 34. Resumen del costo por actividades RPA/GNSS.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, podemos afirmar que la técnica de la fotogrametría realizada con aeronaves pilotadas a distancia RPA, es 20% costoso, pero 70% más eficiente que el levantamiento topográfico realizado con receptores GNSS, por lo que en el ámbito topográfico los drones son una excelente alternativa para cubrir grandes extensiones de terreno.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

No todas las aeronaves pilotadas a distancia RPA y los receptores GNSS son capaces de desempeñarse correctamente en condiciones climáticas extremas. (Coello & Ballesteros, 2017) refiere que, si tomamos en cuenta los criterios, parámetros y límites operativos antes mencionados, los RPA son una nueva solución para la captura de imágenes aéreas y generación de productos topográficos.

La técnica del levantamiento fotogramétrico con RPA, gracias a las imágenes de alta resolución 42mpx, resulta en una alta densidad de píxeles que favorece la precisión, ya que durante el post procesamiento, las coordenadas se definen para cada píxel en el mapa, por lo tanto, mientras más píxeles hay más preciso será el mapa 3D, la presente investigación coincide con lo mencionado por (Villareal Moncayo, 2015) quien refiere que la precisión de los levantamientos fotogramétricos con RPA varía de acuerdo a la densidad de nube de puntos.

Según la (NTC 001-2015, 2015) es importante asegurarse de comprender el contexto legal para operar una aeronave no tripulada de forma segura. Asegurándose de contar con los permisos requeridos para realizar vuelos además de contar con licencia de piloto emitida por el MTC. NTC: 001-2015 Operaciones RPAS.

4.2 Conclusiones

Podemos concluir que, para realizar levantamientos topográficos de precisión, los RPA y los receptores GNSS deben cumplir ciertas características, para el caso de los RPA, debe ser un dron híbrido (despegue y aterrizaje vertical), contar con un sensor de alta resolución 42 megapíxeles recomendable, resistir ráfagas de viento de hasta 45 k/h, tener una autonomía no menor a 45 minutos de vuelo y volar a una altura entre 80m a 500m sobre el nivel de despegue. Para el caso de los receptores GNSS, al momento de realizar las mediciones, la precisión nominal típica debe estar alrededor de está alrededor de: Horizontal 8mm + 1 ppm RMS, Vertical: 15 mm + 1 ppm RMS, el GDOP no mayor a 6 y debe recibir un mínimo de 4 satélites.

Es importante destacar que la fotogrametría con RPA puede competir con gran éxito en precisión frente a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS. Se pudo identificar diferencias cuyos valores máximos fluctúan entre -1.6cm y 1.5cm en las coordenadas Este “X” y Norte “Y” y de +-2.4 cm en la elevación (Z). por lo tanto, podemos evidenciar que los resultados obtenidos a partir de la fotogrametría con RPA está por encima de las solicitudes de 17cm referido para un levantamiento topográfico convencional, por lo que su aplicación de los RPA en el futuro constituye una herramienta sumamente precisa y eficaz.

En cuanto al rendimiento y costo, observamos que la técnica de levantamiento fotogramétrico con RPA, es 70% más eficiente que el método convencional, pero 20% más costoso. El tiempo necesario para medir las 15ha. con el RPA fue de 2 horas 33 minutos, mientras que para el método convencional con GNSS tomo cerca de 7 horas y 22 minutos alcanzando precisiones similares. Por lo tanto, los drones son una excelente alternativa para realizar levantamientos de grandes extensiones de terreno.

4.3 Recomendaciones

Muchas instituciones involucradas con la topografía, como: Agricultura y medio ambiente, uso de la tierra y agua, inventario forestal, ordenamiento territorial, arqueología, catastro, titulación de tierras (rural, urbana), vigilancia, control policial, fronteras, terrorismo, monitoreo del cambio climático y ecológico, etc. Tienen tolerancias que de acuerdo a la presente investigación son ampliamente satisfechas por la técnica de fotogrametría con RPA y por lo tanto podrían aplicarse a fin de reducir costos.

La técnica de fotogrametría con RPA demostró una notable precisión y alta eficiencia al momento de coleccionar datos georreferenciados en campo, por lo tanto, la realización de un vuelo aero fotogramétrico empleando RPA requiere una previa planificación de vuelo, observar la zona a sobre volar, evaluar los riesgos, verificar el correcto estado de los equipos, contar con los permisos y finalmente comprobar las condiciones climáticas antes de realizar el vuelo.

Realizar vuelos entre las 9:00 - 15:00 horas siempre y cuando las condiciones climatológicas lo permitan. La mejor hora de vuelo es a las 12:00 del mediodía ya que las imágenes tendrán mayor valor visual.

REFERENCIAS

- Aguisoft Metashape. (2019). *Procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales*.
Obtenido de Agisoft Metashape: <https://www.agisoft.com/>
- Arun, K., Anushka, S., Ankush, A., & Dharmendra, S. (2017). Vision based rail track extraction and monitoring through drone imagery. *KICS*, 6.
- Baldeón, G. (2015). Generación de información geoespacial a partir de Vehículos Aéreos no Tripulados. *El geografo 13*, 52.
- Cheli, A. (2011). *Introducción a la Fotogrametría y su Evolución*. La Plata: Hesperides.
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: Ediciones Rialp S.A.
- Clarck, D., Meffert, C., Baggili, F., & Baggili, I. (2017). DROP (DRone Open source Parser) tu dron: análisis forense del DJI Phantom III. *Elsevier*, 12.
- Coello , R., & Ballesteros, G. (2017). Fotogrametría de UAV de ala fija y comparación de topografía clásica. Madrid, España.
- Coello Romero, A., & Ballesteros Abellán, G. (2015). Fotogrametría de UAV de ala fija y comparación con Topografía clásica. (*Tesis de titulación*). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Corredor, J. (2015). Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación sector tulua – río frío. Bogota, Colombia.
- Davalos Gonzales, P. (s.f.). *Aerofotogrametría Inteligente*.
- Fabian, N. (2018). Empleo de aeronaves tripuladas remotamente (RPA) para proyectos pilotos de generación de cartografía. *El Geografo 17*, 52.

- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2010). *Metodología de la Investigación*. Mexico DF: Interamericana Editores, S.A. DE C.V.
- IGN. (2015). Generación de información geoespacial a partir de Vehículos Aéreos no Tripulados. *El Geografo*, 18-23.
- Kumar, A., Swarup, A., & Agarwal, A. (2017). Visión basada en extracción y seguimiento de vías a través de imágenes de drones. *Kics*, 14.
- Laszlo, B., Agoston, R., & Xu, Q. (2017). Enfoque conceptual para medir la efectividad profesional y económica de las aplicaciones de drones que apoyan la gestión de incendios forestales. *Elsevier*, 17.
- Ministerio de Agricultura. (Abril de 2014). Manual de procedimientos geodesicos y topograficos. Santiago, Chile.
- Ng, Y., & Buchheim, J. (06 de 2018). *WingtraOne PPK Accuracy*. Obtenido de WingtraOne: <https://wingtra.com/blog/>
- NTC 001-2015, D. (03 de Noviembre de 2015). Norma Tecnica Complementaria. *NTC Operaciones RPAS*. Lima, Lima, Peru.
- Ortega, E. (2018). Procedimiento para la captura de datos fotogramétricos con la ayuda de aparatos controlados remotamente, como herramienta para la evaluación en estabilidad de taludes y difusión con realidad aumentada. Medellin, Colombia.
- Quiroz, E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*. Badajoz: Universidad de Extremadura.
- Sanches, J. A. (2007). Introducción a la fotogrametría. *I.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos*, 58.
- Sobrino, J. (2000). *Teledeteccion*. Valencia: Servicio de publicaciones, Universidad de Valencia.

Tony, S. (2002). *Fotogrametría digital*. Catalunya: Marcombo, 2002.

Trimble. (2019). *Trimble Geoespacial*. Obtenido de Trimble:

<https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/r10>

Villareal Moncayo, J. (2015). Análisis de la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de vehículos no tripulados UAV respecto a la densidad de puntos de control. *Tesis de titulación*. Universidad Católica de Loja, Loja, Ecuador.

Villareal, J. (2015). Análisis de la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de vehículos no tripulados respecto a la densidad de puntos de control. Loja, Ecuador.

Weber, A., & Lerch, T. (13 de 03 de 2019). *Comparing workflow and point cloud outputs of*

the Trimble SX10 TLS and senseFly eBee Plus drone. Obtenido de Sensefly:

[https://www.sensefly.com/whitepaper/comparacion-tls-trimble-sx10-y-el-dron-](https://www.sensefly.com/whitepaper/comparacion-tls-trimble-sx10-y-el-dron-sensefly-ebec-plus/comparacion-tls-trimble-sx10-y-el-dron-sensefly-ebec-plus-2/#)

[sensefly-ebec-plus/comparacion-tls-trimble-sx10-y-el-dron-sensefly-ebec-plus-2/#](https://www.sensefly.com/whitepaper/comparacion-tls-trimble-sx10-y-el-dron-sensefly-ebec-plus/comparacion-tls-trimble-sx10-y-el-dron-sensefly-ebec-plus-2/#)

Wingtra. (2018). *Dron profesional para topografía*. Obtenido de Wingtra:

