

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



TESIS

**UTILIZACIÓN DEL DRON MATRICE 350 RTK PARA UNA MEJOR
UBICACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES EN LA ZONA MINERA DE
HUALGAYOC**

**Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS**

Autor:

Bach. Yopla Huaman Segundo Roger

Asesor:

M.Cs. Gonzales Yana Roberto Severino

Cajamarca – Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- 1. Investigador:** YOPLA HUAMAN SEGUNDO ROGER
DNI: 75871547
Escuela Profesional: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS
- 2. Asesor:** M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino
Facultad: Ingeniería
- 3. Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- 4. Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- 5. Título de Trabajo de Investigación:**
UTILIZACIÓN DEL DRON MATRICE 350 RTK PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES EN LA ZONA MINERA DE HUALGAYOC
Fecha de evaluación: 19/05/2025
- 6. Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- 7. Porcentaje de Informe de Similitud:** 12%
- 8. Código Documento:** Oide:3117: 460672247
- 9. Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 20/05/2025

	
_____ FIRMA DEL ASESOR <i>Roberto Severino Gonzales Yana</i>	_____ UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "UTILIZACIÓN DEL DRON MATRICE 350 RTK PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES EN LA ZONA MINERA DE HUALGAYOC"

ASESOR : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0234-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 26 de mayo de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **trece días del mes de junio de 2025**, siendo las once horas (11:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada: "UTILIZACIÓN DEL DRON MATRICE 350 RTK PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES EN LA ZONA MINERA DE HUALGAYOC", presentado por **SEGUNDO ROGER YOPLA HUAMAN**, asesorado por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 04 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 11 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 15 PTS. QUINCE (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de QUINCE acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 12.00 pm horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.


Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente


Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal


M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario


M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería de Minas: SEGUNDO ROGER YOPLA HUAMAN.

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
2.1. Capacidad de síntesis	3
2.2. Dominio del tema	3
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	3
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	2
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	11

Cajamarca, 13 de junio de 2025


Dr. Ing. Crispin Zenón Quispe Mamani.
Presidente


Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal


M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario


M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería de Minas: SEGUNDO ROGER YOPLA HUAMAN.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	04
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	11
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	15
EN LETRAS (A + B)	Quince
- Excelente 20 - 19	BUENO
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 13 de junio de 2025


Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente


Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal


M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario


M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Asesor

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme por un buen camino y seguir cumpliendo cada objetivo en mi vida. A la Universidad Nacional de Cajamarca, especialmente a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por mi formación profesional. También agradezco a mi asesor por compartir su conocimiento. Asimismo, agradezco a los profesores de mi alma mater que me apoyaron con su sabiduría a lo largo de mi carrera universitaria, haciendo posible este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mi Madre Elena Rita Huam. Cerq. por inculcarme valores, ser mi inspiración y soporte en mi desarrollo profesional. A mi abuelita Maria F. Cerq. Yop., tías y demás familiares por estar en todo momento brindándome comprensión, cariño y motivándome para cumplir mis objetivos.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación	3
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	3
2.1.2. Antecedentes Nacionales	3
2.1.3. Antecedentes Locales	4
2.2. Bases Teóricas	5
2.2.1. Topografía.....	5
2.2.2. Fotogrametría.....	6
2.2.3. Dron o Vehículo Aéreo no Tripulado (VANT)	8
2.2.4. Planificación de vuelo.....	12
2.2.5. Diseño de vuelo o Proyecto de Vuelo.....	13
2.2.6. Plan de Vuelo.....	16
2.2.7. Apoyo topográfico	24
2.2.8. Procesamiento Digital y Generación de productos Fotogramétricos	27

	Pág.
2.2.9. Modelo digital de elevaciones (MDE) y Modelo digital del terreno (MDT).....	29
2.2.10. Yacimientos Minerales	30
2.2.11. Precisión de la Aerotriangulación.....	30
2.2.12. Precisión planimétrica y altimétrica en el ajuste de bloques por modelos independientes	31
2.2.13. Planimetría	32
2.2.14. Altimetría	36
2.2.15. Legislación nacional para uso de drones	37
2.2.16. Combinación de bandas para Landsat 8.....	39
2.3. Definición de Términos Básicos.....	40
CAPÍTULO III	41
MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
3.1 Ubicación Geográfica	41
3.2 Accesibilidad	41
3.3 Geología.....	43
3.3.1. Geología regional.....	43
3.3.2. Geología local	43
3.4 Clima y meteorología.....	44
3.5 Fisiografía y topografía.....	44
3.6 Flora y Fauna	44
3.7 Metodología de la Investigación.....	45
3.7.1. Tipo de investigación.....	45
3.7.2. Nivel de investigación	45
3.7.3. Diseño de la investigación	45
3.7.4. Método de la investigación	46
3.7.5. Población de estudio	46

	Pág.
3.7.6. Muestra	46
3.7.7. Unidad de análisis	46
3.8 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	46
3.8.1. Técnicas	46
3.8.2. Instrumentos, materiales, equipos y personal	47
3.9 Procedimientos.....	50
3.9.1. Etapa preliminar de gabinete	50
3.9.2. Etapa de campo	51
3.9.3. Etapa final de gabinete.....	51
CAPÍTULO IV	53
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
4.1 Planificación de vuelo, diseño de vuelo y plan de vuelo	53
4.1.1 Diseño en la zona de yacimiento de mineral	53
4.1.2 Cálculo de parámetros de vuelo para el yacimiento mineral de terreno montañoso.....	54
4.1.3 Misión de vuelo	59
4.2 Procesamiento y productos fotogramétricos como determinación de la precisión de aerotriangulación	64
4.2.1 Uso de Software Pix4D.....	64
4.2.2 Uso de Software Agisoft Metashape	79
4.3 Planimetría y altimetría.....	86
4.3.1 Planimetría	86
4.3.2 Altimetría	88
4.4 Ubicación de yacimientos minerales	91
4.5 Comparación de la precisión del levantamiento y el nivel de detalle del dron de las mediciones de área, volumen y tonelajes en Yacimientos Minerales	94

	Pág.
4.5.1 Comparación del el área, volúmenes y tonelajes en los programas del Yacimiento Mineral YM1	94
4.5.2 Área, volumen y tonelaje del GPS diferencial -YM1	96
4.5.3 Área, volumen y tonelaje del Agisoft Metashape-YM1	97
4.5.4 Área, volumen y tonelaje del Pix4d Mapper-YM1.....	98
4.5.5 Análisis de Área, volumen y tonelaje-YM1	99
4.5.6 Comparación del el área, volúmenes y tonelajes en los programas del Yacimiento Mineral YM2	104
4.5.7 Área, volumen y tonelaje del GPS diferencial- YM2.....	104
4.5.8 Resumen de las Áreas, volúmenes y tonelajes de los Yacimientos Minerales	106
4.6 Análisis de tiempos que se utilizan en levantamientos topográficos	106
4.7 Análisis de costos de los equipos.....	108
4.8 Discusiones	109
CAPÍTULO V	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
5.1 Conclusiones	110
5.2 Recomendaciones	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
ANEXOS.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Dron ala fija.....	9
Figura 2 Dron multirrotor Cuadricóptero.	10
Figura 3 Dron Predator B lanzando un misil Hellfire US Army.	11
Figura 4 Patrón de vuelo fotogramétrico tradicional.....	14
Figura 5 Planificación de vuelo de yacimiento mineral, canteras y áreas construidas.	15
Figura 6 Patrón de vuelo fotogramétrico circular.....	16
Figura 7 Relación entre escala imagen (m_b) y plano (m_k).....	17
Figura 8 Esquema que determina la altura de vuelo.....	18
Figura 9 Escala con terreno variable.	19
Figura 10 Área cubierta por imagen.	20
Figura 11 Toma fotográfica de un modelo.	20
Figura 12 Superficie cubierta por una fotografía.....	21
Figura 13 Traslape transversal o recubrimiento lateral.	22
Figura 14 Punto de control y distribución de los Pc.....	24
Figura 15 Mission Planner: Planificador de misiones abiertas.....	26
Figura 16 Modelo digital de elevaciones (MDE) y Modelo digital del terreno (MDT).	29
Figura 17 Precisión planimétrica con 4 puntos en las esquinas del bloque, para bloque cuadrados $ns \times nm$. (ns = número de pasadas, nm = número de modelos en cada pasada). (Krauss, K.).....	33
Figura 18 Precisión planimétrica con un denso modelo de puntos de apoyo a lo largo de los bordes del bloque, para bloques cuadrados $ns \times nm$	34

	Pág.
Figura 19 Precisión planimétrica con un denso modelo de puntos de apoyo a lo largo de los bordes del bloque y un punto de apoyo en el centro del bloque, para bloques cuadrados $n_s \times n_m$	35
Figura 20 Patrón ideal de apoyo altimétrico.....	37
Figura 21 Firma espectral en diferentes unidades de rocas.....	39
Figura 22 Imagen satelital con accesibilidad de Cajamarca a Zona Minera.....	42
Figura 23 GPS diferencial (R10 y R12).....	47
Figura 24 Dji Matrice 350 RTK.....	49
Figura 25 Cámara fotográfica del dron Dji Zenmuse P1 para fotometría.....	49
Figura 26 Diagrama de flujo del método con dron.....	52
Figura 27 Levantamiento fotogramétrico con dron (RPAS).....	52
Figura 28 Punto de control 1.....	53
Figura 29 Resultado del diseño en terreno montañoso: base en el aire y separación entre líneas.....	58
Figura 30 Resultados del diseño en terreno montañoso.....	59
Figura 31 Ruta de vuelo con la cámara apuntando hacia el yacimiento mineral.....	60
Figura 32 Creación del polígono delimitando la zona de interés.....	61
Figura 33 Parámetros para Generación de vuelo por polígono y grilla.....	62
Figura 34 Generación de vuelo por polígono y grilla.....	63
Figura 35 Polígono en Google Earth.....	64
Figura 36 Pix 4D: Sistema de coordenadas.....	65
Figura 37 RayCloud.....	66
Figura 38 Corrección de las fotos.....	67

	Pág.
Figura 39 Superficie con un mayor detalle de realismo de nuestro levantamiento.	68
Figura 40 Curvas de nivel de los Yacimientos minerales	70
Figura 41 Ráster del Modelo Digital de Terreno de los Yacimientos de minerales.....	71
Figura 42 Nube de puntos del procesamiento fotogramétrico en el software Pix4d mapper.....	72
Figura 43 Modelo Digital de Superficie del yacimiento de mineral.	74
Figura 44 Ráster del Modelo Digital de Terreno del Yacimiento de mineral.	75
Figura 45 Ortomosaico del Yacimiento de mineral.	76
Figura 46 Curvas de nivel de los yacimientos YM1 y YM2.	77
Figura 47 Cargar los puntos de control.	79
Figura 48 Colocar marcador.....	80
Figura 49 Está ubicado en la imagen con los PC.	81
Figura 50 Creación de Malla.	81
Figura 51 Textura.	82
Figura 52 Modelo digital de Elevaciones (MDE).	83
Figura 53 Curvas de Nivel con la Fotogrametría.	84
Figura 54 Posición relativa de las proyecciones de los puntos del yacimiento de mineral YM1.....	86
Figura 55 Posición relativa de las proyecciones de los puntos del yacimiento de mineral YM2.....	87
Figura 56 Curvas de nivel sección 2 m - GPS y AGISOFT.....	88
Figura 57 Curvas de nivel sección 2 m GPS y PIX4D.....	88

	Pág.
Figura 58 Altimetría de Yacimiento mineral - GPS Diferencial y Agisoft -V 5m.....	89
Figura 59 Curvas de nivel sección 2 m GPS y PIX4D.....	90
Figura 60 Altimetría de Yacimiento Mineral YM2 GPS Diferencial y Pix4D -V 5m.....	90
Figura 61 Ubicación de YM1 y YM2.....	91
Figura 62 Ubicación de YM3, YM4 y YM5.	92
Figura 63 Ubicación de los Yacimientos Minerales en la zona minera de Hualgayoc.	93
Figura 64 Comparación de superficies de los programas Agisoft Metashape y Pix4D mapper del dron RTK con el GPS diferencial.	95
Figura 65 Área y volumen GPS Diferencial.....	96
Figura 66 Área y volumen Agisoft Metashape.....	97
Figura 67 Área y volumen Pix4d Mapper.	98
Figura 68 Análisis Área m ² de YM1	99
Figura 69 Análisis Volumen m ³ de YM1.....	100
Figura 70 Grafica del Análisis Tonelaje tn.....	100
Figura 71 Grafica del Análisis de tendencias del YM1.....	101
Figura 72 Grafica del Análisis de Error Absoluto YM1.	102
Figura 73 Grafica del Análisis de Error Relativo de YM1.....	103
Figura 74 Grafica del Análisis de Exactitud del YM1.	103
Figura 75 Yacimiento Mineral MY2	104
Figura 76 Grafica del Análisis de Exactitud del YM2.	105
Figura 77 Criterios de análisis de tiempo entre métodos de medición-horas.....	107
Figura 78 Análisis de costo para Estación Total, Dron y GPS.....	108

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Para las escalas podemos detectar el tamaño mínimo de los objetos.	17
Tabla 2: Los porcentajes de recubrimientos que recomienda Pix4D y Agisoft.....	22
Tabla 3 Coordenadas UTM del Centro Minero Hualgayoc.	41
Tabla 4 Distancia y tiempo de Cajamarca a Hualgayoc.....	41
Tabla 5 Equipos de operación manual de topografía	47
Tabla 6 Especificaciones técnicas de dron Dji Matrice 350 rtk	48
Tabla 7 Cámara para dron DJI Zenmuse P1 para fotogrametría.	50
Tabla 8 Los puntos de control que hemos utilizado son 5 Pc y PF.	53
Tabla 9 Parámetros iniciales para vuelo sobre terreno montañoso.	54
Tabla 10 Parámetros establecer para nuestra misión de vuelo.	61
Tabla 11 Punto de apoyo fotogramétrico	69
Tabla 12 Resultado obtenido de los puntos generados del proyecto.	72
Tabla 13 Detalles y opciones del procesamiento del modelo digital de superficie y terreno.	73
Tabla 14 Detalles de curvas de nivel de yacimiento de mineral.	78
Tabla 15 Resultados del Dron.	78
Tabla 16 Resultados del Dron RTK.	78
Tabla 17 Detalles y opciones del procesamiento del modelo digital de superficie y terreno.	82
Tabla 18 Comparativo estación total – Gps (Diferencial).....	85
Tabla 19 Comparativo estación total –Dron RTK (Fotogrametría).	85

	Pág.
Tabla 20 Comparativo GPS (Diferencial) –Dron RTK (Fotogrametría).....	85
Tabla 21 Ubicación de Yacimientos Minerales.....	94
Tabla 22 Área y volumen GPS Diferencial.....	96
Tabla 23 Área y volumen Agisoft Metashape	97
Tabla 24 Área y volumen Pix4d Mapper de YM1.	98
Tabla 25 Análisis de Área de YM1.	99
Tabla 26 Análisis Volumen de YM1.....	99
Tabla 27 Análisis Tonelaje de YM1.....	100
Tabla 28 Análisis de tendencias del YM1.....	101
Tabla 29 Error Absoluto de YM1.....	101
Tabla 30 Error Relativo de YM1.....	102
Tabla 31 Análisis de Exactitud del YM1.....	103
Tabla 32 Área, volumen y tonelaje Pix4d Mapper de YM2.....	105
Tabla 33 Análisis de Exactitud del YM2.....	105
Tabla 34 Resumen de las Áreas, volúmenes y tonelajes de los Yacimientos Minerales	106
Tabla 35 Características topográficas en condiciones comunes.....	106
Tabla 36 Criterios de análisis entre métodos de medición.....	107
Tabla 37 Análisis de costo para Estación Total, Dron y GPS.....	108

LISTA DE ABREVIATURAS

MDE:	Modelo Digital de Elevaciones
MDS:	Modelo Digital de Superficie
MDT:	Modelo Digital de Terreno
GSD:	Distancia de muestra en la tierra (Ground Sample Distance).
UTM:	Universal Transversal de Mercator
PSAD-56:	Provisional South American Datum 1956
WGS-84:	World Geodesic System 1984
ASCII:	American Standard Code for Information Interchange
ASPRS:	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
GNSS:	Global Navigational Satellite System
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global
LAS:	Log ASCII Standard
PC:	Puntos de Control
PNOA:	Programa Nacional de Ortofotografía Aérea
QGIS:	Quantum GIS
NE:	Noreste
RGB:	Red, Green, Blue
RMS:	Error Medio Cuadrático
SIG:	Sistema de Información Geográfica
TIN:	Red de Triángulos Irregulares
PCF:	Punto de control fotogramétrico

RESUMEN

Esta investigación se desarrolló en la zona minera Hualgayoc y tuvo por objetivo utilizar el dron Matrice 350 RTK para una mejor ubicación de yacimientos minerales. Iniciando con la planificación y diseño de vuelo, realizando una aplicación que facilitó los cálculos del diseño y parámetros de vuelo para obtener un mayor nivel de detalle de las superficies de los yacimientos minerales. Para obtener los datos Dtm y curvas de nivel se utilizó dos programas en procesamiento fotogramétrico. Se comparó entre los métodos de levantamiento topográfico: la Estación total, GPS diferencial y el dron para obtener el más preciso en ubicación, área, volumen y tonelaje utilizando el Minesight. Finalmente analizamos las diferencias de tiempos y costos. Resultando una óptima ubicación de cinco yacimientos minerales de tipos: III, Pórfido Cu-Au y de rocas de Landsat-8: granitoides y dioritas, en precisión de aerotriangulación tenemos una desviación mínima este de - 0.180m, norte de 0.111m y altitud de 0.358m. En el cálculo del área, volumen y tonelaje de los cinco yacimientos se obtuvo una precisión de 100% con el método de Dron-Pix4D, resultando el total del yacimiento mineral YMT el área 780237.61m^2 , volumen de 3455895.78m^3 y tonelaje 9330918.65tn . El método con dron el Matrice 350 RTK se realizó en un total de 64 minutos de los cuales 24 minutos es en campo y 40 minutos en oficina, resultando un menor tiempo del 62 %. Para el costo fue el menor de s/58,556.1, obteniendo un ahorro del 15 % de los demás métodos.

Palabras claves: Planificación y Diseño de Vuelo, Dron Matrice 350 RTK, Levantamiento Topográfico, Fotogrametría, Aerotriangulación, Yacimientos Minerales.

ABSTRACT

This research, conducted in the Hualgayoc mining area, aimed to utilize the Matrice 350 RTK drone to better locate mineral deposits. It began with flight planning and design, developing an application that facilitated design calculations and flight parameters to obtain greater detail on the mineral deposit surfaces. Two photogrammetric processing programs were used to obtain DTM data and contour lines. A comparison was made between topographic survey methods: total station, differential GPS, and the drone to obtain the most accurate method for location, area, volume, and tonnage using Minesight. Finally, we analyzed the differences in time and costs. Resulting in an optimal location of five mineral deposits of types: III, Porphyry Cu-Au and Landsat-8 rock types: granitoids and diorites, in aerotriangulation precision we have a minimum deviation and offset east of - 0.180 m, north of 0.111 m and altitude of 0.358 m. In the calculation of the area, volume and tonnage of the five deposits, an accuracy of 100% was obtained with the Dron-Pix4D method, resulting in the total area of the YMT mineral deposit 780237.61m², volume of 3455895.78m³ and tonnage 9330918.65tn. The method with the Matrice 350 RTK drone was carried out in a total of 64 minutes, of which 24 minutes were in the field and 40 minutes in the office, resulting in a 62% reduction in time. For the cost, it was the lowest at S/58,556.1, obtaining a savings of 15% compared to the other methods.

Keywords: Flight Planning and Design, Matrice 350 RTK Drone, Topographic Survey, Photogrammetry, Aerial Surveying, Mineral Deposits.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el progreso de nuevas tecnologías ha sido vital para el avance de la humanidad. Como parte de la corriente tecnológica actual, la automatización también contribuye a la seguridad de los trabajadores al encargarse de tareas peligrosas. Y evidentemente tendrá un espacio en casi todas las áreas que comprende una actividad minera, desde la topografía en la etapa de exploración hasta actividades de cierre de mina. Las posibilidades de mejora que brindaría esta tecnología dentro de la minería son innumerables, eliminaría prácticamente todos los riesgos que representan ciertas labores para los trabajadores en casi todas las áreas, tales como perforación, voladura, acarreo, mantenimiento, topografía, procesamiento, entre otros.