<https://wingtra.com/es/dron-mapeo-wingtraone/>

ANEXOS

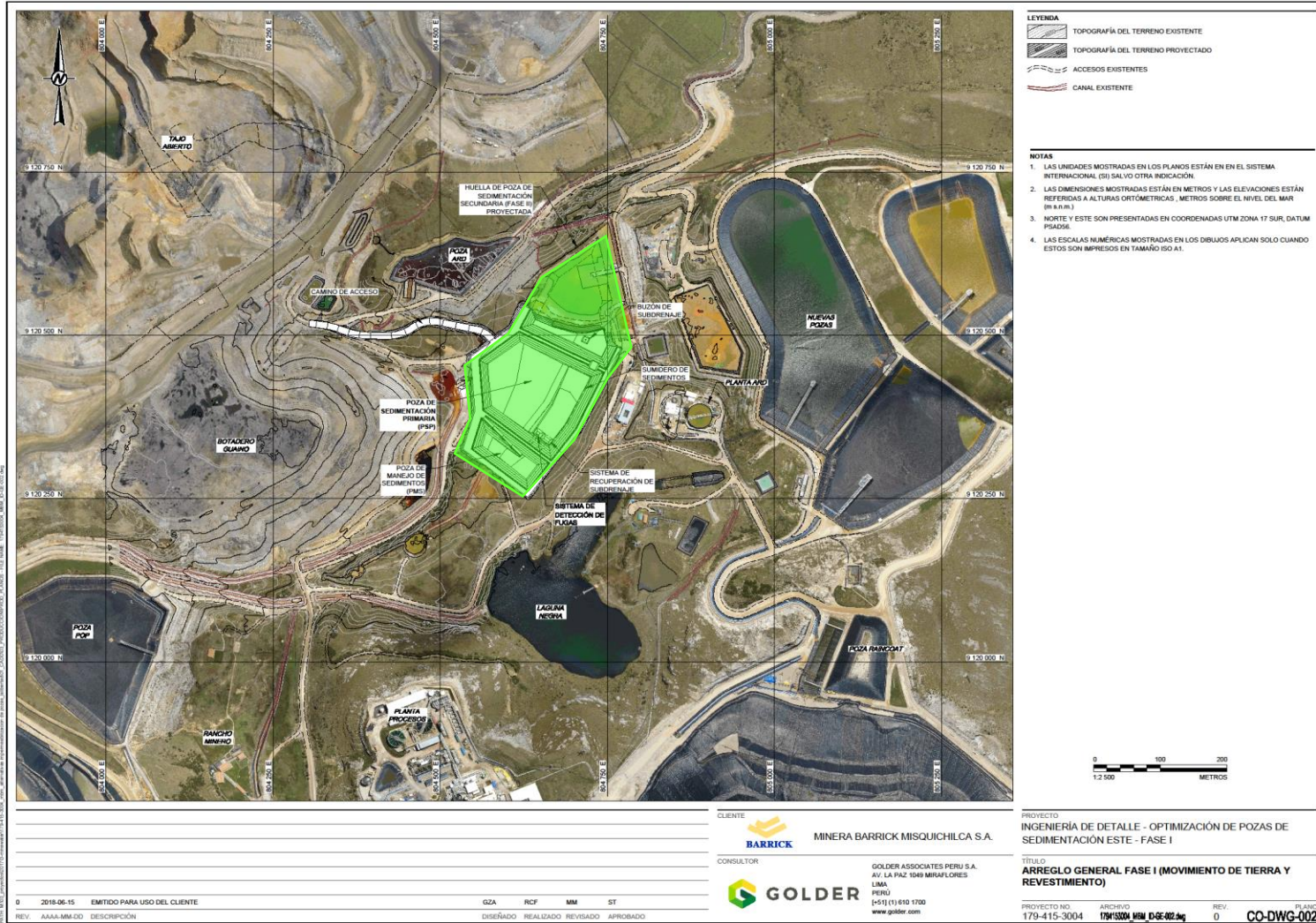
ANEXO 1: MATRIZ DE COSISTENCIA

ANÁLISIS, DESARROLLO Y COMPARACIÓN DE UN LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO REALIZADO CON UN RPA FRENTE A UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL REALIZADO CON RECEPTORES GNSS - MINA BARRICK, 2018	Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables $y=f(x)$	Dimensiones	Indicadores	Diseño de la investigación
	<p>Problema general:</p> <p>¿De qué manera analizar desarrollar y comparar un levantamiento fotogramétrico realizado con una aeronave piloteada a distancia RPA frente a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Analizar, desarrollar y comparar un levantamiento fotogramétrico realizado por una aeronave piloteada a distancia RPA frente a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>El levantamiento fotogramétrico realizado con una aeronave piloteada a distancia RPA es más eficiente que un levantamiento topográfico realizado con receptores GNSS.</p>	<p>Variable dependiente (y):</p> <p>Comparación entre ambas metodologías</p>	<p>Precisión</p> <p>Rendimiento</p> <p>Costo</p>	<p>Resolución de la cámara</p> <p>Puntos de control</p> <p>Tipo de RPA</p> <p>Velocidad del vuelo</p> <p>Clima</p> <p>Especialistas capacitados en software de fotogrametría y topografía.</p>	<p>Tipo: Explicativa cuasi experimental</p> <p>Método: Enfoque Cuantitativo</p> <p>En tiempo: Transversal</p>
<p>Problemas específicos:</p> <p>1. ¿Cuáles son las características que debe cumplir un RPA y los GNSS para realizar levantamientos fotogramétricos y topográficos de precisión?</p> <p>2. ¿Cuál es la precisión de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS?</p> <p>3. ¿Cuál es el rendimiento y costo de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>1. Determinar las características que debe cumplir un RPA y los GNSS para realizar levantamientos fotogramétricos y topográficos de precisión.</p> <p>2. Determinar la precisión de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.</p> <p>3. Determinar el rendimiento y costo de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.</p>	<p>Hipótesis específicas:</p> <p>1. Existen características que debe cumplir un RPA y los GNSS para realizar levantamientos fotogramétricos y topográficos de precisión.</p> <p>2. Existe diferencia significativa en la precisión de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.</p> <p>3. Existe diferencia significativa en el rendimiento y costo de los levantamientos fotogramétricos realizados con RPA en comparación a un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS.</p>	<p>Variable independiente (x):</p> <p>Análisis y desarrollo de ambas metodologías</p>	<p>Estadística</p> <p>Propiedades</p> <p>Características</p>	<p>Especialistas capacitados en software de fotogrametría y topografía.</p>		