El problema se plantea en: ¿De qué forma la utilización del dron Matrice 350 RTK permitirá una mejor ubicación de yacimientos minerales en la zona minera de Hualgayoc? Cuya hipótesis es la utilización del dron Matrice 350 RTK obtiene datos más precisos y evita menos horas hombre automatizando los procesos, lo que ha generado y permitirá evaluar a través de la fotogrametría y poder optimizar la ubicación de yacimientos minerales en la zona minera de Hualgayoc permitiendo minimizar los costos y peligros a los trabajadores.

La justificación de la tesis se hace debido mayores tiempos en preparar los equipos topográficos, presencia de peligros para los trabajadores, demoras del levantamiento que causan impresión en la ubicación de yacimientos minerales y aumento de costos de los levantamientos topográficos.

Siendo el objetivo principal: utilizar el dron Matrice 350 RTK para una mejor ubicación de yacimientos minerales en la zona minera de Hualgayoc. Y los objetivos específicos, primer objetivo: Realizar la planificación de vuelo, diseño de vuelo y plan de vuelo, segundo

objetivo: Procesar y generar productos fotogramétricos para determinar la precisión de aerotriangulación, tercer objetivo: Comparar la precisión del levantamiento y el nivel de detalle del dron de las mediciones de área, volumen y tonelaje, cuarto objetivo: Determinar la diferencia de tiempos que se utilizan en levantamientos topográficos del yacimiento minerales y el quinto objetivo: analizar el costo de los equipos.

La investigación se desarrolla en cinco capítulos: El Capítulo I contiene el planteamiento del problema, justificación, delimitación y objetivos planteados en la investigación. El Capítulo II, contiene el marco teórico de la investigación, con los antecedentes teóricos, bases teóricas en las cuales se ha fundamentado la investigación y definición de términos básicos. En el capítulo III, se realiza un detalle de los materiales y métodos describiendo la ubicación geográfica de la zona de estudio, la metodología de la investigación y las técnicas e instrumentos de recolección de datos. En el capítulo IV; se realiza el análisis y discusión de resultados, exponiéndose los resultados a la vez contrastándose con la hipótesis y el Capítulo V contiene las conclusiones y recomendaciones finales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Claros et al. (2020) en su tesis: “Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados”. Afirma que la utilización de las aeronaves no tripuladas (UAV o drones) constituyen una herramienta adecuada reduciendo el tiempo del trabajo de campo y permitiendo obtener resultados confiables y comparables con otros instrumentos topográficos y fotogramétricos convencionales, presentando muchas ventajas al campo fotogramétrico y dentro del área de la ingeniería.

Jimenez et al. (2019) en su tesis: “Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con estación total como método directo y el uso de drones y GPS como métodos indirectos” dice: Las coordenadas obtenidas en el levantamiento de la bóveda en la Universidad de El Salvador, realizado con estación total respecto a las obtenidas con GPS en sistema RTK presentan desviaciones que varían en un rango de 1.00 a 3.50 cm; así también el comparativo entre estación total y Dron presentan desviaciones que varían en un rango de 1.00 a 5.00 cm considerando que el uso de estación total conlleva más errores. Los datos obtenidos en campo con el Dron y las medidas obtenidas con la estación total, ambos equipos georreferenciados, tienen resultados muy similares, sin embargo, el segundo método es el más viable por su versatilidad.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Bustamante (2022) en su tesis de pregrado titulada “Optimización de levantamientos topográficos aplicado a stocks de mineral mediante uso de fotogrametría con dron phantom 4 en una mina superficial de hierro en la costa sur del Perú” afirma que el dron soporta

vientos de hasta 36 km/h. Mediante los levantamientos topográficos realizados, se llegó que la precisión del dron, al momento de realizar el levantamiento, es inferior a la precisión de una estación total, con una diferencia de $\pm 3 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ por cada 500 m, mientras que el margen de error del dron es de 3 a 5 cm, lo cual lo hace más impreciso. Por otro lado, el nivel de detalle de la superficie obtenida por el dron es muy superior al de la estación total, ya que el dron genera miles de puntos gracias a las fotografías que toma.

Ocsa y Barreda (2022) en su tesis denominada “Aplicación de dron para elaborar modelos digitales en frente de minado, Unidad Minera Las Bambas” sostienen: Que la aplicación del dron permite elaborar modelos digitales de alta precisión, el cual a partir de este modelamiento digital permite calcular el volumen de mineral fragmentado en el frente de carguío en menor tiempo, costo y altamente seguro. Se determinó que el tiempo de levantamiento topográfico con dron está en un tiempo de 15 a 20 min.

2.1.3. Antecedentes Locales

Según Marin y Vilela (2023) en su estudio: Comparar un levantamiento fotogramétrico con un levantamiento topográfico en un tramo de la red Cajamarca – Celendín. Concluye el Costo: el levantamiento fotogramétrico es un 50% más económico que el topográfico. Tiempo: es más rápido en campo, el procesamiento de datos en oficina toma más tiempo debido al volumen generado. Precisión: se detectaron errores en la elevación del fotogramétrico que llegaron a 1.50 metros. A pesar de esto, las superficies coincidieron en las áreas con puntos de apoyo.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Topografía

La topografía es la ciencia que estudia los métodos para conseguir una representación gráfica de la superficie terrestre, ya sean naturales o artificiales. Estos mapas topográficos muestran la elevación del terreno mediante cotas que generan las curvas de nivel. La topografía es usada en variedades de campos, tales como: arquitectura, arqueología, geografía, geología, ingeniería de minas y civil. Como indicábamos la topografía es una ciencia de principios geométricos en la práctica a la descripción de una sección diminuta de la tierra, en caso de que nos refiramos de la zona urbana, tenemos que la representación está compuesta de muros, edificios, calles, carreteras entre otras, y es en caso de la zona rural tendríamos a las representaciones de zonas como solares, campos de vegetación, desierto y sembrío.

Para la toma de datos topográficos se utilizan diferentes instrumentos, entre los cuales destacan:

- Estación total: Es un dispositivo óptico que incluye un distanciómetro, el cual permite medir ángulos horizontales, verticales y distancias.
 - GPS diferencial: Es una antena inteligente que ofrece posicionamiento en tiempo real mediante satélites. Destacan por su exactitud a la hora de establecer una posición.
- (Bustamante, 2022)

Teniendo en cuenta a Fuentes (2022) la topografía como cualquier otra ciencia, está en constante actualización; los métodos y equipos del presente se van actualizando, resultando más fáciles de estudiarlos y al alcance de cualquier iniciante de la topografía. Para aplicaciones más avanzadas y precisas es necesario los equipos modernos que se emplean. En menor tiempo tenemos más instrumentos que se implementan para la topografía y con una buena calidad de precisión.

Levantamiento topográfico con dron

El levantamiento con dron es un método de recopilación de datos topográficos utilizando un vehículo aéreo no tripulado (Dron Rpas) equipado con sensores y cámaras. Esta técnica ofrece ventajas mayor eficiencia, mayor precisión, acceso a áreas difíciles y flexibilidad. Según Global (2020) define que los drones han supuesto una revolución en el trabajo topográfico, en primer lugar, por la importante reducción de costos. Esto ha permitido, que proyectos que no eran viables por su elevado costo hoy se puedan realizar sin problemas. Los costos económicos o de personal, también de tiempo y seguridad. Por ejemplo, inspeccionar un terreno podía costar días o semanas dependiendo de su extensión. Hoy en día con un dron en menos de una hora se puede examinar unas cien hectáreas.

2.2.2. Fotogrametría

Principio de la fotogrametría

La fotogrametría se emplea principalmente y cada vez más en la medición de la superficie terrestre y en la representación de esta mediante planos y cartas topográficas, en primera línea un método de medida geodésico. Sus métodos se basan en el empleo de un solo fotograma o de un par de fotogramas, según el lugar desde el que hayan sido tomadas las fotografías, para generar mediciones y modelos de la zona o superficie, esto se dividen en fotogrametría terrestre y fotogrametría aérea. (Escamilla, 2017)

Además, la fotogrametría es la ciencia a través de las fotografías se logra medir la zona o terreno, esto se logra obtener su planta y su alzado, llegando a formar un plano topográfico. (Ceupe, 2024)

Clasificación de la fotogrametría

Fotometría terrestre

La Fotogrametría Terrestre consiste en el proceso de generar modelos 3D precisos del terreno a partir de fotografías capturadas desde el suelo. Este enfoque es fundamental para proyectos que necesitan mediciones minuciosas y representaciones exactas de estructuras, elementos del terreno o modelos tridimensionales con texturas. (Octoca, 2024)

Fotometría aérea

El concepto de fotografía aérea se refiere a cualquier imagen obtenida a través de un aparato volador. Además de los vehículos aéreos no tripulados (VANT), como los drones, estas fotografías pueden ser tomadas desde aviones o helicópteros. De acuerdo con el Servicio Geológico de los Estados Unidos, las imágenes aéreas son una de las formas más comunes de teledetección o evaluación de las superficies de un área desde la distancia. (Dji, 2021)

Fotometría analógica

Emplea fotografías impresas para crear modelos estereoscópicos mediante sistemas ópticos y mecánicos. Esta es una de las técnicas fotogramétricas más antiguas y actualmente no se encuentra en uso. (Ceupe, 2024)

Fotometría digital

Según Gómez (1989) define en la fotogrametría digital se utiliza como dato de entrada las fotografías aéreas inicialmente convertidas a formato digital, generando el modelo espacial de sistema numérico y digital; los softwares aplicados dan origen a los modelos digitales del terreno 3D.

Fotometría analítica

Se resalta la llegada de los ordenadores electrónicos, que representó un avance significativo en el área de la fotogrametría. En esta fase, se puede señalar que la recopilación de datos es de naturaleza analógica, mientras que el modelado geométrico se basa en principios matemáticos. (Ceupe, 2024)

Fotometría con drones

Tenido en cuenta la fotometría con drones es uno de los campos de mayor impacto es en la topografía, donde gracias a ellos es posible realizar levantamientos topográficos de gran precisión en poco tiempo, suministrando a los procesos de ingeniería información completa y confiable. La escala de trabajo de los drones los convierte en una herramienta ideal para cubrir la brecha existente entre los levantamientos con aerofotografía y los levantamientos convencionales por tierra. (Insights, 2019)

2.2.3. Dron o Vehículo Aéreo no Tripulado (VANT)

Un dron, Vehículo Aéreo no Tripulado (VANT) o Unmanned Aerial Vehicle (UAV) por sus siglas en inglés, es un dispositivo volador sin tripulación que opera a través de un control remoto que son usados en diversas misiones o actividades. El dron está suministrado con complementos tales como: cámara, luces led, baterías, hélices, protectores, entre otros.

Los drones se utilizan para realizar tareas que serían difíciles, peligrosas o costosas de llevar a cabo utilizando medios convencionales. En resumen, los drones son herramientas útiles y versátiles que pueden ayudar a las empresas y organizaciones a ser más eficientes y efectivas en sus operaciones. (Apd, 2019)

Los drones pueden recopilar información espacio temporal de manera rápida, y se pueden componer con muchas técnicas para dar aplicaciones a múltiples ingenierías. (Ayala, 2017)

Tipos de Drones

Según Apd (2019) menciona que los drones se pueden clasificar de diversas maneras, según varias factores y características. Existen drones aéreos, terrestre y submarinos. Respecto a los drones aéreos que son en los que nos enfocaremos, los encontramos de tipo multirrotor y ala fija. La importancia de diferenciar cada uno, es clave para sacar el mayor provecho para el trabajo que desea realizar, ya que estas son herramientas extremadamente útiles.

Clasificación por tipo de ala

Esta clasificación está dada por un modo en el que el operador tiene el control principal de las funciones del dron, con el respaldo de sistemas como el GPS, giroscopios, de seguridad del equipo y otras funciones.

- Ala fija: Estos equipos debido a su forma aerodinámica tienen la capacidad de aprovechar el viento lo cual les permite mantenerse en el aire de manera estable. En general puede decirse que su estética o diseño es muy parecido a los aviones de radiocontrol y son utilizados para realizar mapeos de superficies extensas. En algunos drones utilizan propulsores en lugar de hélices para mantenerse en el aire durante sus vuelos, sin embargo, a mayor limitación es la falta de estabilidad.



Figura 1 Dron ala fija

Fuente: Dron Net, 2024.

- Ala Rotatoria (multirrotores): Cuando se habla de la clasificación de acuerdo con el número de hélices o rotores que el dron posee podemos encontrar:
- Tricopteros (tres hélices): Son drones que se componen por tres rotores verticales, que son las tres hélices. Estos tienen funciones muy simples, son fáciles de reparar y en la mayoría son más económicos. Estos por su facilidad, son utilizados por los aficionados, como principiantes y por niños en modo de juguete. (Apd, 2019)
- Cuadricóptero (cuatro hélices): Estos drones son propulsados por cuatro rotores que contienen a las hélices. Estos drones tienen mayor potencia y estabilidad que los

tricópteros, por este motivo son más profesionales para filmar o fotografiar. Estas aeronaves, tiene enorme potencia de elevación, esto lo permite mantenerse estables y volar en toda dirección. (Apd, 2019)



Figura 2 Dron multirrotor Cuadricóptero.

Fuente: Piloto de dron, 2016.

- Octacópteros (ocho hélices): respecto a los octacopteros APD (2019) define que este dron tiene ocho rotores que contiene a las hélices rotando al mismo tiempo. Son muy veloces y tienen la eficiencia de volar bajo la lluvia como en fuertes vientos. En sus características, estos drones tienen la eficiencia de grabar videos y tomar fotografías con mucha estabilidad y buena calidad. Estos drones su ventaja es de transportar cargas de gran peso, si llega a sufrir daños en uno o en cuatro hélices seguiría volando con estabilidad.

Clasificación según su uso

Los drones son divididos en dos categorías según su uso: civil y militar. Los drones militares y civiles tienen igualdades en diseño y tecnología, existen diferencias significativas en su aplicación y características técnicas.

- Drones para uso civil: En esta categorización de estos dispositivos encontraremos una amplia gama que va desde drones considerados juguetes, hasta aquellos destinados a la investigación o con aplicaciones comerciales en diversas áreas. Uno de ellos es la

fotogrametría en donde se realizan mapeos en zonas extensas y poder llegar a terrenos o espacios que son poco accesibles. (Apd, 2019)

- Drones para uso militar: Según Fervimax (2019) la historia de la utilización de los drones se inicia en el ámbito militar y en la primera guerra mundial. Se conocen como drones de combate no tripulados o Unmanned Combat Air Vehicle (UCAV).

Estos drones se emplean en entrenamientos militares, operaciones de combate y en labores de apoyo a la población, como por ejemplo en la entrega de suministros en zonas de difícil acceso para ayudar en la ubicación de personas después de alguna catástrofe.



Figura 3 Dron Predator B lanzando un misil Hellfire US Army.

Fuente: US Army, 2024.

Clasificación según su modo de manejo

En la actualidad tenemos equipos que cuentan con sensores infrarrojos de la tecnología más reciente, cámaras con gran resolución, así como sistemas de GPS más avanzados y precisos. Al tener en cuenta varias características, se pueden encontrar diferentes clases de drones según su modalidad de manejo. Encontramos drones semiautomáticos, automáticos y autónomos.

- Drones semiautomáticos: Esta combinación de control manual y asistencia tecnológica ayuda a garantizar vuelos más seguros y precisos. En este modo de vuelo, el operador del dron tiene el control principal de las funciones de la aeronave, pero cuenta con el apoyo de sistemas como el GPS, giroscopios y otras medidas de seguridad integradas en el equipo.

- Drones automáticos: este método de control, el dron opera de modo similar a un piloto automático. El trabajo del operador del dron realizará una pre-programación de la misión que posteriormente el dron ejecutará. (Apd, 2019)
- Drones autónomos: Para APD (2019) esta es una forma en la que nuestro equipo opera de forma autónoma. Utilizando tecnología de Inteligencia Artificial (IA), el equipo adquiere conocimiento y toma decisiones basadas en su entorno. En sentido la presencia del operador es solo accesoria el cual no intervine.

2.2.4. Planificación de vuelo

Según Apd (2019) afirma que la planificación de vuelo con drones es un paso crítico y fundamental en cada misión aérea. Una planificación detallada no solo garantiza la seguridad del vuelo, sino que también maximiza la eficiencia y los resultados obtenidos. La planificación cuidadosa es la clave para aprovechar al máximo el potencial de los drones y lograr vuelos exitosos. La misión del vuelo fotogramétrico tiene por objetivo:

- Volar sobre el área a una altura que se determine en base a la escala deseada y a la distancia principal de la cámara.
- Es necesario que cada imagen cubra una zona específica y que cada fotograma comparta una región común con los fotogramas adyacentes, conocida como "zona de recubrimiento".

La planificación del vuelo se hace en función de la resolución o de la escala con respecto al tipo de terreno, su ubicación, sus detalles, la extensión a trabajar, condiciones meteorológicas y suma importancia la velocidad del viento. (Reuter, 2020)

Aspectos de la planificación de vuelo:

- La ubicación del lugar a trabajar y georreferenciación, coordenadas de la zona.
- El modelo de dron

- Los puntos de apoyo a considerar
- El recubrimientos longitudinales y laterales.
- El diseño de vuelo o proyecto de vuelo
- La misión de vuelo o plan de vuelo

2.2.5. Diseño de vuelo o Proyecto de Vuelo

El diseño del vuelo se realiza a través de cálculos que considera, detalles de la cámara y dron, la resolución o escala deseada, el tipo de terreno, su localización, los detalles del área, la extensión a cartografiar, las condiciones meteorológicas y velocidad del viento. Para lograr la precisión necesaria en la elaboración del MDT, se debe diseñar un proyecto de vuelo fotogramétrico, el cual se define como todos los cálculos previos a la ejecución del vuelo para lograr una alta precisión de este. (Claros et al., 2019)

A la hora de planificar un vuelo, hay varias decisiones previas, como escala del mapa, formato de fotograma, proyección del mapa, elipsoide de referencia, etc., que se deben tener en cuenta a la hora de planificar un plan, ya que afectan a las condiciones de vuelo. Existen otras condiciones relacionadas con las propiedades geométricas y fotográficas de la imagen.

Aspectos geométricos de la fotografía aérea:

- Certificado de calibración de la cámara: proporcionara los parámetros de orientación interna (distancia y altura focal, marcas fiduciales, distorsiones).
- Su escala de la fotografía.
- GSD: es una medida de la resolución espacial de una imagen aérea o satelital. Se define como la distancia entre el centro de dos pixeles adyacentes en la imagen, proyectadas sobre el terreno.
- Diseño de geométrico de vuelo
- Recubrimientos longitudinales y laterales.

- Seguridad de un recubrimiento total en toda el área.
- Arrastre de la imagen sobre la fotografía.

El diseño geométrico de vuelo es importante ya con el podremos optimizar el recorrido y tiempo, y mapear mejor la zona de vuelo.

Diseño de vuelo para generar ortomapas

En cuanto a la trayectoria a seguir será la de forma de cuadrícula (figura 4). Los solapes mínimos son entre 75% en frontal y por lo menos el 60% de lateral. La cámara está en posición totalmente perpendicular apuntando al suelo (plano cenital). (Aerial, 2019)

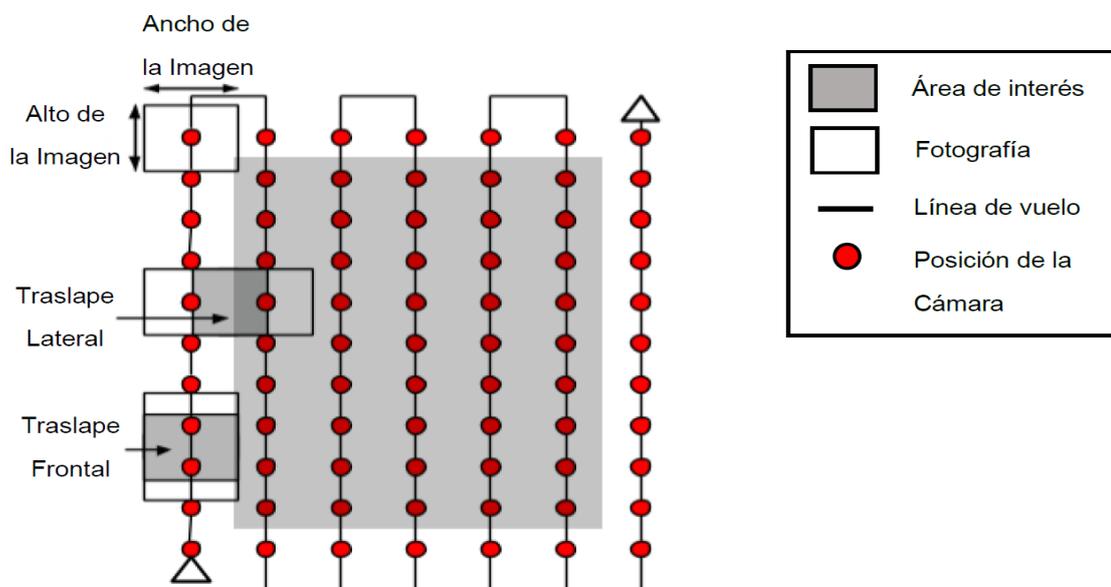


Figura 4 Patrón de vuelo fotogramétrico tradicional.

Fuente: Manual de Pix4Dmapper 2.1 recuperado en abril, 2021.

Diseño de vuelo de canteras y áreas construidas

Para crear reconstrucciones en 2D y 3D, cada región debe tener múltiples vistas alternativas para cada una de las áreas. Teniendo en cuenta ello es necesario completar una trayectoria de doble cuadrícula, es decir, completar una trayectoria como para el caso de una ortofoto y continuar con otra semejante a 90 grados. Con este tipo de trayectoria nos aseguramos de tener fotografías desde cuatro puntos (aproximados) norte, sur, este y oeste. El solape, igual

que en el caso anterior, 75% y 60%. Para que las paredes verticales puedan ser reconstruidas, es necesario que la cámara apunte en un ángulo de entre 10° y 35°. (APD, 2019)

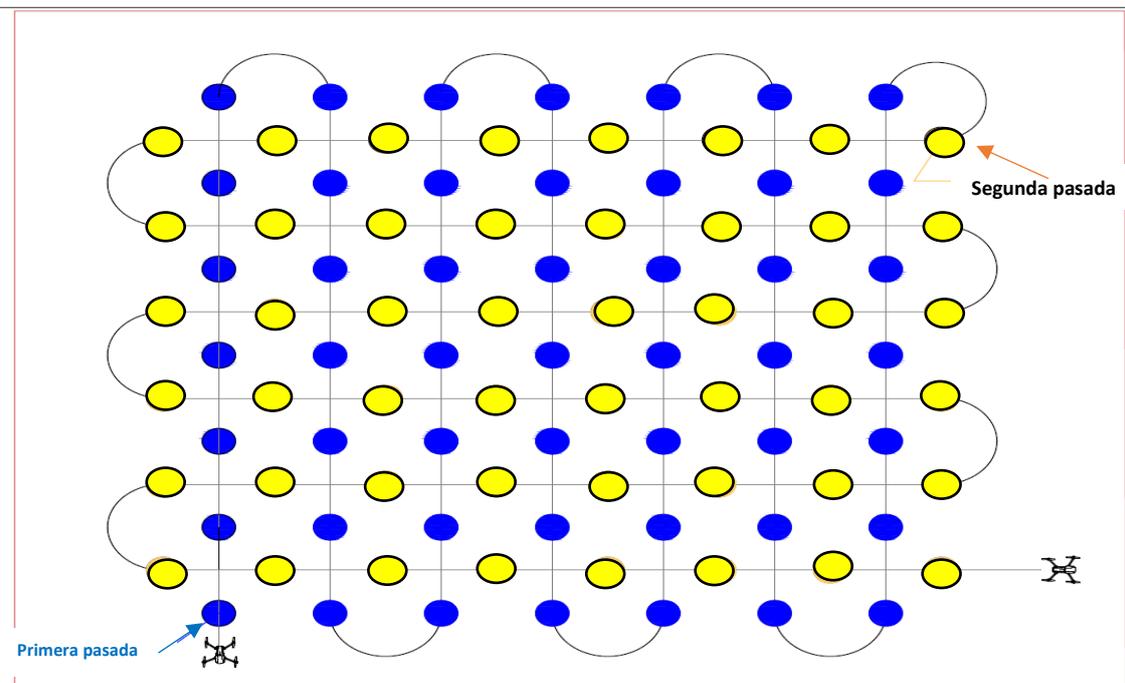


Figura 5 Planificación de vuelo de yacimiento mineral, canteras y áreas construidas.

Diseño de vuelo para generar volúmenes 3D

Esta es la mayor diferencia en comparación con la situación anterior. Lo podemos utilizar en edificios y estructuras verticales, es necesario completar tres trayectorias circulares a diferentes alturas, en un único vuelo o en varios vuelos consecutivos. La cámara debe formar un ángulo de 45° en la trayectoria más baja, 30° en la media y 10° en la más elevada. Es necesario tomar entre 40 y 80 capturas en cada una de las órbitas, es decir, cada foto estará separada de la anterior por 5° a 10° grados. En todos los casos, la cámara debe tomar como punto de interés el centro aproximado del objeto.

Para objetos muy grandes, estos valores deben cambiarse para que todavía haya una superposición igual entre las imágenes. En este caso, múltiples imágenes, cada una con un ángulo menor, y progresivamente más órbitas si el objeto está muy alto. En el conjunto de

imágenes en las que aparecen tenemos que analizarlos y arreglarlos, que es un proceso manual.

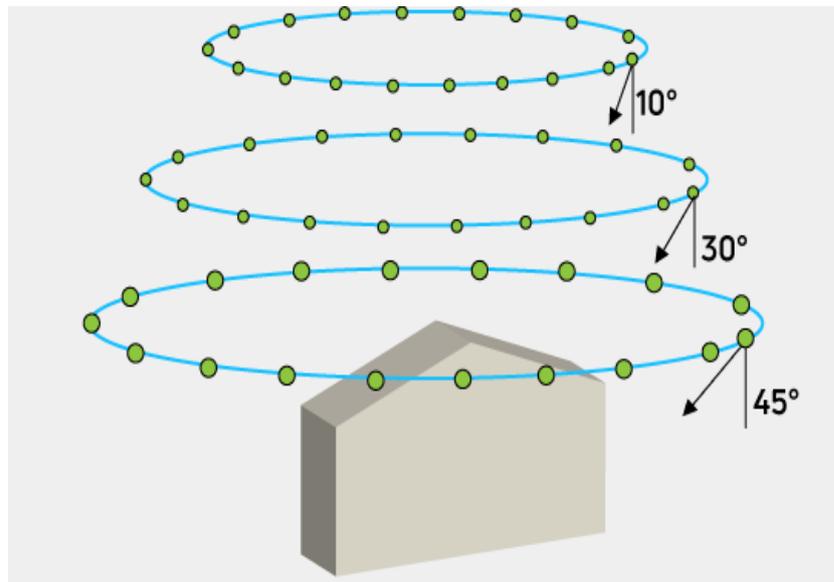


Figura 6 Patrón de vuelo fotogramétrico circular.

Fuente: Manual de Pix4Dmapper, 2021.

2.2.6. Plan de Vuelo

Durante esta etapa se tienen en cuenta diversos elementos como la accesibilidad, el clima, la topografía, las rutas de vuelo y los cálculos requeridos (altura, velocidad, traslapes y tiempo entre capturas de la cámara) que, de acuerdo con las propiedades del UAVs y la modelo cámara de color RGB, la composición o canales de imagen se basa en los colores primarios rojo (R), verde (G) y azul (B), permiten obtener del vuelo la cantidad de fotografías aéreas georreferenciadas necesarias para la generación de un MDT de alta exactitud. Para lograr la precisión requerida al preparar un DTM.

Para el plan del vuelo se debe considerar los siguientes factores

Elección de la escala de la fotografía: La elección de la escala de la fotografía es función de la escala de representación (escala del plano a representar) y del tamaño de los objetos que queremos detectar; es el primer problema que hay que resolver. La relación entre la escala de la imagen ($M_b=1/m_b$) y la escala del plano ($M_k=1/m_k$) que se trata de obtener por medios

fotogramétricos, viene dada según el ábaco de la (Fig.7), relación que se justifica en el tema de teoría de errores.

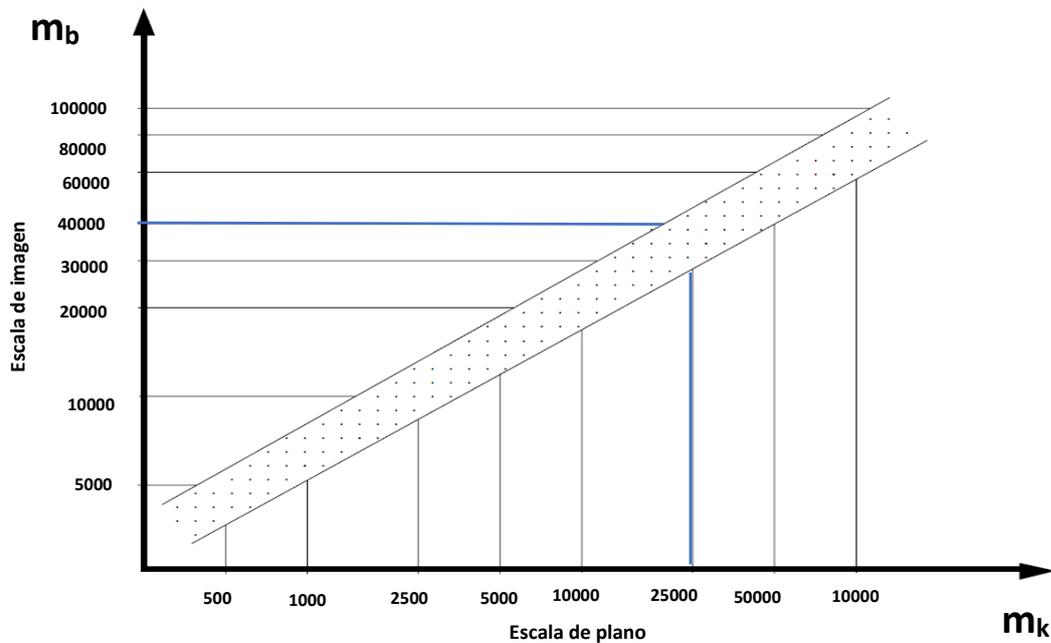


Figura 7 Relación entre escala imagen (m_b) y plano (m_k).

Fuente: Pérez, 2001.

Por otro lado, las proporciones de la imagen limitarán el tamaño del objeto. Adoptamos la definición de puntos correspondientes a los detalles naturales del terreno, utilizando equipos con elementos de ampliación de imagen, los siguientes valores

- $m_l = 0.02$ mm (Para cualquier punto en condiciones normales de observación.).
- $m_l = 0.01$ mm (Detalle natural muy nítido o punto de apoyo señalado artificialmente en el terreno).

Por ejemplo, para las siguientes escalas podemos detectar el tamaño mínimo de los objetos:

Tabla 1 Para las escalas podemos detectar el tamaño mínimo de los objetos.

1: m_b	1:5000	1:10000	1:20000	1:30000
Pto natural cualquiera	0.10 m	0.20 m	0.40 m	0.60 m
Pto de Apoyo (Control)	0.05 m	0.10 m	0.20 m	0.30 m

Fuente: Santamaria y Sanz, 2011.

- **Altura de vuelo:** Una vez que se haya establecido la escala de la imagen y se conozca la distancia principal desde la cámara de la toma, es posible calcular la altitud de vuelo sobre el terreno.

$$H = \frac{GSD * d_f * A_{Imagen}}{A_s * 100} \quad [Ec. 1]$$

Donde:

H = Altura de vuelo (m)

GSD = Distancia de muestreo en la tierra (cm/píxel)

A_s = Anchura del sensor optimo (mm)

d_f = Distancia focal (mm)

A_{Imagen} = Ancho de imagen (píxel)

Para calcular el ancho de imagen se utiliza la ecuación:

$$A_{Imagen} = \frac{d}{GSD} \quad [Ec. 2]$$

Donde:

d = Distancia cubierta en el suelo por una imagen

De las ecuaciones 1 y 2 se obtiene de la figura

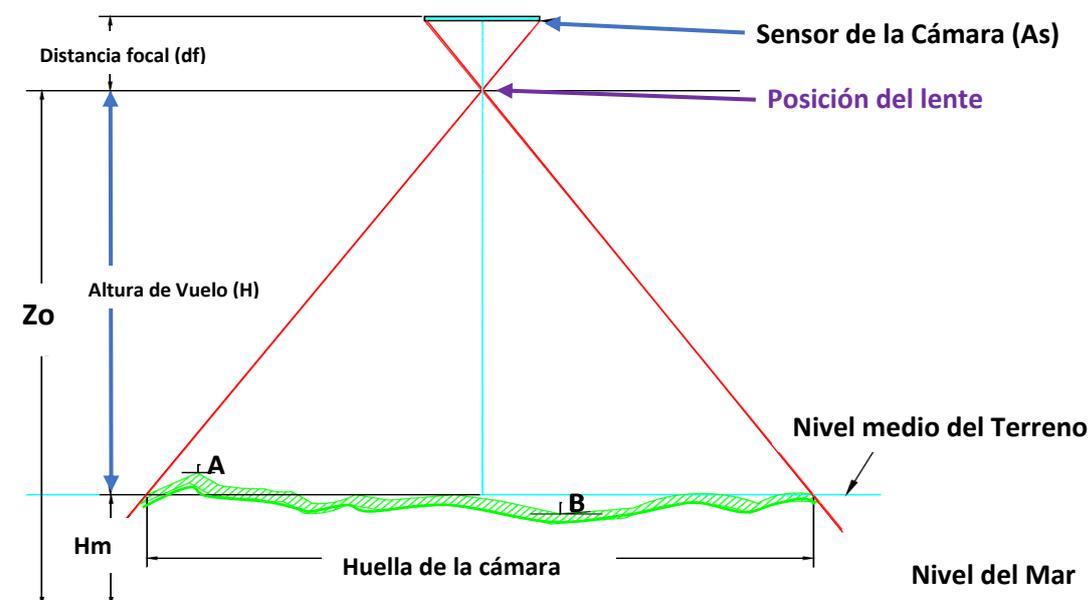


Figura 8 Esquema que determina la altura de vuelo

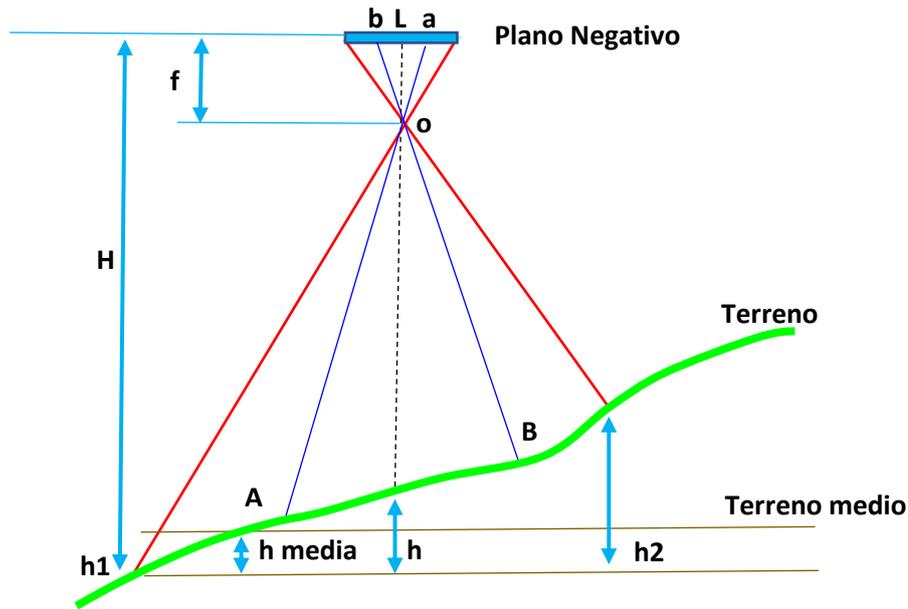


Figura 9 Escala con terreno variable.

Para calcular la escala media se utiliza la ecuación:

$$\frac{1}{Em} = \frac{f}{H-hm} \quad hm = \frac{h1+h2}{2} \quad [\text{Ec. 3}]$$

Se sugiere mantener una altitud constante durante la fotogrametría para garantizar un nivel uniforme de detalle en las imágenes y facilitar el procesamiento al encontrar más puntos comunes. Esto resulta en un Modelo Digital del Terreno (DTM) más preciso. También es importante tener en cuenta las restricciones de altura debido al tráfico aéreo en la zona de estudio y calcular la escala de la fotografía (m_b) utilizando la ecuación correspondiente:

$$m_b = \frac{H}{d_f} \quad [\text{Ec. 4}]$$

- Ancho y alto de las imágenes: los parámetros indican la medida en metros que captura cada fotografía o la distancia cubierta en el suelo por una imagen, estas son conocidas como huellas de la cámara siendo las ecuaciones que la determinan las siguientes:

$$A_h = \frac{GSD \cdot AN_i}{100} \quad [\text{Ec. 5}]$$

$$A_a = \frac{GSD \cdot AL_h}{100} \quad [\text{Ec. 6}]$$

Donde:

A_h y A_a = Ancho y alto de huella respectivamente (m)

AN_i y AL_h = Ancho y alto de huella respectivamente (m)

Tanto AN_i como AL_h son obtenidos de la cámara RGB.

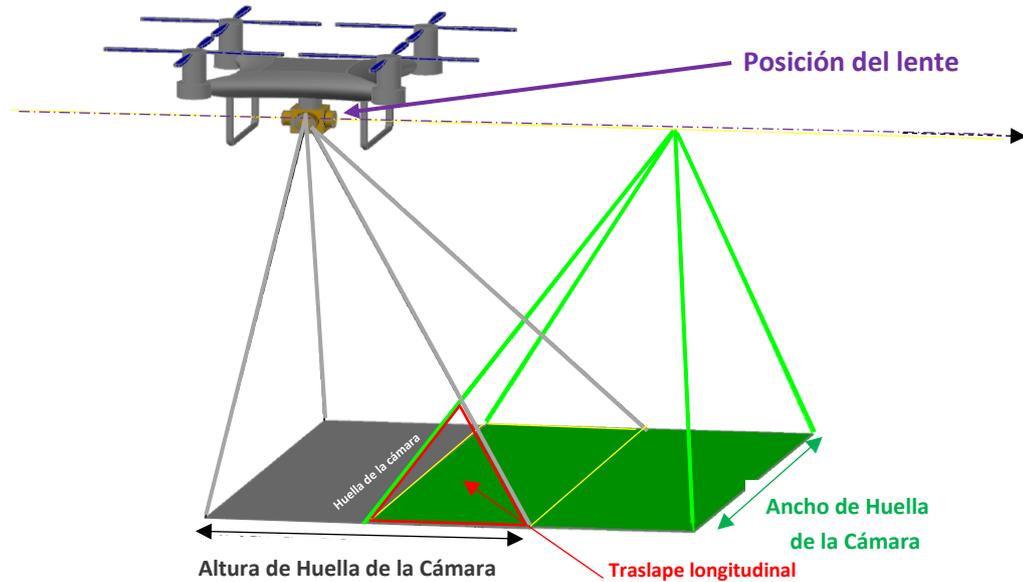


Figura 10 Área cubierta por imagen.

- Traslape longitudinal o recubrimiento longitudinal: Para aplicar el principio de visión estereoscópica es necesario realizar traslapes longitudinales y transversales, lo que permite entrelazar las imágenes. Los traslapes dependen del relieve del terreno, la inclinación del eje de la cámara y las variaciones de la altura de vuelo. En el caso del perfil longitudinal para determinar la distancia que debe existir entre cada toma que permite lograr el traslape necesario se consideran las siguientes figuras:

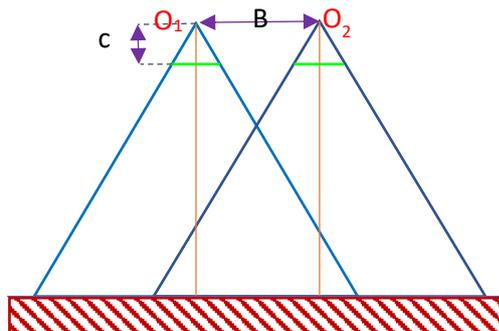


Figura 11 Toma fotográfica de un modelo.

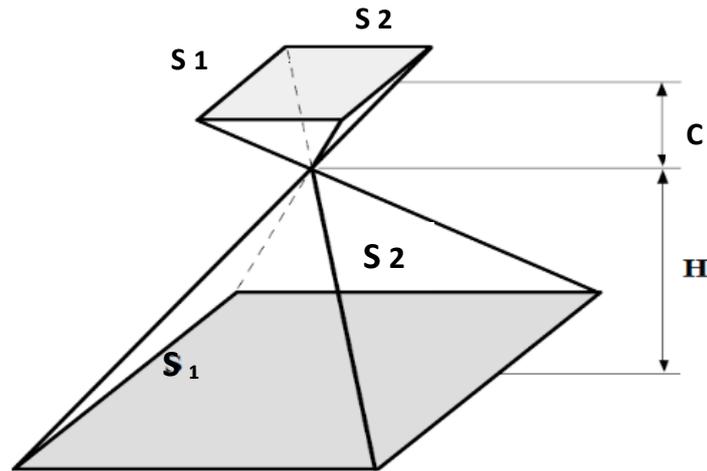


Figura 12 Superficie cubierta por una fotografía.