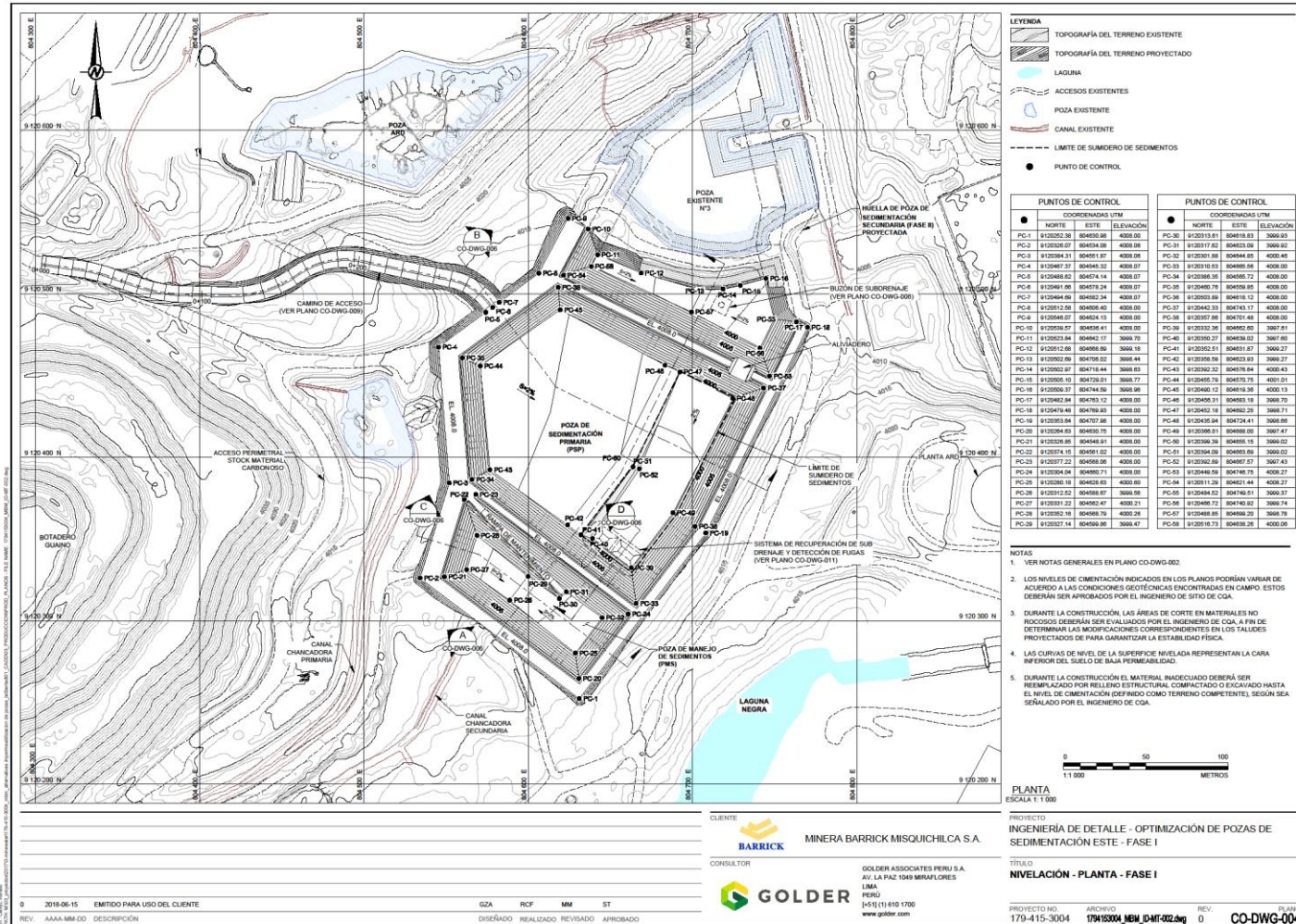
ANEXO 1: Plano de localización



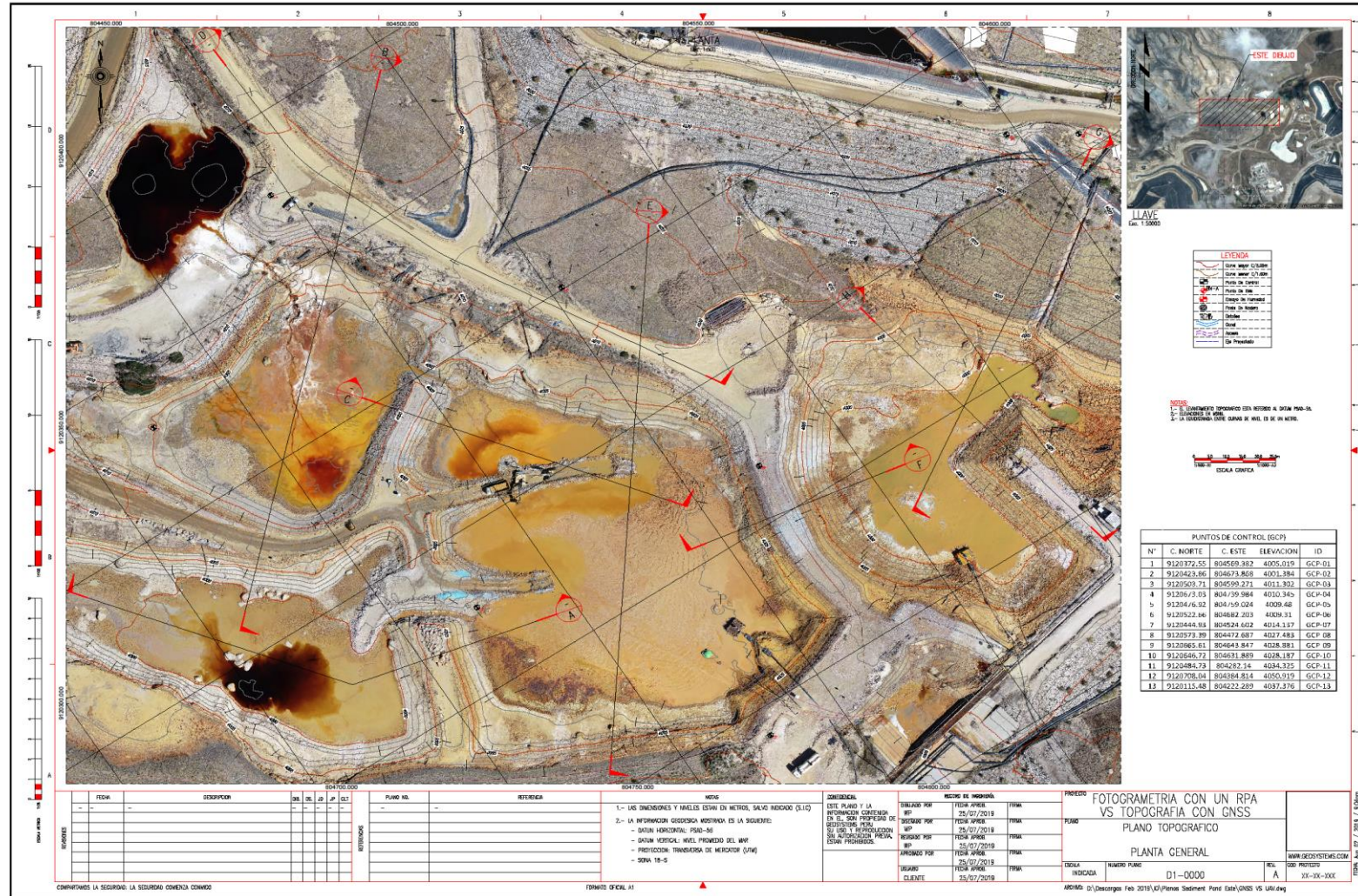
ANEXO 2: Plano de ubicación del área de investigación