Fuente: Santamaria y Sanz, 2011.

- De estas se tiene que $S_1 = m_b * k_1$ y $S_2 = m_b * k_2$, donde m_b es la escala de la fotografía y B es la distancia entre dos fotografías que es denominada base aérea, la cual es determinada con la siguiente ecuación.

$$B = S_1 * (1 - p) = S_1 * m_b * (1 - p) = S_1 * m_b * \left(1 - \frac{p\%}{100}\right) \quad [\text{Ec. 7}]$$

$p\%$ = Traslape longitudinal expresado en porcentaje.

El traslape longitudinal se debe considerar una tolerancia del $\pm 5\%$

- Traslape transversal o recubrimiento lateral (Bloques de bandas paralelas): En el caso del traslape transversal, el recubrimiento debe ser lo más paralelo posible entre pasadas. La distancia entre los ejes subyacentes T se obtiene de la ecuación.
- Para abarcar un área amplia, es necesario colocar varias bandas en forma lateral respecto a la primera. Estas bandas deben ser paralelas y superponerse de manera que no quede ningún espacio sin cubrir. El solapamiento lateral debe ser lo más reducido posible para reducir la cantidad de clichés necesarios, siendo A la distancia entre dos ejes de vuelo consecutivos, es necesario que en terreno llano A sea menor que S_2 .

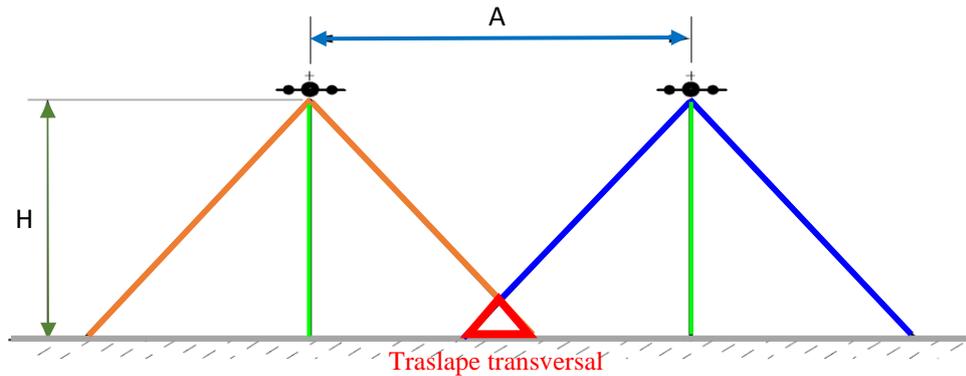


Figura 13 Traslape transversal o recubrimiento lateral.

Fuente: Santamaria y Sanz, 2011.

Hay que tener en cuenta de los defectos de recubrimiento lateral pueden ser resultado de:

- La inclinación del eje transversal.
- Las superficies del terreno.
- Equivocaciones durante la realización de tareas de mantenimiento de la altitud.
- Errores en la apreciación de la magnitud A.
- Fallo en la corrección de la desviación.
- Dificultades en el mantenimiento de una trayectoria fija.

$$A = T = S_2 * (1 - q) = S_2 * m_b * (1 - q) = S_2 * m_b * \left(1 - \frac{q\%}{100}\right) \quad [\text{Ec. 8}]$$

$q\%$: Traslape transversal expresado en porcentaje.

Para los vuelos fotogramétricos, los porcentajes de recubrimientos que recomienda, Pix4D y Agisoft (Softwares utilizados) se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Los porcentajes de recubrimientos que recomienda Pix4D y Agisoft

Características del terreno	Frontal (%)	Lateral (%)
General	75	60
Cultivos agrícolas	85	70
Vegetal, densa, cuerpos de agua	85	70
Desértico, nieve	85	75

Fuente: Mission Planner, Pix4D y Agisoft, 2023.

Un aumento en el nivel de traslape permite que los programas de procesamiento de imágenes identifiquen una mayor cantidad de puntos comunes entre las imágenes, lo que resulta en una mayor precisión de los puntos en 3D. Esta mejora es especialmente importante en situaciones donde hay elementos difíciles de identificar, como cuerpos de agua, nieve, bosques y vegetación densa. En estos casos, puede ser necesario incrementar aún más los niveles de traslape, como se indica en la Tabla 4. Además, se recomienda aumentar la altura de vuelo en estas circunstancias para reducir la distorsión de la perspectiva.

- Determinación del GSD: teniendo en cuenta a las ecuaciones deben estar disponibles en el dron. Tenemos dos fórmulas:

➤ Para la altura

$$GSD \ h = \frac{\text{Altura de vuelo} \times \text{Altura del sensor}}{\text{Distancia Focal} \times \text{Altura de la imagen}} \quad [\text{Ec. 9}]$$

➤ Para la anchura del GSD

$$GSD \ w = \frac{\text{Altura de vuelo} \times \text{Altura del sensor}}{\text{Distancia Focal} \times \text{Altura de la imagen}} \quad [\text{Ec. 10}]$$

El número de GSD relevante será el valor más bajo, para garantizar que se utiliza el peor de los escenarios posibles.

- Velocidad de Vuelo: la velocidad depende del dron a utilizar porque estos en muchos casos traen diferentes niveles de velocidad (V). La selección del nivel está relacionada con las condiciones de viento, la distancia entre fotografías (B) y el intervalo de obturación es el tiempo mínimo de disparo entre fotografías de la cámara seleccionada (IO) el cual se determina en base a la siguiente ecuación:

$$IO = \frac{B}{V} \quad [\text{Ec. 11}]$$

IO = Intervalo de obturación (S)

B = Distancia entre fotografías (m)

V = Velocidad del vuelo (m/s)

- Superficie misión de vuelo: Seleccionada la altura de vuelo y los traslapes entre imágenes aéreas, se precisa el recorrido del vuelo que cubra la superficie en estudio, además se detalla de acuerdo con la autonomía del UAV seleccionado y la cantidad de misiones a realizar y horas útiles de tomas fotográficas.

2.2.7. Apoyo topográfico

Puntos de apoyo: teniendo en cuenta Diaz (2019) define que los puntos de control o apoyo de tierra (GCP) y sus coordenadas se utilizan para ayudar al software de procesamiento a posicionar con mejor precisión global del modelo, es decir, ayudan a garantizar que la latitud y la longitud de cualquier punto del mapa coincidan exactamente con las coordenadas GPS reales. Esto es importante en situaciones donde se necesita un mapeo de precisión global. El número mínimo de puntos GCP necesarios para la restitución es de 3 siendo recomendable considerar 5. La utilización de estos puntos de apoyo reduce el error del GPS de metros a centímetros.

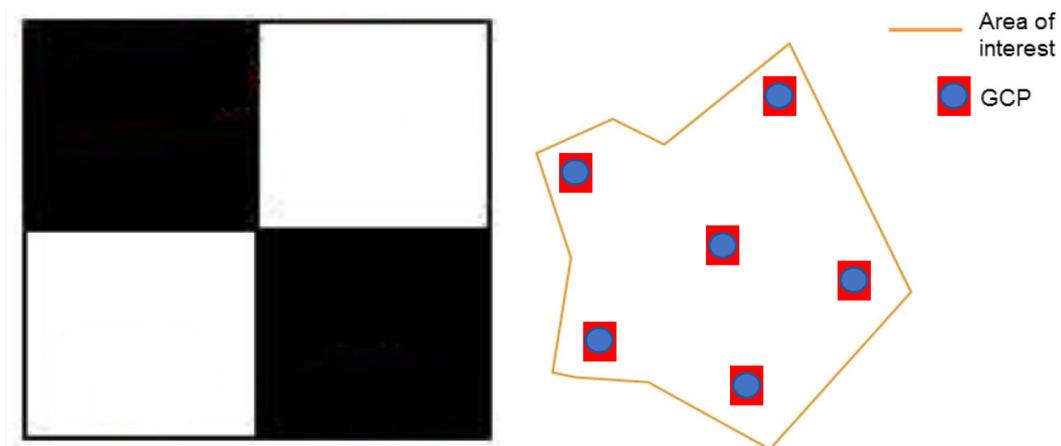


Figura 14 Punto de control y distribución de los Pc

Fuente: Pix 4D, 2023.

Herramientas de Diseño de Vuelo

- Software de Diseño de Vuelo: Con estas aplicaciones, los pilotos tienen la capacidad de trazar rutas exactas, señalar lugares de interés, fijar altitudes de vuelo y analizar las condiciones meteorológicas en tiempo real.

- **Mission Planner:** Es una aplicación de estación terrestre con todas las funciones para el sistema abierto ArduPilot. proyecto de piloto automático de origen es una estación de control terrestre para aviones, helicópteros y rovers. Es compatible únicamente con Windows se puede utilizar como utilidad de configuración o como complemento de control dinámico de tu vehículo autónomo.

Se carga el software en el control del piloto automático (es decir, la serie Pixhawk).

- Configuramos y ajustamos el vehículo para obtener un rendimiento óptimo.
- Planificamos y Diseñamos, guardamos y cargamos misiones autónomas en su piloto automático con simples seleccionar, en la entrada del punto de ruta en Google u otros mapas.
- Descargamos y analizamos los registros de misiones creados por el piloto automático.
- En el Interfaz con un simulador de vuelo de PC para crear un UAV completo con hardware integrado al simulador.
- Con el hardware de telemetría: Supervisamos el estado de su vehículo mientras está en funcionamiento y registramos la telemetría que contienen mucha más información del registro del piloto automático a bordo.
- Observarnos y analizamos los registros de telemetría.

Planificador de misiones abiertas

Una vez que se complete la instalación, abra Mission Planner haciendo clic en su ícono de sistema. Entonces puedes:

- Conectamos a Mission Planner a AutoPilot para recibir telemetría y controlar el vehículo.



Figura 15 Mission Planner: Planificador de misiones abiertas.

Fuente: Mission Planner, 2022.

Guía para Planificación de Vuelo en Campo

Cuando salgamos a campo con los equipos, instrumentos y diseños ya cargados siempre hay tener en cuenta la revisión de nuestro instrumentos, herramientas y objetivos a cumplir sean las más optimas.

Ejecución del vuelo:

En esta fase se realizarán las actividades in situ previstas en las dos primeras fases para verificar:

- Las condiciones meteorológicas, descartando el vuelo cuando la velocidad del viento supera los 10 m/s, llueve o existe neblina en la zona de estudio.
- La correcta instalación de los componentes del equipo de vuelo.
- La calibración del equipo.
- El correcto ingreso del plan de vuelo de acuerdo con los cálculos expuestos en las 2 fases anteriores.

- El número de satélites GPS conectados, siendo 9 el mínimo recomendado.
- Verificación de Batería y Tiempo de Vuelo: Es crucial tener en cuenta la autonomía de la batería al planificar el uso de drones. Antes de cada vuelo, es importante comprobar que la batería está al 100% y conocer el tiempo de vuelo estimado para esa batería en particular.
- Revisión de Protocolos de Emergencia: Dentro de estos protocolos se pueden encontrar medidas como el retorno seguro del dron en ausencia de señal, aterrizajes de emergencia y acciones para garantizar la protección de las personas y propiedades en momentos críticos.
- Registro de Datos y Análisis Post Vuelo: Tras completar cada misión, los pilotos necesitan revisar y documentar todos los datos recolectados durante el vuelo, como imágenes, videos y datos de navegación. Realizar un análisis posterior al vuelo ayuda a evaluar la precisión de los datos y determinar si se lograron los objetivos establecidos para la misión.

2.2.8. Procesamiento Digital y Generación de productos Fotogramétricos

Durante el proceso de datos, se emplea un programa informático específico de fotogrametría que, aplicando los conceptos esenciales de la técnica, lleva a cabo el proceso digital de las imágenes. Este software combina la información de cada imagen aérea georreferenciada con los puntos de referencia terrestres, lo que resulta en la creación de un modelo tridimensional de la superficie, una imagen corregida de la región analizada y la elaboración de mapas básicos.

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. Softwares como Photomodeler, Arguis, Agisoft Photoscan o Pix4D Mapper se encargan de generar un modelo con el conjunto de los datos obtenidos.

Pix4D MAPPER

Según APD (2019) Pix4D Mapper es un software especializado en fotogrametría que permite convertir imágenes en modelos 3D y ortomosaicos 2D georreferenciados.

Los proyectos en Pix4D se generan utilizando imágenes capturadas desde el suelo o desde el aire, dependiendo del tipo de proyecto, lo que permite el procesamiento de fotos tomadas en diferentes situaciones. Pix4D Mapper posibilita el procesamiento de imágenes tomadas con una variedad de cámaras, desde compactas hasta de gran formato, de acción y con diferentes tipos de soportes.

Según Apd (2019) indica que las cámaras se pueden cargar en cualquier plataforma: UAVs para aficionados UAVs profesionales, Aeronaves tripuladas, Helicópteros, Vehículos terrestres.

Pix4Dmapper puede procesar las imágenes independientemente de las especificaciones espectrales de la cámara:

- Cámaras RGB.
- Cámaras NIR.
- Cámaras térmicas.

El programa proporciona diferentes plantillas diseñadas para el procesamiento de imágenes en situaciones específicas, lo que facilita la generación de modelos 3D de objetos, mapas de reflectancia para la agricultura de precisión y mapas tridimensionales de superficies, entre otras posibilidades.

Agisoft Metashape

Según Agisoft (2021) la fotogrametría inteligente mejorado con procesamiento de datos es una solución de software de vanguardia, cuyo motor se desarrolla continuamente para

implementar avances científicos recientes en el campo de fotogrametría. El software permite procesar imágenes de cámaras RGB o multiespectrales, incluidos sistemas multicámara, en información espacial de alto valor en forma de nubes de puntos fotogramétricos, modelos poligonales texturizados, ortomosaicos verdaderos georreferenciados y DSM/DTM.

En la minería los DEM de alta precisión producidos por Metashape sientan las bases para áreas precisas y mediciones de volumen, tanto para colinas naturales como para pilotes artificiales. Herramienta de edición DEM, es decir, la herramienta llenar, ayuda a realizar mediciones para DTM.

2.2.9. Modelo digital de elevaciones (MDE) y Modelo digital del terreno (MDT)

Según Extremera (2019) los MDT se generan principalmente a partir de datos obtenidos mediante técnicas como la fotogrametría, el LIDAR (Light Detection and Ranging) y la teledetección. A partir de estos datos se obtiene un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), que consiste en una matriz de celdas que representan la altitud de la superficie en cada punto. A partir de este MDE se generan los MDT, que pueden incluir información adicional como pendientes, orientaciones, aspectos e incluso clases de uso del suelo.

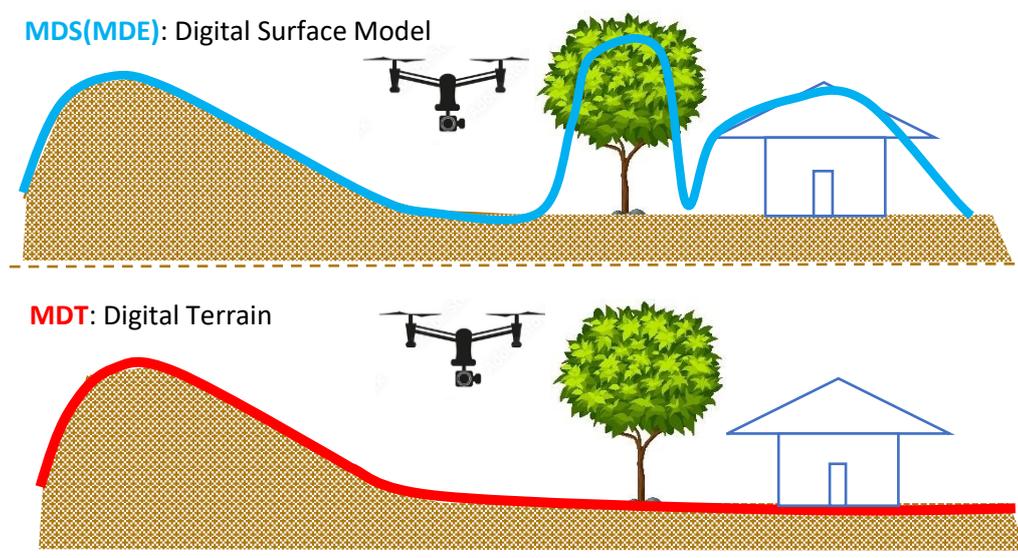


Figura 16 Modelo digital de elevaciones (MDE) y Modelo digital del terreno (MDT).

2.2.10. Yacimientos Minerales

Los yacimientos minerales son concentraciones naturales que muestran grandes variaciones en su origen, en su forma, tamaño, contenido mineral y valor económico. Es difícil que encajen todos estos factores será a través del factor mayor para el tipo de clasificación empleada. En la sistematización de los yacimientos, han predominado las clasificaciones por forma y sustancia, las genéticas y últimamente las de tipos de yacimientos.

Las clasificaciones por forma y sustancia son las más sencillas, presentan interés para el minero y para el geólogo que calcula las reservas minerales de los yacimientos. Son bastante simples y no abarcan todos los conocimientos sobre los yacimientos. Una clasificación basándose en este concepto sería:

- Yacimientos regulares: capas (carbón) y filones (fisuras, estratos, contacto, lenticulares).
- Yacimientos irregulares: masas irregulares con límites definidos e impregnaciones (masas irregulares con límites indefinidos), el stock es producto de la explotación de la minería a rajo abierto y depende de las leyes de corte del plan minero (de corto y largo plazo). Dentro de este concepto, también se utilizan como depósitos artificiales, los relaves y ripios.

2.2.11. Precisión de la Aerotriangulación

Con la aparición de la triangulación analítica inicio en parte de los fotogrametristas de estudiar la propagación de errores justo con el ajuste mejorando la determinación de un criterio para la determinación de la precisión del sistema. Los primeros estudios fueron realizados por Schmid (1961) restringiéndose este a pasadas de fotografías debido a las limitaciones de ordenadores y programas. En ese estudio Schmid encontró que para pasadas hay un número óptimo de modelos entre puntos de control (6 a 7), dada una amplitud de campo particular y una longitud de banda. A mayor altitud menos fotografías son necesarias para cubrir la misma superficie, pero la escala es más pequeña y la precisión decrece. Del

mismo modo cuanto menor es la altitud, la precisión se incrementa, pero la propagación de error asociada con un gran número de conexiones degrada los resultados.

La precisión de las coordenadas ajustadas depende principalmente de:

- Precisión de las observaciones, tanto planimétricas como altimétricas.
- Geometría del bloque; este factor no solo tiene influencia en la precisión sino también en la fiabilidad de los resultados del ajuste, sobre todo en la detección de errores groseros.

La precisión de las observaciones después del ajuste depende del vuelo fotogramétrico (escala de fotografía, focal), de las mediciones (instrumento, operador) y del tipo de puntos de enlace que se utilicen (preseñalizados o marcados), mientras que la influencia de la geometría del bloque depende del número y distribución de los puntos de apoyo (control planimétrico y altimétrico), de enlace (el número de puntos de enlace no tiene mucha influencia en la precisión pero si en la fiabilidad de los resultados del ajuste), forma y tamaño del bloque.

2.2.12. Precisión planimétrica y altimétrica en el ajuste de bloques por modelos

independientes

Según Mora (2023) la reducción del número de puntos de apoyo medidos en campo conlleva en general una reducción de precisión comparada con la orientación absoluta de cada modelo individual (como mínimo se miden en campo un total de cuatro puntos). Es por tanto de primera importancia estimar esta reducción dentro de la precisión.

En el ajuste del bloque espacial, la precisión planimétrica no está afectada por la precisión de las elevaciones (altimetría) del modelo o por la disposición de los puntos de apoyo altimétricos. Similarmente, la precisión altimétrica es independiente de la precisión de las coordenadas modelo planimétricas (x, y) y de la distribución de los puntos planimétricos de apoyo. Los resultados para planimetría son válidos tanto para el ajuste planimétrico como para el ajuste espacial del bloque.

2.2.13. Planimetría

Según Mora (2023) la planimetría consiste en un conjunto de técnicas que se emplean para representar puntos en el espacio en un plano de referencia, asumiendo que la dirección de la plomada es perpendicular a dicho plano y que en él se representan las coordenadas.

En los levantamientos planimétricos se emplean coordenadas polares formadas por ángulo y distancia, aunque las estaciones totales ahora incorporan sistemas informáticos que calculan y registran las coordenadas rectangulares X y Y.

El profesor Ackermann ha estudiado este tema en detalle y sus investigaciones han dado lugar a numerosas publicaciones. En una de ellas se presentan las conclusiones principales mediante perspectivas muy expresivas que permiten apreciar la influencia de la distribución de los puntos de apoyo en la precisión final de la compensación.

En estos estudios se analizó:

- Distribución y número de puntos de apoyo.
- Influencia del tamaño y forma de los bloques.
- Influencia de los solapes.
- Tipo de objetivo (se hicieron comparaciones con tomas gran angulares y super granangulares).

Según Pérez (2001) para el estudio teórico se calculan las coordenadas X, Y de los puntos de enlace por mínimos cuadrados usando las observaciones indirectas, podemos obtener su precisión, más correctamente, los coeficientes de peso Q_{XX} y Q_{YY} , mediante la inversión de la matriz de ecuaciones normales. Resultando de la estructura simétrica en X e Y, los coeficientes de los pesos son idénticos y son llamados Q_{LL} . Por tanto tenemos la precisión $\sigma_{B,PL}$ de las coordenadas X e Y de los puntos de enlace después del ajuste del bloque:

$$\sigma_{B,PL} = \sqrt{Q_{LL}}\sigma_O = \sqrt{Q_{LL}}\sigma_{M,PL} \quad [\text{Ec. 12}]$$

Donde σ_0 es el error de la unidad de peso del ajuste, la precisión σ_x o σ_y de una coordenada modelo x o y, expresado en el sistema de coordenadas terreno. Como mencionamos, la cantidad $(Q_{LL})/2$ puede ser considerada como un factor que multiplicado por la precisión $\sigma_{M,PL}$ ($\sigma_{M,PL} = \sigma_0 mb$ - precisión en un modelo simple) de las coordenadas XY en los modelos individuales, da la precisión planimétrica $\sigma_{B,PL}$ del bloque.

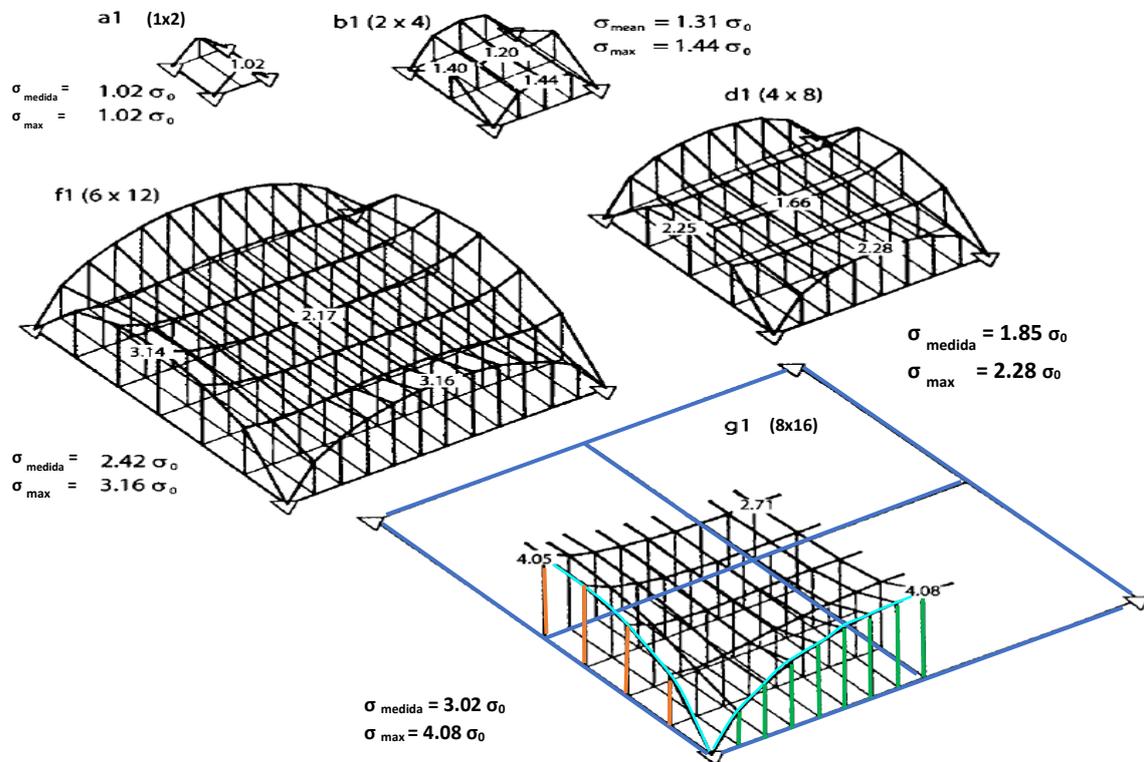


Figura 17 Precisión planimétrica con 4 puntos en las esquinas del bloque, para bloque cuadrados $ns \times nm$. (ns = número de pasadas, nm = número de modelos en cada pasada).

Fuente: Krauss Karl, 2000.

La figura 16 muestra esos factores $(Q_{LL})/2$ para varios tamaños de bloque, cada uno de los cuales contiene un punto de control en las cuatro esquinas del bloque. La cantidad σ_{max} indica el máximo error planimétrico del bloque, mientras que σ_{medida} indica el valor de la precisión de todos los puntos de enlace del bloque. Si se desea aumentar la precisión global se tendrá que proporcionar un modelo denso de puntos de control a lo largo de los bordes del bloque. El éxito de semejante estrategia se muestra en la figura 17.

- La exactitud cae significativamente a medida que el tamaño del bloque aumenta y
- El error medio cuadrático más grande de se da en el medio de los bordes del bloque.

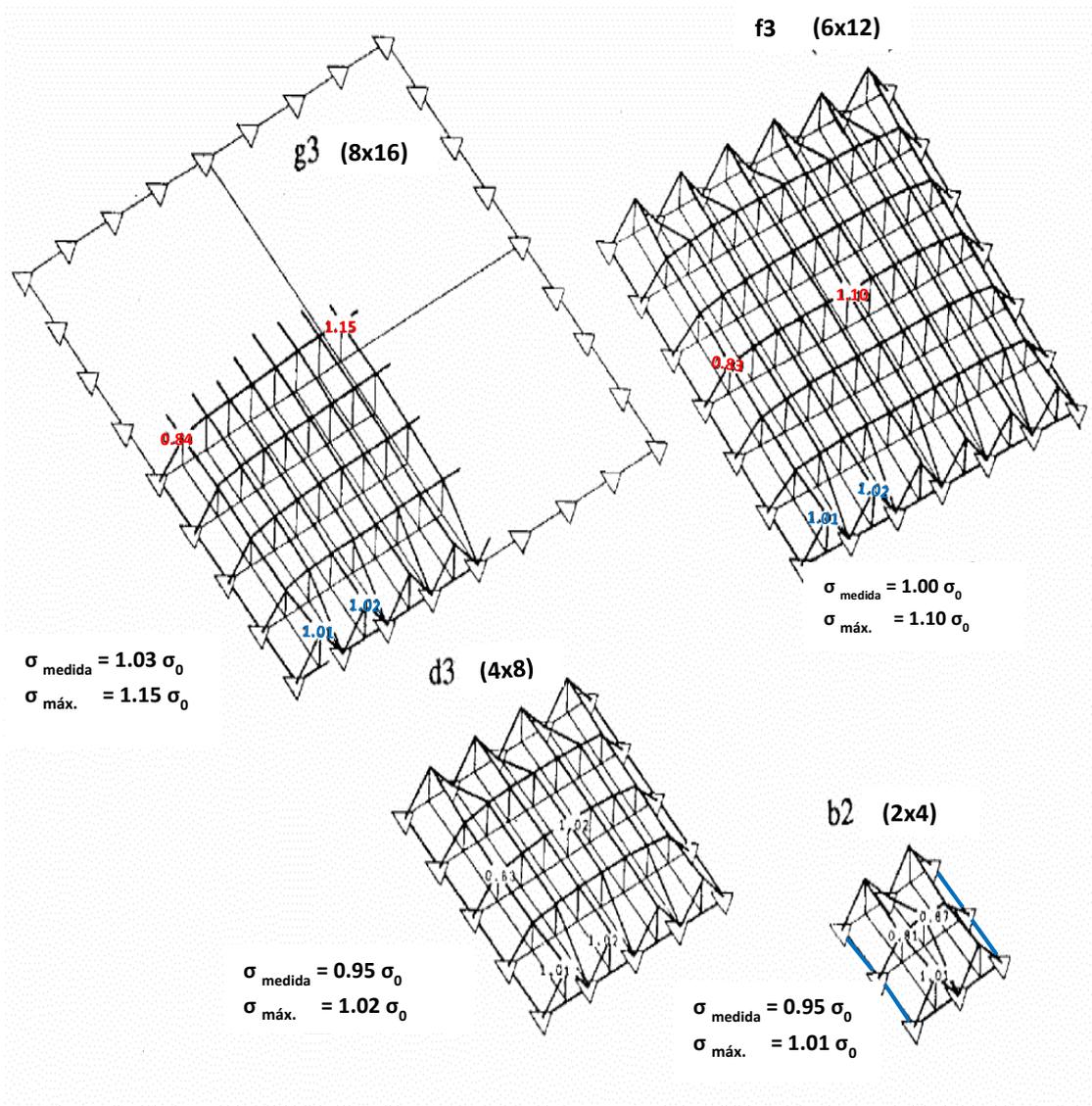


Figura 18 Precisión planimétrica con un denso modelo de puntos de apoyo a lo largo de los bordes del bloque, para bloques cuadrados $ns \times nm$.

Fuente: Kraus Karl, 2000.

Por tanto, la precisión:

- ✓ es casi independiente del tamaño del bloque y
- ✓ está cerrada a la precisión en un solo modelo.

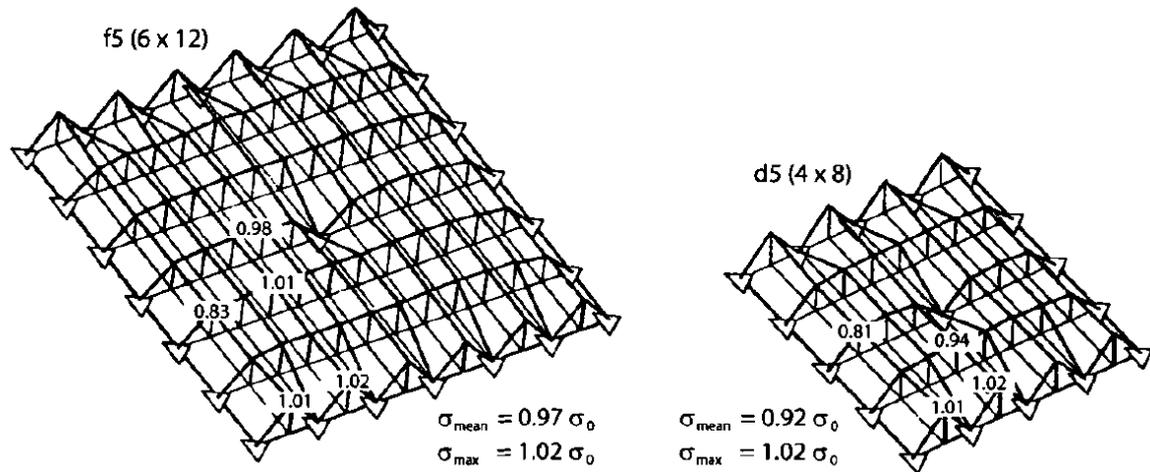


Figura 19 Precisión planimétrica con un denso modelo de puntos de apoyo a lo largo de los bordes del bloque y un punto de apoyo en el centro del bloque, para bloques cuadrados $ns \times nm$.

Fuente: Kraus Karl, 2000.

Si se comparan los resultados de esta figura con lo de la anterior (figura 18), puede observarse que los puntos de apoyo dentro del bloque no traen cambios significativos en precisión.

Ejemplo. Se dispone de un bloque constituido por 32 modelos (figura 18, caso d1). La escala de los fotogramas es 1:11753. Los modelos se han orientado en un instrumento analítico de primer orden, el error medio cuadrático planimétrico del peso unidad es de $6 \mu m$. Se pide: determinar la precisión planimétrica previsible del bloque ajustado por modelos independientes.

$$\mu_{XY(med.)} = 1.85 \times \sigma_0 = 1.85 \times 6 = 11.10 \mu m$$

$$\mu_{XY(max.)} = 2.28 \times \sigma_0 = 2.28 \times 6 = 13.68 \mu m$$

Error estándar planimétrico del bloque:

$$\sigma_{B,PL} = \mu_{XY} \times m_b \quad [\text{Ec. 13}]$$

Precisión del bloque (el error medio): $\sigma_{B,PL} = \mu_{XY} \times m_b = 11.10 \times 11753 = 0.130 \text{ m}$.

Precisión del bloque (el error máximo): $\sigma_{B,PL} = \mu_{XY} \times m_b = 13.68 \times 11753 = 0.158 \text{ m}$.

2.2.14. Altimetría

Altimetría es la rama de la topografía que se encarga de determinar la diferencia de altitud entre un punto específico y un plano de referencia altimétrica. Por lo general, este plano se basa en la altura sobre el nivel del mar, conocida como altura ortométrica. Sin embargo, también se puede utilizar la altura elipsoidal o incluso un plano de referencia arbitrario elegido por el profesional.

La precisión altimétrica después del ajuste del bloque puede ser derivada de una inversión de la matriz de ecuaciones normales, de la misma forma que para la precisión planimétrica.

La relación análoga a la ecuación vista anteriormente en planimetría será, por tanto:

$$\sigma_{B,AL} = \sqrt{Q_{ZZ}} \sigma_0 = \sqrt{Q_{LL}} \sigma_{M,AL} \quad [\text{Ec. 14}]$$

La precisión altimétrica es primordialmente dependiente del número “i” de modelos entre dos cadenas de puntos de apoyo altimétricos (perpendiculares a las pasadas). También es buena práctica para mejorar la precisión altimétrica a lo largo de los bordes superiores e inferiores del bloque mediante la introducción de puntos de apoyo altimétricos en esos bordes a intervalos de i/2 modelos. El patrón ideal de control altimétrico es el mostrado por la figura 19.

La ecuación correspondiente a la precisión altimétrica es:

$$\mu_z = (0.34 + 0.22 i) \sigma_0 \quad [\text{Ec. 15}]$$

Ecuación 2. valor de la precisión altimétrica (μ_z) donde:

- i puente entre perfiles altimétricos transversales.
- σ_0 es el error medio cuadrático altimétrico del peso unidad.

Error estándar planimétrico del bloque:

$$\sigma_{B,AL} = \mu_z \times m_b \quad [\text{Ec. 16}]$$

Error máximo altimétrico del bloque:

$$\epsilon_{\max B,AL} = 2.54x\sigma_{B,AL} \quad [\text{Ec. 17}]$$

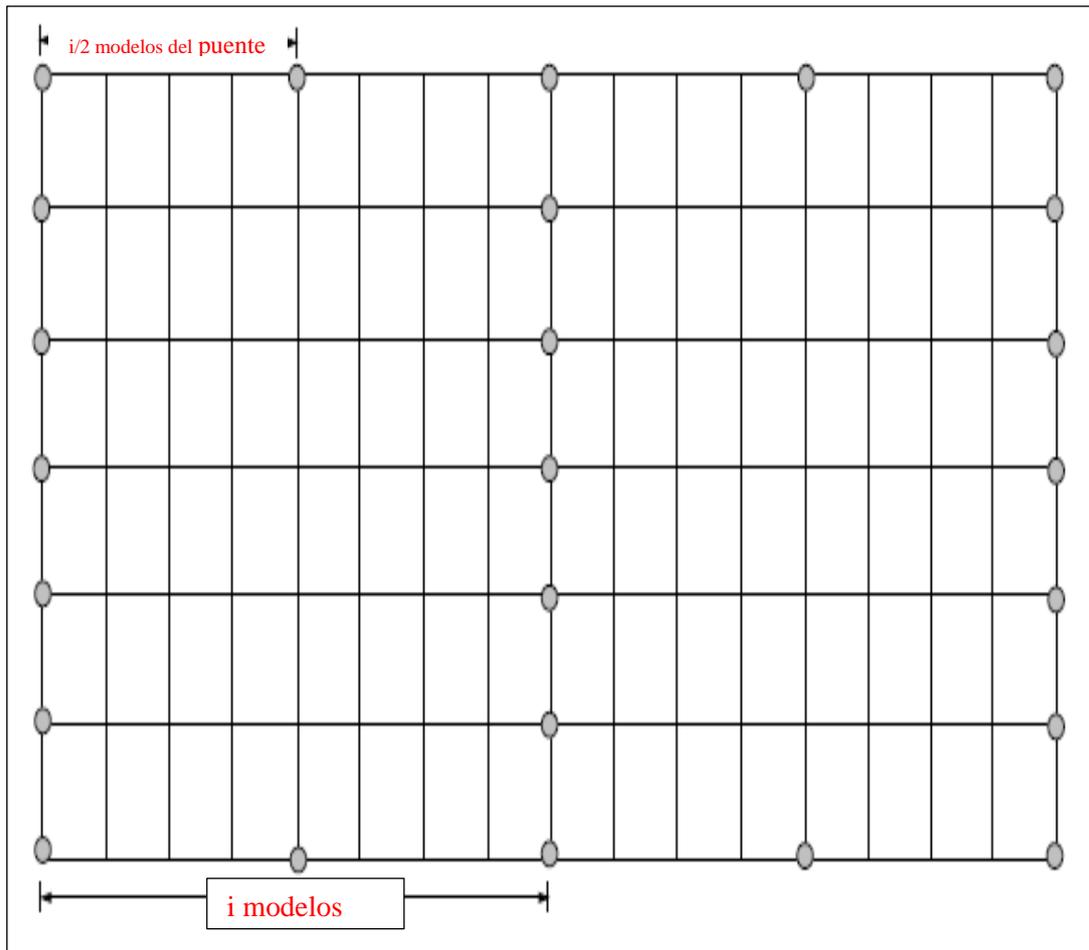


Figura 20 Patrón ideal de apoyo altimétrico.

Fuente: Pérez, 2001.

2.2.15. Legislación nacional para uso de drones

Dentro de la actual evolución, se lleva a cabo una revisión del marco legal con el fin de diseñar e implementar medidas acordes a la normativa en vigor. La utilización de los RPAS está sujeta a la legislación actual vigente. Las leyes de drones en Perú están reguladas por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. A continuación, te presento las normas y requisitos clave:

- Ley 27261 Ley de aeronáutica civil y su reglamento: En esta normativa se establece que las aeronaves se dividen en aeronaves estatales (utilizadas por el gobierno) y aeronaves civiles. Esta legislación contempla la regulación de los RPAS.
- Norma Técnica Complementaria NTC 001 2015 Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia RPAS: Esta regla se establece para regular el uso de drones por parte de personas o entidades en actividades civiles, excluyendo el uso de drones por entidades estatales en servicios militares, policiales o de aduanas.
- Ley 30740 (2018) Ley que regula el uso y las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia. Exclusiones: a las aeronaves del Estado pilotadas de forma remota, destinadas a usos militares, policiales y aduaneros, quedan excluidas de la normativa. Piloto de dron: La DGAC autoriza a un individuo como operador de dron, siempre y cuando haya recibido capacitación y certificación de un Centro de Instrucción de Aviación Civil reconocida por el ministerio, y haya aprobado la evaluación teórica realizada por la Coordinación de Licencias Aeronáuticas. Operaciones no permitidas: En su artículo 5, menciona de conformidad con el párrafo 2.4 del artículo 2 de la presente ley, la DGAC del MTC autoriza las operaciones de los RPAS y sanciona a los responsables cuando corresponda: Si se pone en peligro la seguridad y la regularidad de las operaciones aéreas tripuladas. Si se sobrevuela espacios urbanos con alta densidad poblacional o áreas naturales protegidas, zonas restringidas, salvo que cuente con la autorización excepcional. Zonas geográficas para ensayos: En su artículo 7, menciona en el reglamento de la presente ley se establecen las condiciones requeridas para determinar las zonas geográficas donde se llevarán a cabo pruebas de RPAS, con el objetivo de fomentar la investigación científica y realizar pruebas para el desarrollo de nuevas tecnologías o estudios tecnológicos.

2.2.16. Combinación de bandas para Landsat 8

Landsat 8, operado por NASA y USGS, es un satélite de observación terrestre que captura imágenes en varias bandas espectrales desde el visible hasta el infrarrojo térmico. Cuenta con dos sensores principales: OLI, con resolución de 30 m (15 m en banda pancromática), y TIRS, con resolución de 100 m. Sus datos de alta calidad son utilizados para estudiar cambios ambientales, recursos naturales y actividades humanas.

La interpretación litológica de las diferentes unidades rocosas del área de estudio, según la característica espectral facilita la detección y el reconocimiento con mayor facilidad que el FCC. Las razones de bandas derivadas de los espectros de imagen (4/2, 6/7, 5 y 10 en RGB) permiten la identificación de rocas alteradas, unidades litológicas y vegetación (verde).