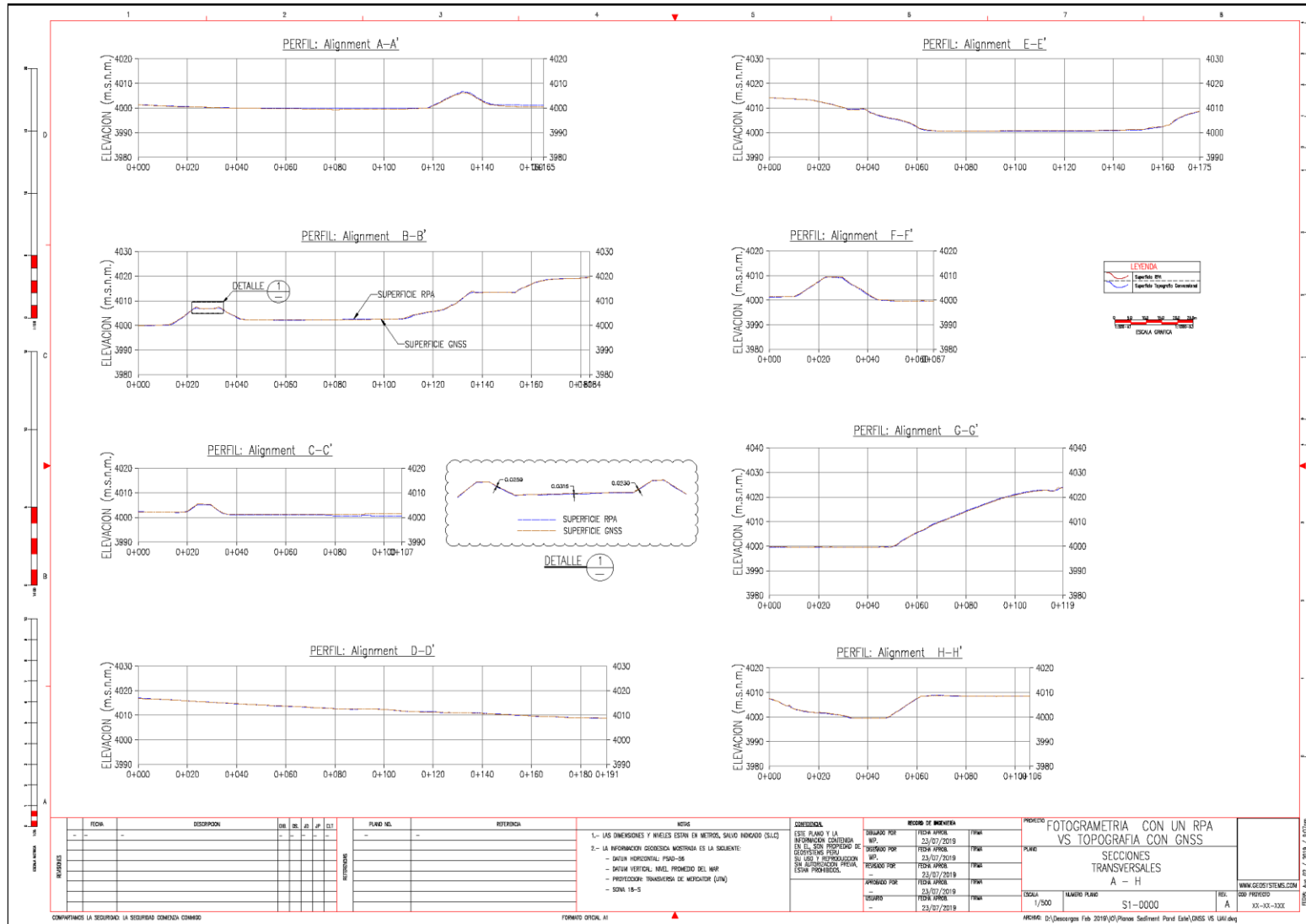
ANEXO 3: Plano topográfico realizado con la técnica convencional GNSS