Las rocas alteradas hidrotermalmente son amarillas en las imágenes de depósitos de pórfido de cobre conocidos (magenta) y extraídos (violeta).

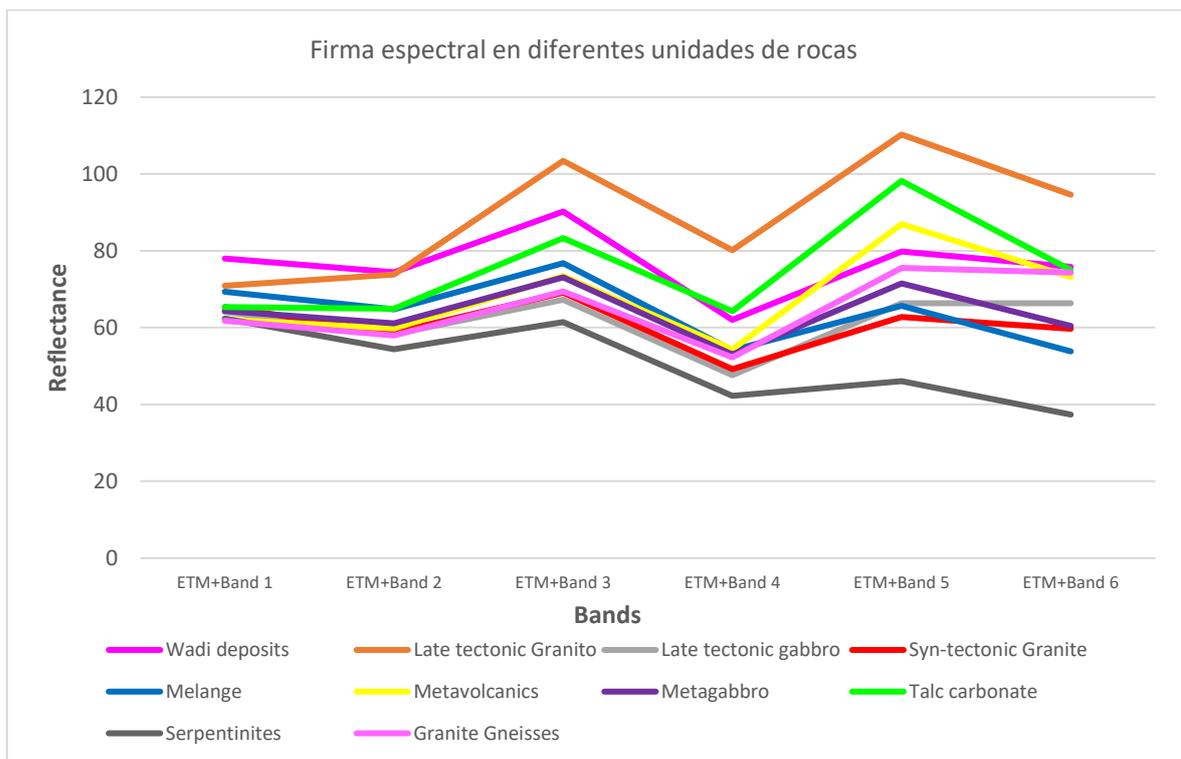


Figura 21 Firma espectral en diferentes unidades de rocas.

Fuente: M. Kamel, 2016.

2.3. Definición de Términos Básicos

RTK (Real-Time Kinematic): Tecnología de posicionamiento que proporciona datos de ubicación precisos en tiempo real mediante correcciones diferenciales de señales GNSS, alcanzando precisiones del orden de centímetros o incluso milímetros. (Aerial, 2019)

RPAS (Remotely Piloted Aircraft System): Sistema de vehículos aéreos no tripulados, incluyendo el dron o aeronave, el sistema de control, y los componentes necesarios para su operación. (Dji, 2021)

Aéreotriangulación: Método fotogramétrico que utiliza la intersección de líneas de visión desde diferentes posiciones de la cámara en imágenes aéreas para determinar la posición tridimensional de puntos en tierra.

Ortomosaico: Imagen compuesta y georreferenciada que resulta de la unión de múltiples fotografías aéreas o satélite, corregidas para eliminar distorsiones y presentar una vista en escala uniforme del área. (Apd, 2019)

Distancia focal de la cámara: Longitud de la lente que determina el nivel de zoom y el campo de visión de la cámara, influyendo en la escala y resolución de las imágenes capturadas.

Ancho del sensor de la cámara: Dimensión horizontal del sensor de imagen en la cámara, junto con la distancia focal, afecta el campo de visión y la resolución de la imagen.

Altura de la imagen en píxeles: Número de píxeles que conforman la dimensión vertical de una imagen digital. (Dji, 2021)

Ancho de la imagen en píxeles: Número de píxeles que conforman la dimensión horizontal de una imagen digital.

Cámara NIR (Near-Infrared): Cámara que captura imágenes en el espectro cercano a la infrarroja, útil para aplicaciones como agricultura, detección de vegetación, y análisis de salud de plantas. (Dji, 2021)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación Geográfica

La operación de ubicación del Centro Minero y los Yacimientos Minerales se localizan políticamente en el departamento de Cajamarca, en la provincia de Hualgayoc, en particular en los distritos de la población aledaño El Tingo, adjunto Predio La Jalca, y los caseríos de Coymolache y Pilancones.

Se localiza en la parte este de la Cordillera Occidental de los Andes del Norte del Perú, entre los 3 600 y 4 050 m.s.n.m. en la vertiente continental atlántica.

Tabla 3 Coordenadas UTM del Centro Minero Hualgayoc.

VÉRTICE	NORTE	ESTE
1	9 253 000	764 500
2	9 250 500	764 500
3	9 250 500	759 300
4	9 253 000	759 300

Fuente: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 2019.

3.2 Accesibilidad

La vía principal del Centro Minero Hualgayoc está ubicado 83.1 km al noroeste de Cajamarca, con una carretera mayormente asfaltada hacia esta última ciudad, teniendo un tiempo de 2 horas 30 minutos de recorrido para llegar.

Tabla 4 Distancia y tiempo de Cajamarca a Hualgayoc

Distancia Cajamarca a Hualgayoc	Tiempo
83.1 km	2 horas 30 minutos

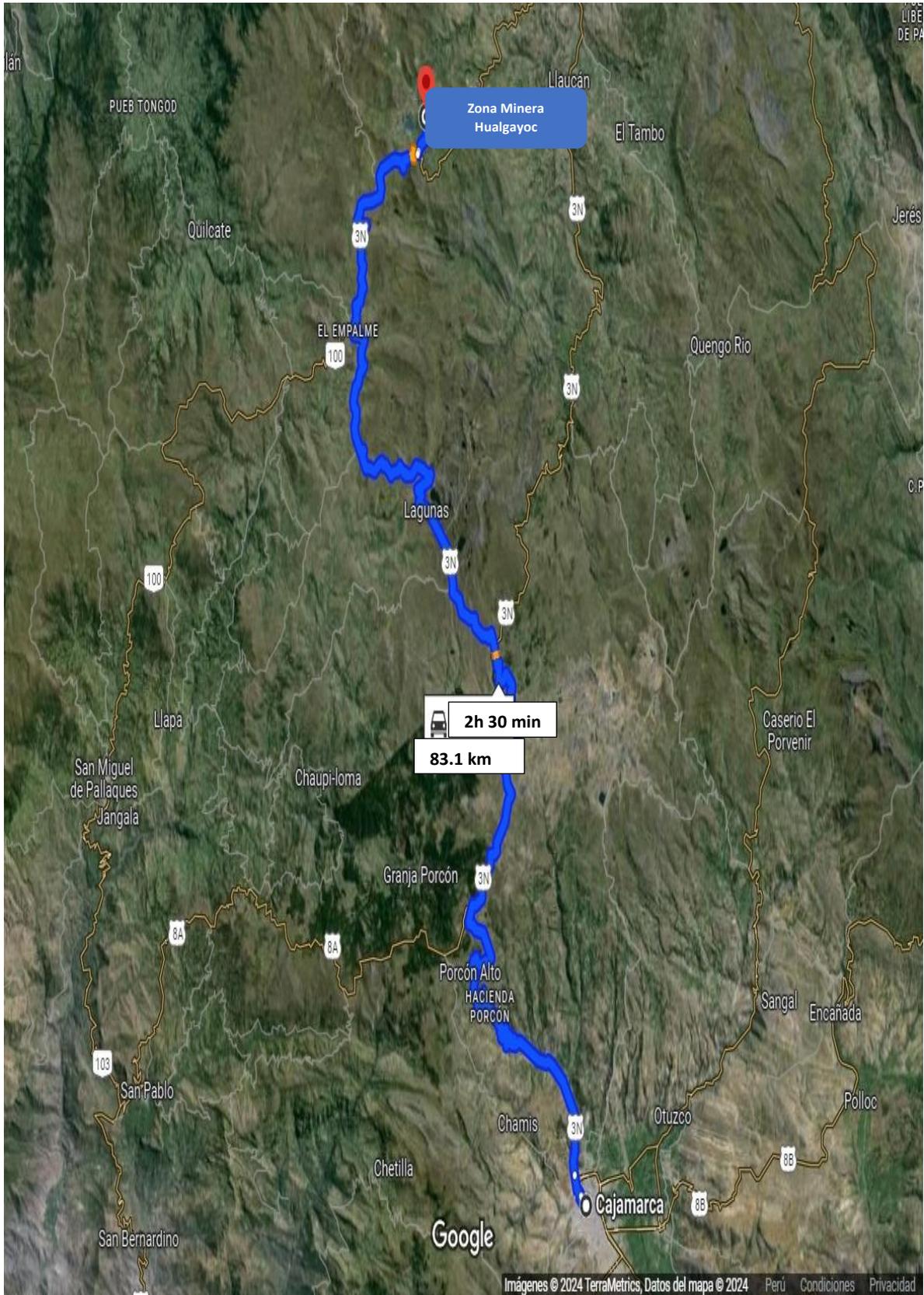


Figura 22 Imagen satelital con accesibilidad de Cajamarca a Zona Minera.

Fuente: Google Maps, 2024.

3.3 Geología

3.3.1. Geología regional

La trama estructural de la región se caracteriza en mayor parte por fallas que fuerzan hacia el noroeste y a ejes plegados, indicando a las fuerzas compresivas a gran escala en orientación sur-oeste - noreste. Dentro de la Zona minera de Hualgayoc, grandes pliegues abiertos en los sedimentos cretácicos caracterizan la estructura regional, con planos axiales que golpean noroeste y se buzcan empinadamente hacia el sur-oeste. La curvatura de Cajamarca produjo alineamientos con tendencia este-oeste que seccionan transversalmente la estructura regional. No hay fallas de empuje a gran escala en el distrito y las fallas se reducen principalmente a fracturas normales y desliz oblicuo con desplazamientos de pocos metros.

3.3.2. Geología local

En la Zona Minera de Hualgayoc a nivel local se reconocieron varias formaciones geológicas y tipos de rocas, como rocas sedimentarias (como formación Chúlec Km-ch, Pariatambo km-pa y Yumagual km-yu), rocas volcánicas (como roca Volcánico Riolítico – Tri), depósitos cuaternarios y rocas intrusivas.

El yacimiento mineral es un cuerpo rocoso compuesto por diorita y cuarzo diorita que intruyó en las capas de calizas de la Formación Yumagual y en menor medida en la Formación Pariatambo. Este cuerpo se encuentra dividido en varios puntos que se localizan en una zona de intersección de fallas andinas y transandinas, los cuales han experimentado un intenso fracturamiento y permeabilización en el borde externo debido a un rápido proceso de enfriamiento. Este proceso facilitó el paso de fluidos de alteración y mineralización, formando cuerpos en forma anular alrededor de cada pulso, con las zonas de mayor mineralización presentando una mayor presencia de vetillas y stockworks de diversos tipos.

3.4 Clima y meteorología

Los datos provenientes de la estación meteorológica, muestran que el promedio mensual multianual de temperatura máxima: entre 17°C a 21°C en el norte. Precipitación anual entre 1200 mm a 1800 mm aproximadamente. Muy lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. (Senamhi, 2024)

3.5 Fisiografía y topografía

Las pendientes muy empinada y extremadamente empinadas se localizan en la zona de la presa Las Águilas, Las Gordas y en la ladera Sur del valle del río Tingo, en la ladera del cerro Peña de las Águilas en la zona de Coymolache Alto, en la parte superior de la subcuenca del río Hualgayoc en la ladera del cerro Coymolache y en la zona de Cuadratura.

Por otro lado, respecto al paisaje podemos indicar que el área de estudio no tiene una gran riqueza de formas y elementos singulares del paisaje. Es dominado principalmente por terrenos de pastos, roquedales y zonas de actividad minera. Tiene un carácter fuertemente antrópico, influenciado en gran medida por la actividad minera.

3.6 Flora y Fauna

Respecto a la flora, hay que mencionar la existencia de árboles como aliso, lanche, molle, sauce, quinal y hualango, con frecuentes talas indiscriminadas. Las especies arbustivas y herbáceas, como cola de caballo, helechos, ortigas, carhuacashuas y pencas. En las zonas altas, es abundante el ichu, yerbas diversas, lirios, caracterizadas por su forma cilíndrica, con terminaciones espinosas y puntiagudas, y otras de hojas acorazonadas o partidas.

De los animales, menciona la existencia de batracios como el kulkul, y de varias aves, como china linda, warawai (águila), leklek, perdiz, gallareta, kokán, indio pishgo (gorrión), zorzal, kuiwila; además de gusanos como el chambo.

3.7 Metodología de la Investigación

3.7.1. Tipo de investigación

En cuanto al tipo de investigación, ésta es una investigación aplicada, ya que tiene propósitos prácticos inmediatos bien definidos, los cuales tienen como finalidad principal optimizar los procesos actuales y velar por la seguridad de los trabajadores. En este tipo de investigación el problema ya está identificado, establecido y es de conocimiento del investigador, por lo que se usa la investigación para dar una solución a dichos problemas específicos. Estas investigaciones se centran en la solución práctica y rápida de problemas.

3.7.2. Nivel de investigación

En cuanto al nivel de la investigación, esta es una investigación descriptivo- correlacional-comparativa, es descriptiva porque detalla los métodos de levantamiento topográfico con el fin establecer semejanzas y diferencias entre los objetos estudiados. Es correlacional, porque hay una posible relación de estadística entre variables cuantitativas, a más puntos de control, mayor precisión de georreferenciación de la ubicación de los yacimientos minerales.

Finalmente es comparativa entre el método de levantamiento propuesto y el método que es usado actualmente, para evaluar las ventajas como desventajas de ambos y poder justificar el posible reemplazo de la metodología antigua, por una forma de trabajo más eficiente.

3.7.3. Diseño de la investigación

Diseño de investigación no experimental, porque no vamos a manipular las variables en estudio, porque se llevó a cabo la prueba in situ para luego ser analizar y cuantificar las cotas, latitud y longitud, de ello obtendremos las áreas y volúmenes, donde se podrá tener el método más óptimo para el levantamiento topográfico.

3.7.4. Método de la investigación

El método es deductivo – inductivo, porque utilizo las fórmulas ya establecidas y conocidas para obtener la altura media, el GSD, como también el porcentaje de precisión de los levantamientos topográficos.

3.7.5. Población de estudio

La zona minera de Hualgayoc.

3.7.6. Muestra

La muestra está formada específicamente en la ubicación del cinco yacimientos de Minerales.

3.7.7. Unidad de análisis

En cuanto a la unidad de análisis tenemos el área, volumen, tonelaje, tiempo y costo.

3.8 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.8.1. Técnicas

Análisis de documental: Revisar registros históricos de operaciones anteriores, incluyendo datos sobre costos, tiempos de vuelo, ayudará a establecer un punto de referencia para evaluar el impacto del nuevo diseño de vuelo. Este análisis es importante por el propósito de reconocer patrones y tendencias que puedan impactar en ir en la optimización del proceso de vuelo.

Observaciones directas en campo: Realizar observaciones directas durante las operaciones del vuelo del dron que permitirá comprender mejor los métodos actuales utilizados por la empresa.

Esta herramienta es valiosa para identificar ineficiencias en tiempo real y evaluar la efectividad del diseño existente en condiciones prácticas.

3.8.2. Instrumentos, materiales, equipos y personal

Documentos e informes anteriores y posteriores

Encuestas y formatos de campos.

Laptop y PC HP: Para el procesamiento y análisis de datos usando los softwares Civil 3d, Microsoft Word, Excel, Mine Plan, Python y Pix4D.

Estación total Leica Ts07, para el levantamiento, medir orientación, puntos de control y dirección de los yacimientos minerales. Esta estación total es la más utilizada de su gama, debido a su fácil manejo y la gran cantidad de funciones que posee.

GPS diferencial (R10 y R12), para el levantamiento y para ubicar los puntos de control en el área de investigación que es los yacimientos de mineral, teniendo como referencia las coordenadas PSAD 56.

Tabla 5 Equipos de operación manual de topografía

EQUIPOS	COLECTOR	RECEPTOR
Gps receptor TRIMBLE	TSC3	R08
Gps receptor TRIMBLE	TSC3	R10
Gps controlador TRIMBLE	TSC7	R12
Radio repetidora externa TRIMBLE	TDL 450H	



Figura 23 GPS diferencial (R10 y R12).

Dron Matrice 350 RTK

El dron Matrice 350 RTK es una aeronave que sirve para el levantamiento aéreo del yacimiento mineral Facilidades, pit y seguimiento defaces de carguío. Según Acre (2024), el Matrice 350 RTK aumenta su autonomía de vuelo hasta en 55 minutos, con un rango de transmisión de video de 20 kilómetros, e incluye varios sensores, como los térmicos. Matrice 350 RTK está diseñado para aplicaciones profesionales como topografía, seguridad y rescate, construcción, inspección industrial y eficiencia energética.

Tabla 6 Especificaciones técnicas de dron Dji Matrice 350 rtk

Especificaciones Técnicas de Dron Dji Matrice Matrice 350 RTK	
Modelo	M350
Dimensiones (plegado, con hélices)	430×420×430 mm (L×A×H)
Número de baterías 2	400
Carga útil máxima	960 g
Peso máx. de despegue	9,2 kg
Tiempo máx. de vuelo (sin carga, con TB55)	55 minutos
Frecuencia de funcionamiento	2,4000-2,4835 GHz 5,725-5,850 GHz
Altitud máxima de vuelo	5000 m con las hélices 2110s y peso al despegue ≤ 7,4 kg. 7000 m con las hélices 2112 High-Altitud de Low-Noise y peso de despegue ≤ 7,2 kg.
Potencia del transmisor (EIRP)	2,4000-2,4835 GHz: < 33 dBm (FCC), < 20 dBm (CE/SRRC/MIC) 5,150-5,250 GHz (CE: 5,170-5,250GHz): < 23 dBm (CE) 5,725-5,850 GHz: < 33 dBm(FCC/SRRC), < 14 dBm (CE)
Precisión de vuelo estacionario	Vertical: ±0,1 m (con posicionamiento por visión), ±0,5 m (con posicionamiento GNSS), ±0,1 m (con posicionamiento RTK) Horizontal: ±0,3 m (con posicionamiento por visión), ±1,5 m (con posicionamiento GNSS), ±0,1 m (con posicionamiento RTK)
Precisión de posicionamiento RTK (RTKFIX)	1 cm + 1 ppm (horizontal), 1,5 cm + 1ppm (vertical)
Temperatura de funcionamiento	de -20° a 50° C (-4° a 122° F)
Carga máxima (2 TB55)	Aprox. 1.57 kg (con dos baterías estándar)
Control Remoto (GL900A)	Si
Velocidad máxima de descenso inclinado	7 m/s
Velocidad máxima de descenso(vertical)	5 m/s
Velocidad máxima de ascenso	6 m/s
Velocidad angular máxima	Cabeceo: 300°/s, Guiñada: 100°/s
Ángulo de cabeceo máximo	30° En modo N y con el sistema de visión delantera activado: 25°
Velocidad horizontal máxima	23 m/s
Resistencia máxima a la velocidad del viento	12 metros por segundo
Grado de protección	IP55
Sistema GNSS	GPS+GLONASS, BeiDou y Galileo



Figura 24 Dji Matrice 350 RTK

Cámara fotográfica del dron Dji Zennuse P1 para fotometría:

Se utiliza para la fotometría y para la topografía aérea, la cámara Zennuse P1 integra un sensor de fotograma completo con lentes de enfoque fijo intercambiables en un gimbal estabilizado de 3 ejes. Diseñado para misiones de vuelo de fotogrametría, lleva la eficiencia y la precisión a un nivel completamente nuevo.



Figura 25 Cámara fotográfica del dron Dji Zennuse P1 para fotometría.

Fuente: DJI Zenmuse, 2023.

Tabla 7 Cámara para dron DJI Zenmuse P1 para fotogrametría.

Cámara para dron DJI Zenmuse P1 para fotogrametría	
Dimensiones	198×166×129 mm
Peso	Approx. 787 g
Alimentación	13 W
Certificación IP	IP4X
Compatible con dron	Matrice 300 RTK
Temperatura operativa	-20° a 50° C (-4° a 122° F)
Precisión absoluta	Horizontal: 3 cm, Vertical: 5 cm * Usando Mapping Mission a un GSD de 3 cm y una velocidad de vuelo de 15 m / s, con una tasa de superposición frontal del 75% y una tasa de superposición lateral m del 55%.
Cámara	
Sensor	Tamaño del sensor 35.9x24mm Fotograma completo Tamaño del sensor en vídeo: 34x19mm Píxeles efectivos: 45MP Tamaño del pixel: 4.4 µm
Lentes soportadas	DJI DL 24mm F2.8 LS ASPH (with lens hood and balancing ring/filter), FOV 84° DJI DL 35mm F2.8 LS ASPH (with lens hood and balancing ring/filter), FOV 63.5° DJI DL 50mm F2.8 LS ASPH (with lens hood and balancing ring/filter), FOV 46.8°
Tarjetas SD soportadas	SD: UHS-1 o superior; Max capacidad: 128 GB
Resolución fotos	3:2 (8192×5460)
Resolución vídeo	16:9 (3840×2160)

Fuente: DJI Zenmuse, 2023.

Cámara fotográfica: Para registrar las evidencias de campo.

Libreta de campo, lapicero y lápiz: para anotar los datos tomados en campo.

Flexómetro, para medir la altura de la estación total, etc.

Camioneta 4x4 para el transporte de los equipos.

3.9 Procedimientos

3.9.1. Etapa preliminar de gabinete

La etapa premilitar da comienzo al análisis el problema que nos dará diferentes métodos para la utilización de equipos en campo.

- Iniciamos con la delimitación de estudio que en este caso es la Zona de yacimiento mineral.

- Realizamos el Planeamiento de vuelo, el cual va estar encargado de donde va ser ubicados los puntos de control y donde la iniciar el vuelo y los parámetros a toma en cuenta.
- Estableceremos el GSD siendo unos de los parámetros importante de la distancia de muestreo del suelo.
- Siguiendo con establecimientos de traslapes y establecimientos de orientación.

3.9.2. Etapa de campo

Analizaremos en campo los métodos de levantamiento topográficos a utilizar.

- Consistió en la observación, y colocar los puntos de fotos control (puntos control) y levantamiento de coordenadas.
- Ejecución del vuelo para fotogrametría, observación rápido de los resultados del levantamiento en campo, el recorrido y el tiempo en el yacimiento mineral.
- Toma de fotos en el yacimiento mineral.

3.9.3. Etapa final de gabinete

En tapa final de gabinete utilizaremos el análisis de los datos recolectados en campo a través de correcciones y simulaciones del trabajo, para ver la más optima de dicho levantamiento.

- Descarga de imágenes a pc para su respetiva análisis y simulación con Pix4d y Agisoft.
- Importación y orientación de las imágenes.
- Ajuste a las imágenes con los puntos de foto control.
- Generación de nube de puntos densa y Generación de modelo de teselas.
- Generación de DEM, ortomozaico y curvas de nivel.
- Sistematización de los productos en Arcgis, Civil 3D y Minesight 3D.
- Análisis errores y precisión de los volumen y áreas.

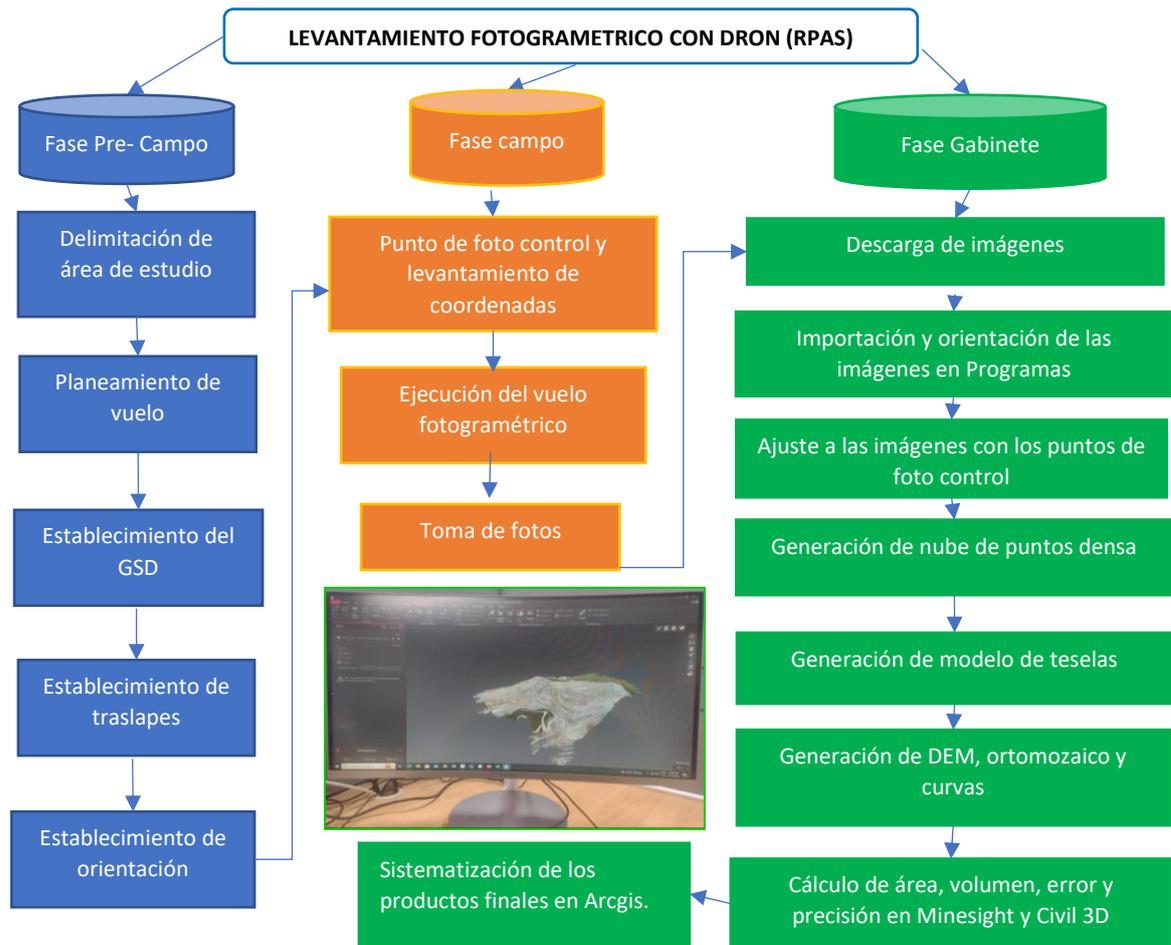


Figura 26 Diagrama de flujo del método con dron.



Figura 27 Levantamiento fotogramétrico con dron (RPAS).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Planificación de vuelo, diseño de vuelo y plan de vuelo

4.1.1 Diseño en la zona de yacimiento de mineral

Iniciamos un vuelo sobre la zona minera, para determinar las alturas máximas y mínimas utilizamos el software Google Earth, esto nos permite conocer fácilmente el perfil del terreno, basta con localizar la zona donde se realizará el vuelo y con ayuda de la herramienta “agregar ruta” se pueden trazar perfiles haciendo un barrido en la zona de interés. Una vez establecidas las alturas máximas y mínimas los requerimientos del proyecto son los siguientes.

Puntos de Control

Los puntos de control que hemos utilizado son 5 Pc y un punto de control fotogramétrico Pf.

Tabla 8 Los puntos de control que hemos utilizado son 5 Pc y PF.

Puntos de control	Código	Norte	Este	Elevación	Descripción
1	21	9252670.72	762467.011	3973.399	PC-1
2	22	9252576.71	762405.195	3967.583	PC-2
3	20	9252828.95	762390.846	3929.303	PC-3
4	19	9253011.26	762439.904	3929.098	PC-4
5	18	9253045.60	762105.605	3799.606	PC-5
6	23	9252827.00	762362.000	3920.000	PCF-6



Figura 28 Punto de control 1.

4.1.2 Cálculo de parámetros de vuelo para el yacimiento mineral de terreno montañoso

Para determinar los parámetros de un vuelo fotogramétrico que permite la obtención de fotografías correctas en función de la escala y los recubrimientos deseados, hemos programado un interfaz que permite lograr un cálculo de estos parámetros de una forma muy sencilla, solo digitalizamos en las casillas indicadas y oprimir el botón de calcular. El programa creado automáticamente calculara la separación entre líneas de vuelo, la altura media de vuelo, la base en el aire, cuatro parámetros de alturas mínimas y máximas a las que se puede volar para cumplir con la escala y el traslapo deseado.

En el lugar donde se realizan los vuelos son zonas montañosas la escala y el recubrimiento tienen muchas variaciones debido a las distintas elevaciones de la superficie, esto significa que no se podrá mantener con una escala y un recubrimiento estándar, en base a esto debemos establecer unas tolerancias que permitan tener un rango de altura de vuelo que cumpla con la escala y el recubrimiento requeridos. El problema principal a solucionar con nuestro formulario es obtener un diseño de vuelo que cumpla con las especificaciones de escala y traslapo.

Tabla 9 Parámetros iniciales para vuelo sobre terreno montañoso.

Parámetros	
Escala media de las fotografías:	1:11753
Tolerancia de la escala:	15%
Recubrimiento longitudinal deseado:	73.0%
Recubrimiento lateral medio deseado:	58.5%
Recubrimiento lateral mínimo:	45%
Recubrimiento lateral máximo	75%
Velocidad de vuelo:	59.93 mph
Nombre la cámara:	FC6520_DJI
Distancia focal de la cámara:	15.00 mm
Ancho del sensor de la cámara:	30.00 mm
Altura de la imagen en Píxeles:	2970 px
Ancho de la imagen en Píxeles:	5280 px

Determinación de la altura media de vuelo:

En cuanto a la altura del vuelo es da en función de la escala deseada y de la distancia focal de la cámara utilizada en el proyecto. Utilizamos siguiente fórmula para obtener la altura relativa de vuelo:

$$\text{Escala}(e) = \frac{\text{altura de vuelo } (H)}{\text{distancia focal } (df)}$$

Despejando obtenemos:

$$\text{Altura de vuelo } (H) = \text{Escala } (e) * \text{Distancia focal } (df)$$

En este caso considerando nuestro distancia focal y escala:

$$H = (11753) * (0.015)$$

$$H = 176.30 \text{ m}$$

Determinación del GSD

El GSD está en función de cuatro parámetros, la altura de vuelo, el ancho del sensor, la distancia focal de la cámara y el ancho de la imagen en pixeles se expresa en la siguiente ecuación:

$$GSD = \frac{\text{Ancho del sensor en mm} * \text{Altura de vuelo en m } (H) (100 \frac{cm}{m})}{\text{distancia focal } (df) \text{ en mm} * \text{ancho de imagen en pixeles}}$$

$$GSD = \frac{(30.0 * 176.3) * 100}{(15.0 * 5280)} \text{ cm/pix}$$

$$GSD = 6.68 \frac{cm}{pix}$$

Altura de la huella en el terreno

Para la altura de la huella en metros está en función de dos parámetros: GSD en cm/pix y la altura de la imagen en pixeles. Tenemos la siguiente ecuación:

$$\text{Altura de la huella} = \frac{GSD \text{ (en cm/pix)} * \text{Altura de la imagen (en pix)}}{(100 \text{ cm/m})}$$

$$\text{Altura de la huella} = \frac{(6.68 * 2970)}{100} \text{ m}$$

$$\text{Altura de la huella} = 198.39 \text{ m}$$

Ancho de la huella en el terreno

Para el ancho de la huella en metros es está en función dos parámetros: Gsd y ancho de la imagen en pixeles. Tenemos la siguiente ecuación:

$$\text{Ancho de la huella} = \frac{(\text{GSD (en cm/pix)} * \text{Ancho de la imagen (en Px)})}{(100 \text{ cm/m})}$$

$$\text{Ancho de la huella} = \frac{6.68 * 5280}{100}$$

$$\text{Ancho de la huella} = 352.70 \text{ m}$$

Determinación de la separación entre líneas de vuelo.

Consideramos dos parámetros como el ancho de la huella y el recubrimiento lateral:

$$\text{Separacion entre lineas de vuelo} = \text{ancho de la huella} * \left(1 - \frac{\text{Rec lat}}{100}\right)$$

$$\text{Separacion entre lineas de vuelo} = 352.70 * \left(1 - \frac{58.5}{100}\right)$$

$$\text{Separacion entre lineas de vuelo} = 146.37 \text{ m}$$

Determinación de la separación longitudinal entre fotografías

Consideramos dos parámetros como la altura de la huella y el recubrimiento longitudinal:

$$\text{Base en el aire} = \text{altura de la huella} * \left(1 - \frac{\text{Rec long}}{100}\right)$$

$$\text{Base en el aire} = 198.39 * \left(1 - \frac{73}{100}\right)$$

$$\text{Base en el aire} = 53.56 \text{ m}$$

Determinación de los valores máximo y mínimo de la altura dentro de los cuales cumplen las especificaciones de escala.

- Altura mínima:

$$\text{Altura minima} = \text{Altura media} * \left(1 - \left(\frac{\text{tolerancia en \%}}{100}\right)\right)$$

$$\text{Altura minima} = 176.3 * \left(1 - \left(\frac{15}{100}\right)\right)$$

$$\text{Altura minima} = 149.86 \text{ m}$$

- Altura máxima:

$$\text{Altura maxima} = \text{Altura media} * \left(1 + \left(\frac{\text{tolerancia en \%}}{100}\right)\right)$$

$$\text{Altura maxima} = 176.3 * \left(1 + \left(\frac{15}{100}\right)\right)$$

$$\text{Altura maxima} = 202.75 \text{ m}$$

Determinación de los valores máximo y mínimo de la altura dentro de los cuales se cumplen las especificaciones de recubrimiento lateral.

Para ello utilizamos 3 parámetros importantes como, la altura media, recubrimiento lateral y recubrimiento lateral máximo o recubrimiento lateral mínimo.

Altura mínima:

$$\begin{aligned} &= \text{Altura media} * \left(\frac{1 - \left(\frac{\text{recubrimiento lat}}{100}\right)}{1 - \left(\frac{\text{recubrimiento lat minimo}}{100}\right)} \right) \\ &= 176.3 * \left(\frac{1 - \left(\frac{58.5}{100}\right)}{1 - \left(\frac{45}{100}\right)} \right) \end{aligned}$$

$$\text{Altura minima} = 133.03 \text{ m}$$

Altura máxima:

$$\begin{aligned} &= \text{Altura media} * \left(\frac{1 - \left(\frac{\text{recubrimiento lat}}{100}\right)}{1 - \left(\frac{\text{recubrimiento lat maximo}}{100}\right)} \right) \\ &= 176.3 * \left(\frac{1 - \left(\frac{58.5}{100}\right)}{1 - \left(\frac{75}{100}\right)} \right) \end{aligned}$$

$$\text{Altura maxima} = 292.66 \text{ m}$$

Para establecer el rango de alturas que logren con la escala y el recubrimiento esperado, debemos tomar el valor más alto entre las dos alturas mínimas y el valor más bajo de las dos alturas máximas. Resultando el valor medio:

$$\text{Altura minima de vuelo} = 149.86 \text{ m}$$

$$\text{Altura media de vuelo} = 176.30 \text{ m}$$

$$\text{Altura maxima de vuelo} = 292.65 \text{ m}$$

Resultados del diseño en terreno montañoso: base en el aire y separación entre líneas

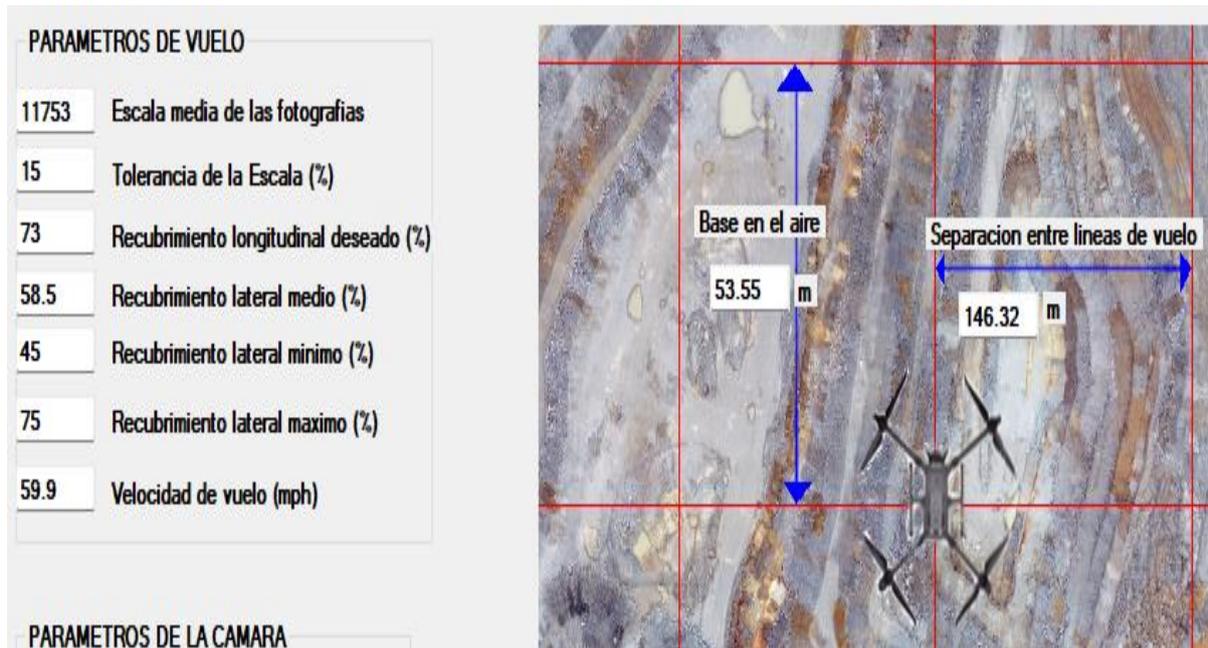


Figura 29 Resultado del diseño en terreno montañoso: base en el aire y separación entre líneas.

Determinación del tiempo de obturación de la cámara

El tiempo de obturación de la cámara, es el tiempo necesario para poder capturar la fotografía en función de la velocidad del vehículo. La velocidad en los criterios iniciales está en millas por hora(milla/h), es necesario convertirla a metros por segundo para aplicarlo a la ecuación.

$$Velocidad \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{Separacion \text{ entre } fotografias \text{ (m)}}{Tiempo \text{ de } toma \text{ de } fotografia \text{ en (s)}}$$

$$Velocidad = \frac{53.57 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 26.78 \text{ m/s}$$

$$Velocidad = 96.43 \text{ km/h}$$

$$1 \text{ milla/h} = 0.44704 \text{ metros/seg}$$

$$59.93 \text{ mph} * 0.44704 = 26.78 \text{ m/s}$$

$$Intervalo \text{ de } obturacion = \frac{Base \text{ en el aire}}{velocidad \text{ (en m/s)}}$$

$$Intervalo \text{ de } obturacion = \frac{53.56 \text{ m}}{26.78 \text{ m/s}}$$

$$Intervalo \text{ de } obturacion = 2.0 \text{ segundos}$$

Rango de alturas permitidas segun escala		RESULTADOS:	
Altura minima de vuelo (m)	149.85	GSD (cm/pixel)	6.68
Altura maxima de vuelo (m)	202.74	Ancho de huella de una imagen en el suelo (m)	352.59
Rango de alturas permitidas segun recubrimiento lateral		Altura de huella de una imagen en el suelo (m)	198.33
Altura minima de vuelo (m)	133.02	Altura media de vuelo (m)	176.3
Altura maxima de vuelo (m)	292.65	Intervalo de obturacion (s)	2
By: S. Roger Yopla H.		Distancia focal de la camara (mm)	15
		Velocidad (m/s)	26.78

Figura 30 Resultados del diseño en terreno montañoso.

4.1.3 Misión de vuelo

El software Mission Planner es una completa aplicación de estación terrestre la cual nos permite crear un proyecto de piloto automático, en dicho proyecto se puede crear una ruta de coordenadas y alturas.