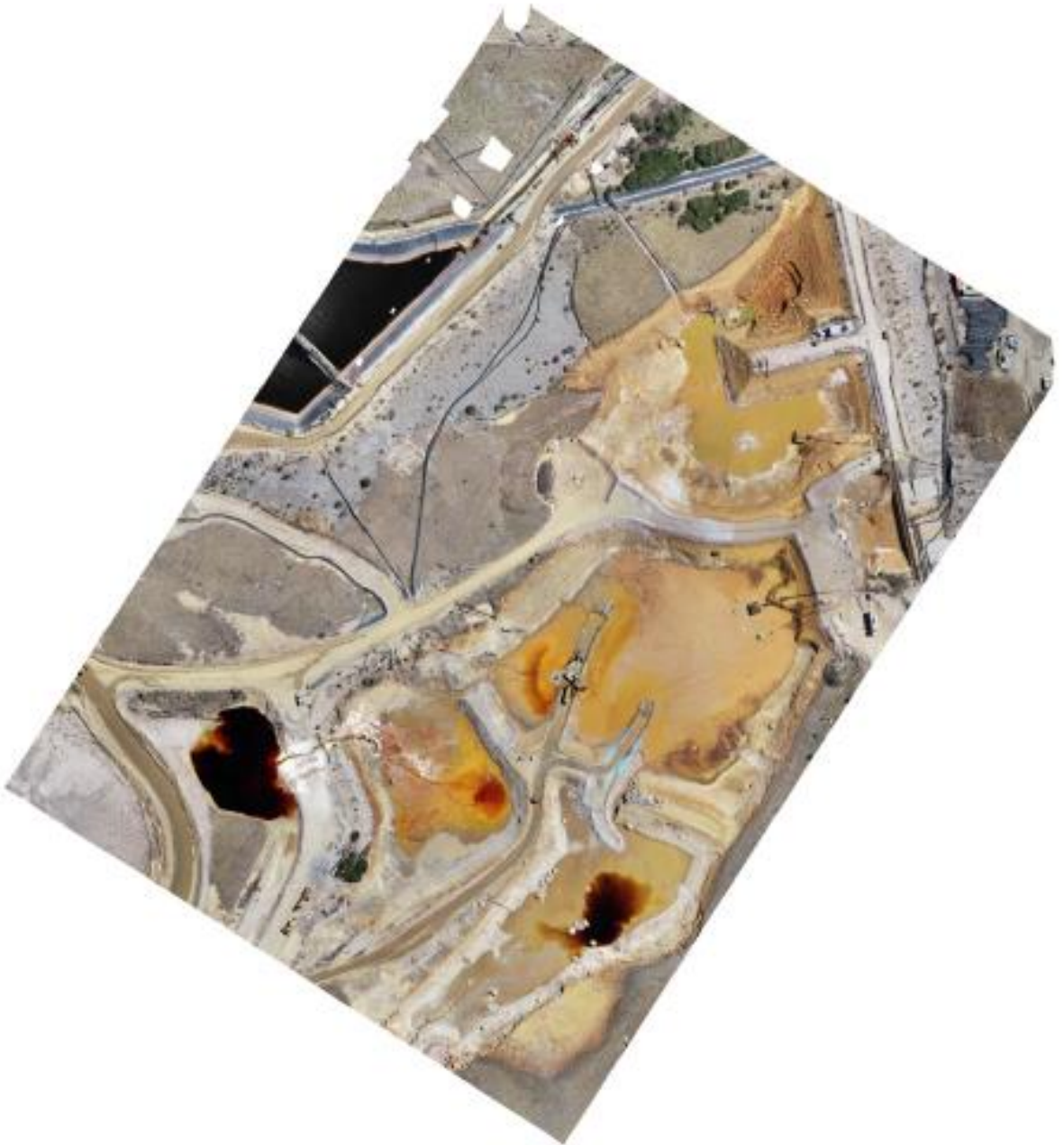
ANEXO 4: Plano topográfico realizado con la técnica de fotogrametría con RPA



ANEXO 5: Secciones transversales, topografía convencional GNSS / levantamiento fotogramétrico con RPA



ANEXO 6: Ortofoto del área de investigación



ANEXO 7: Datos del levantamiento fotogramétrico

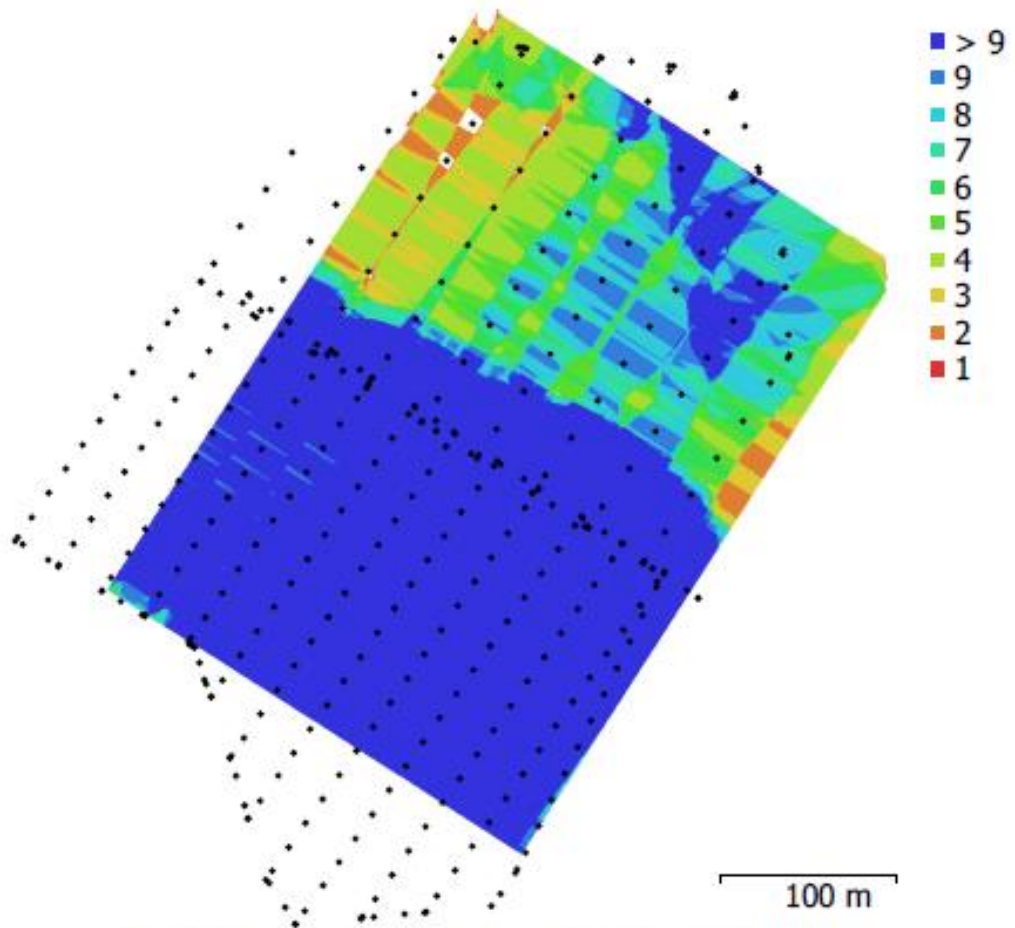
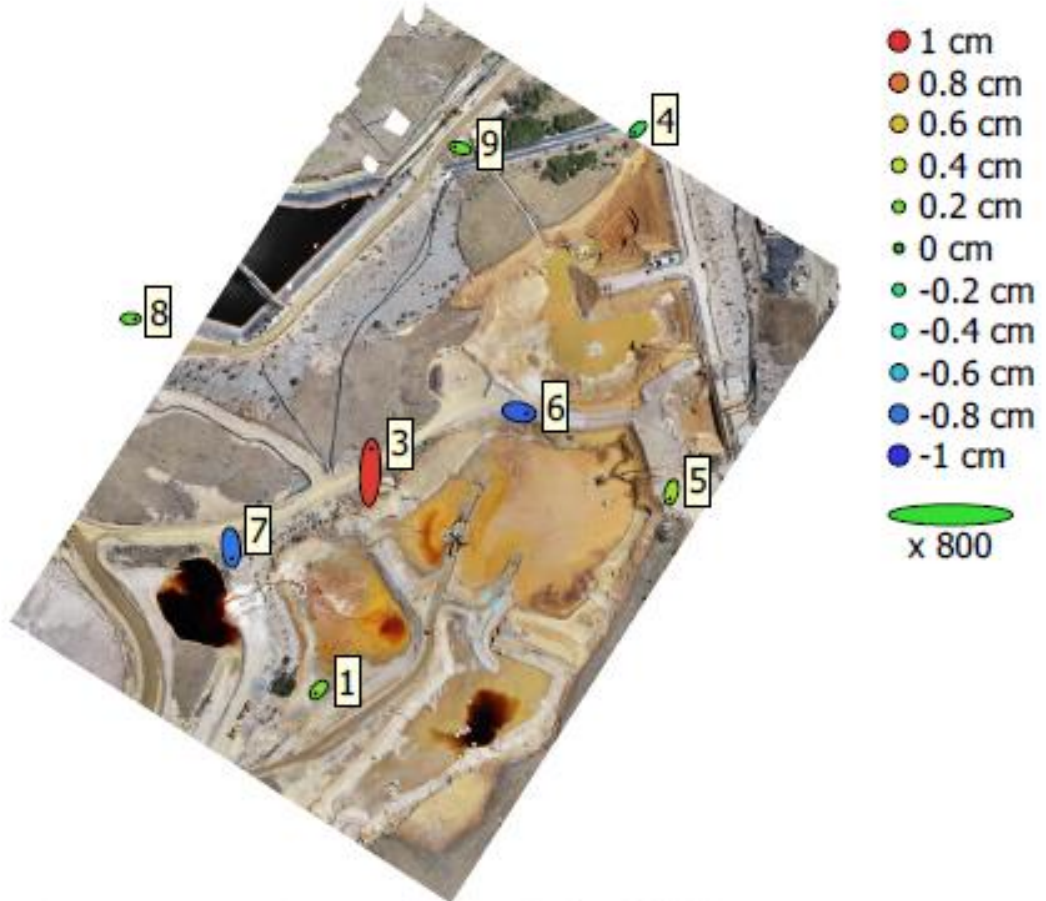


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 363
 Altitud media de vuelo: 68.3 m
 Resolución en terreno: 1.87 cm/pix
 Superficie cubierta: 0.111 km²

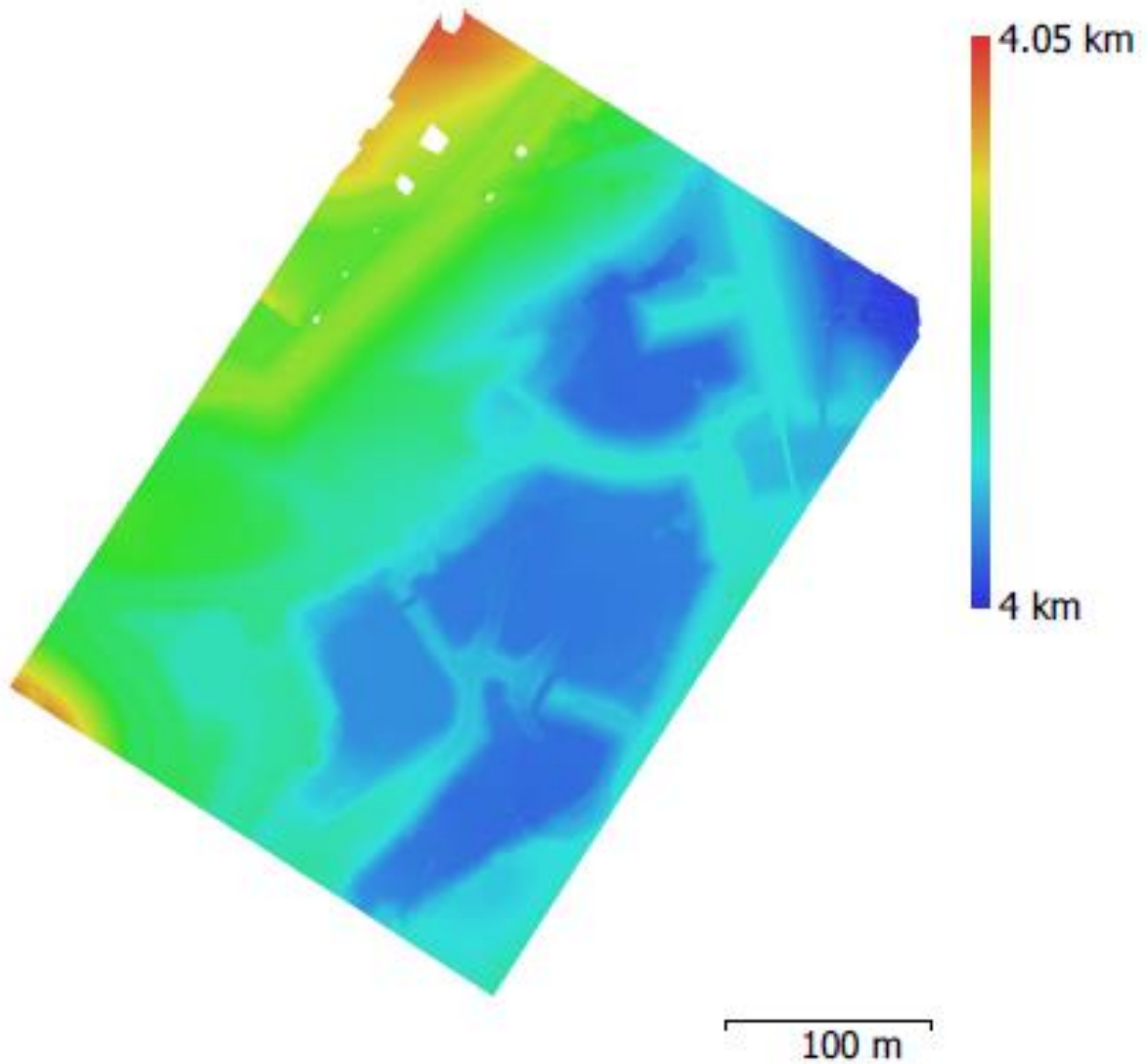
Posiciones de cámara: 359
 Puntos de enlace: 296,726
 Proyecciones: 1,331,997
 Error de reproyección: 0.55 pix

ANEXO 8: Ubicación de los puntos de foto control PAF



• Puntos de apoyo τ Puntos de control de calidad 100 m

ANEXO 9: Modelo digital de elevaciones DEM




Anexo n°3: Información del validador de expertos

Validado por:

Tipo de Validador	Interno () [Docente UPN]	Externo <input checked="" type="checkbox"/>		
Apellidos y Nombres	José William Díaz Chumbirizo			
Sexo	Masculino <input checked="" type="checkbox"/>	Femenino ()		
Profesión	INGENIERO GEOGRÁFO			
Grado Académico	Licenciado ()	Magister <input checked="" type="checkbox"/> Doctor ()		
Años de experiencia laboral	5 -10 ()	11 - 15 ()	16 - 20 ()	21 a más años <input checked="" type="checkbox"/>

Solo para validado externo:

Organización donde labora	GEO SYSTEMS SAC. UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL
Cargo actual	GESTOR CORPORATIVO DOCENTE
Área de especialización	TOPOGRAFIA Y GEODESIA
Número de teléfono de contacto	993 561 068
Correo electrónico de contacto	Jdiaz1607@yahoo.es
Medio de preferencia para contactarlo	Por teléfono <input checked="" type="checkbox"/> Por correo electrónico ()

Firma del validador experto.	
D.N.I.	08537398