Uso del Software Mission Planner

La creación de nuestra ruta de vuelo se llevará a cabo utilizando la función "Flight Plan", al seleccionar se abrirá una ventana con un mapa base donde podemos ubicarnos en nuestra área de yacimiento minero o mediante puntos de GPS.

Para creación de plan de vuelo, seleccionamos el Waypoint de despegue, para crearlo damos clic en el punto de despegue (mapa) y procedemos a cambiar en el Waypoint por el comando de "Takeoff" los siguientes puntos que seleccionemos en el mapa serán los puntos de la ruta de vuelo, hasta el último Waypoint el cual llevará por comando LAND esto quiere decir que en el último punto aterrizará el dron (RPAS).

En diseño del plan de vuelo se creó un polígono de 4 Waypoint, uno inicial y punto de Takeoff, un polígono que está constituido de 7 líneas paralelas al polígono perímetro y un a pequeña. Todos a una altura de vuelo de 176.3 m, 181 imágenes y un radio de 73.15 m. Como se muestra:

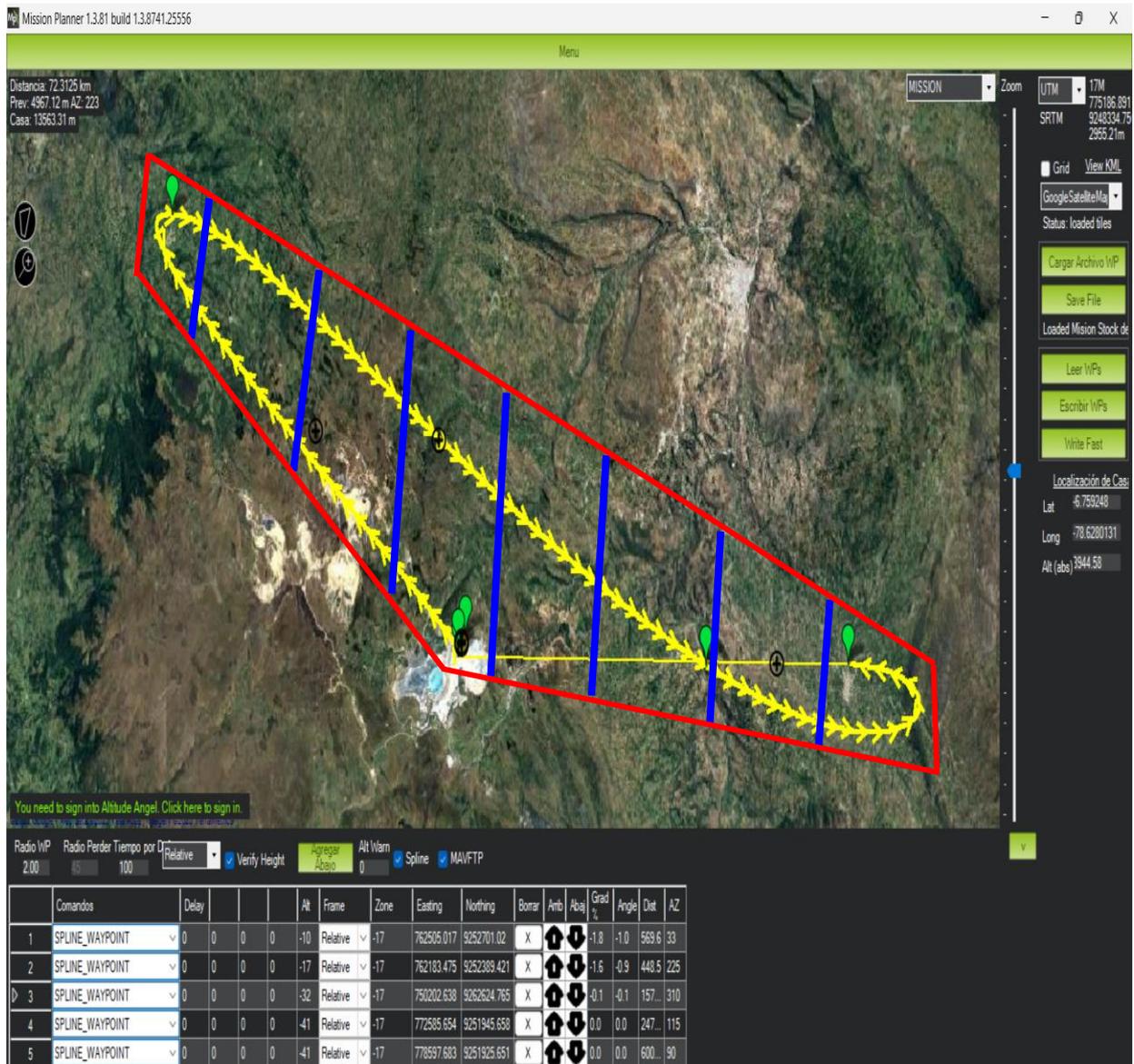


Figura 31 Ruta de vuelo con la cámara apuntando hacia el yacimiento mineral.

Ruta de vuelo por medio de un polígono: consiste en crear un polígono sobre el aérea de interés, y luego generarle una grilla en donde el RPAS sobrevolara por toda la zona. En este método es posible modificar varios parámetros como velocidad del vuelo, altura, distancia en metros entre líneas de vuelo (grilla). A demás, se pueden conocer datos como área seleccionada, longitud de líneas en la grilla, duración total del vuelo, numero de fotografías, entre otros.

Para realizar este tipo de método damos clic derecho sobre el mapa, esta acción despliega una serie de herramientas, seleccionamos la opción de “Draw Polygon” y luego “Add Polygon

Point”, el software nos crea el primer punto del polígono el cual podemos mover a donde queramos, luego para seguir adicionando puntos picamos clic izquierdo delimitando la zona de nuestro interés.

Luego de crear el polígono, clicamos de nuevo en el mapa y elegimos la opción "Auto WP" y luego "Survey Grid". Al hacer esto, se abrirá una nueva ventana con la rejilla de vuelo creada, donde podremos ajustar distintos parámetros según nuestras necesidades para el trabajo que vamos a realizar.

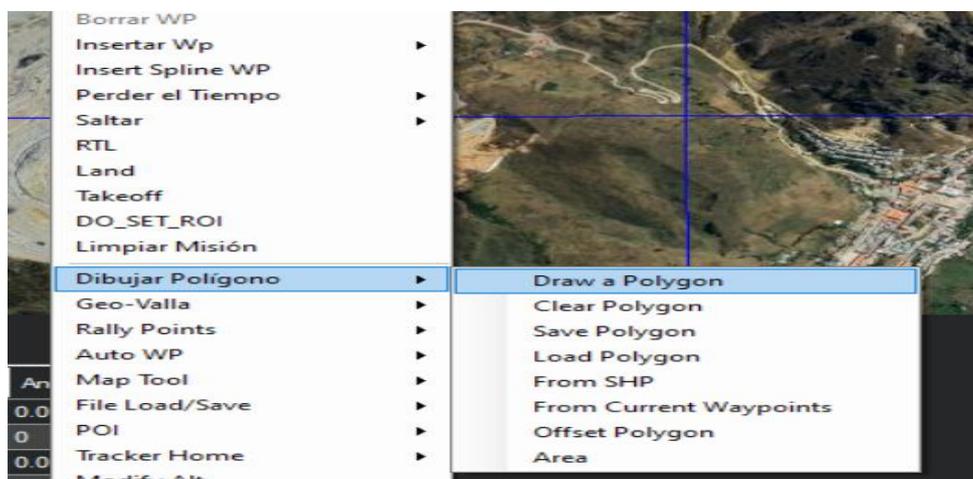


Figura 32 Creación del polígono delimitando la zona de interés.

Tabla 10 Parámetros establecer para nuestra misión de vuelo.

Parámetros	
Simple	
Cámara	FC6520-DJMFT15mm
Altitud (m)	176.3
Angle (deg)	4
Velocidad-Flying Speed (est) (m/s)	26.8
Grid Opciones	
Distancia entre lineas (m)	146.37
Longitudinal-Overlap (%)	73
Transversal-Siedlap(%)	58.5
Cámara Configuración	
Distancai Focal- Focal Length (mm)	15
Image Width (pixels)	2580
Image Height (pixels)	2970
Sensor Width (mm)	17.5
Sensor Height (mm)	9.844

The image shows a flight mission configuration interface with three main panels: Simple Options, Grid Options, and Camera Options.

Simple Options:

- Camera: FC6520_DJIMFT15
- Altitude (m): 176
- Angle [deg]: 4
- Camera top facing forward
- Flying Speed (est) (m/s): 26.8
- Use speed for this mission
- Add Takeoff and Land WP's
- Use RTL
- Split into x segments: 1

Grid Options:

- Distance between lines [m]: 146.37
- OverShoot [m]: 0
- LeadIn [m]: 0
- StartFrom: Home
- Overlap [%]: 73.0
- Sidelap [%]: 58.5
- Cross Grid Corridor Spiral
- Corridor Width [m]: 100.0

Copter Options:

- Delay at WP (sec): 0.0
- Heading Hold: 178
- Unlock from grid
- Spline Exit/Entrys

Plane Options:

- Alternate Lanes
- Min Lane separation: 0
- Optimise for Distance

Spiral Options:

- Number of Laps: 200
- Number of Clockwise Laps: 0 (-1 for Clockwise Spiral)
- Match Perimeter to Polygon

Camera Options:

- Focal Length [mm]: 15.0
- Image Width [Pixels]: 5280
- Image Height [Pixels]: 2970
- Sensor Width [mm]: 17.5
- Sensor Height [mm]: 9.844
- Buttons: Load Sample Photo, Save
- Calculated Values:
 - cm/pixel: 3.90 cm
 - Field of View Horizontal [m]: 205.7
 - Field of View Vertical [m]: 115.7

Trigger Method:

- CAM_TRIGG_DIST Breakup starts
- DO_DIGICAM_CONTROL
- DO_REPEAT_SERVO
- Servo: 5, PWM: 1100, Cycle Time [s]: 2
- DO_SET_SERVO
- Servo: 5, PWM L: 1100, PWM H: 1900

Control-S to save to file
Control-O to load form file

Stats:

Area:	1480997 m ²	Pictures:	181	Flight Time (est):	10:07 Minutes	Min Shutter Speed:	1/1373
Distance:	13.01 km	No of Strips:	8	Photo every (est):	2.07 Seconds		
Dist between images:	55.5 m	Footprint:	205.7 x 115.7 m	Turn Dia (at 45d):	146 m		
Ground Resolution:	3.90 cm	Dist between lines:	146.37 m	Ground Elevation:	3696-3989 m		

Figura 33 Parámetros para Generación de vuelo por polígono y grilla.

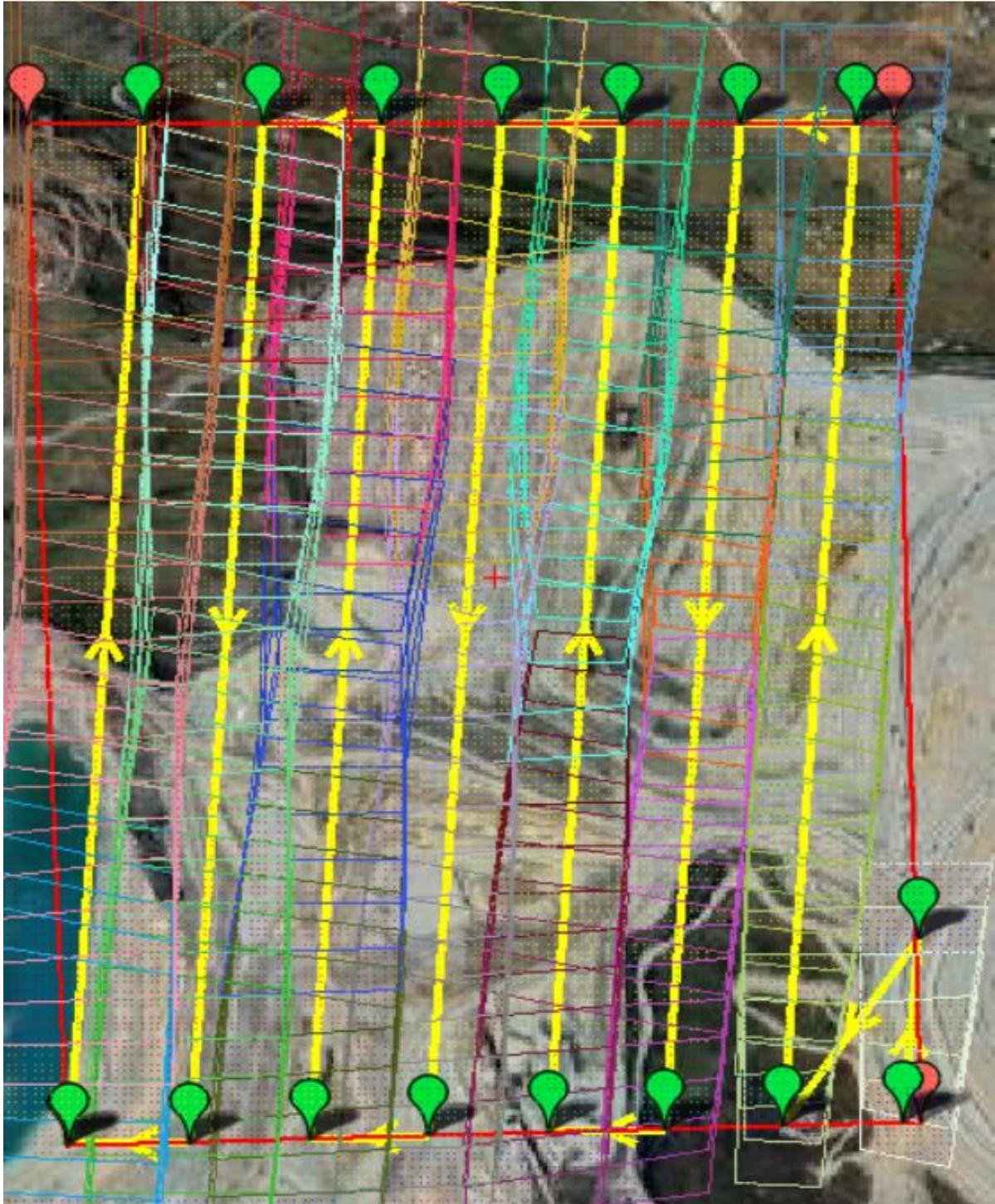


Figura 34 Generación de vuelo por polígono y grilla.

Para poder tener más confiabilidad del plan de vuelo exportamos klm a Google Earth podemos crear un trabajo de visualización de los polígonos y puntos. Donde el cual el polígono de color amarillo muestra el recorrido de la misión de vuelo de dron y el polígono de celeste es nuestro recorrido del dron a nivel de superficie del yacimiento de mineral.

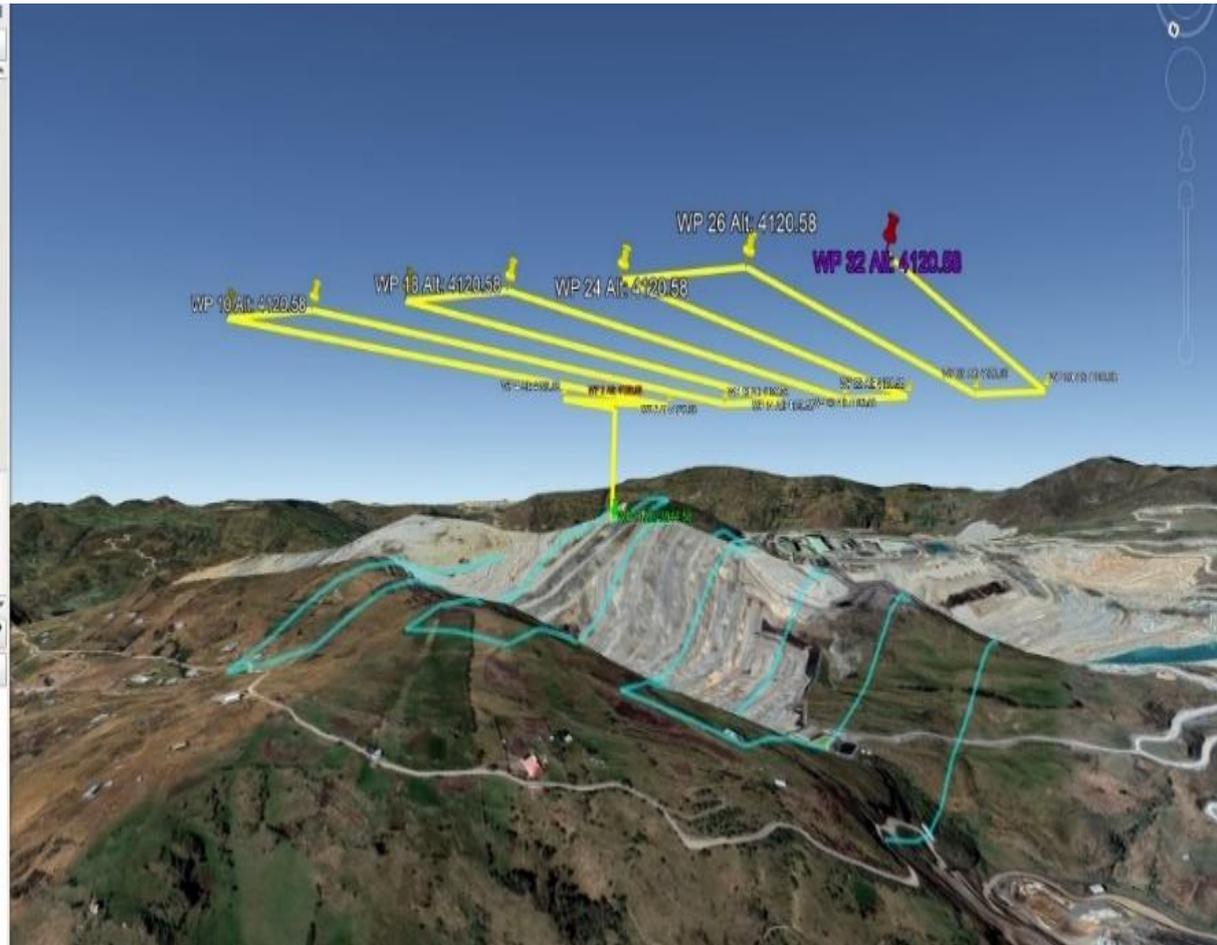


Figura 35 Polígono en Google Hearth.

4.2 Procesamiento y productos fotogramétricos como determinación de la precisión de aerotringulación

4.2.1 Uso de Software Pix4D

Para usar el software Pix4D colocamos nuestra data de campo y los parámetros para obtener nuestros datos más precisos y reales.

- Iniciaremos abriendo el programa, con el nombre “Proyecto”, luego presionaremos “Nuevo Proyecto”. Se nos mostrará una pantalla en la cual digitaremos el nombre de nuestro archivo y buscaremos la ruta en la que se guardará presionaremos botón siguiente.
- Seleccionaremos con el botón “Añadir Imágenes” todas las fotos a utilizar en nuestro proyecto dentro de la ruta en la que las tengamos almacenadas en la computadora, presionaremos siguiente.

- En la ventana “Propiedades de la imagen”. En la geolocalización de la imagen automáticamente se carga desde los datos EXIF de la imagen y en coordenadas WGS 84 zona Sur 17 (latitud, longitud y altitud). El modelo de la cámara se carga con FC 6520 DJI MFT 15mm F. presionamos siguiente.

Image Properties

Image Geolocation

Coordinate System

 Datum: World Geodetic System 1984; Coordinate System: WGS 84

Geolocation and Orientation

Geolocated Images: 181 out of 181

Geolocation Accuracy: Standard Low Custom

Selected Camera Model

 FC6520_DJIMFT15mmF1.7ASPH_15.0_5280x2970 (RGB)

Enabled	Image	Group	Latitude [degree]	Longitude [degree]	Altitude [m]
<input checked="" type="checkbox"/>	100_0004_0001....	group1	-6.75434072	-78.63334217	4203.025
<input checked="" type="checkbox"/>	100_0004_0002....	group1	-6.75455008	-78.63330733	4202.882

Figura 36 Pix 4D: Sistema de coordenadas.

- En la barra de procesamiento que está en la parte inferior, seleccionar (1. Procesamiento inicial), deseleccionaremos (2. Nube de puntos y malla) y (3. DSM, Ortomosaico e Índice,) después presionaremos Inicio.
- Dentro de rayCloud podremos visualizar los puntos generados y puntos de apoyo para georreferenciar; en la pestaña capas buscaremos los puntos de apoyo, para proyecto seleccionaremos el punto con nombre (9004), se marcará con líneas de color verde la dirección desde la cual se puede observar dicho punto con la geolocalización de las fotos tomadas con el GPS interno del dron.

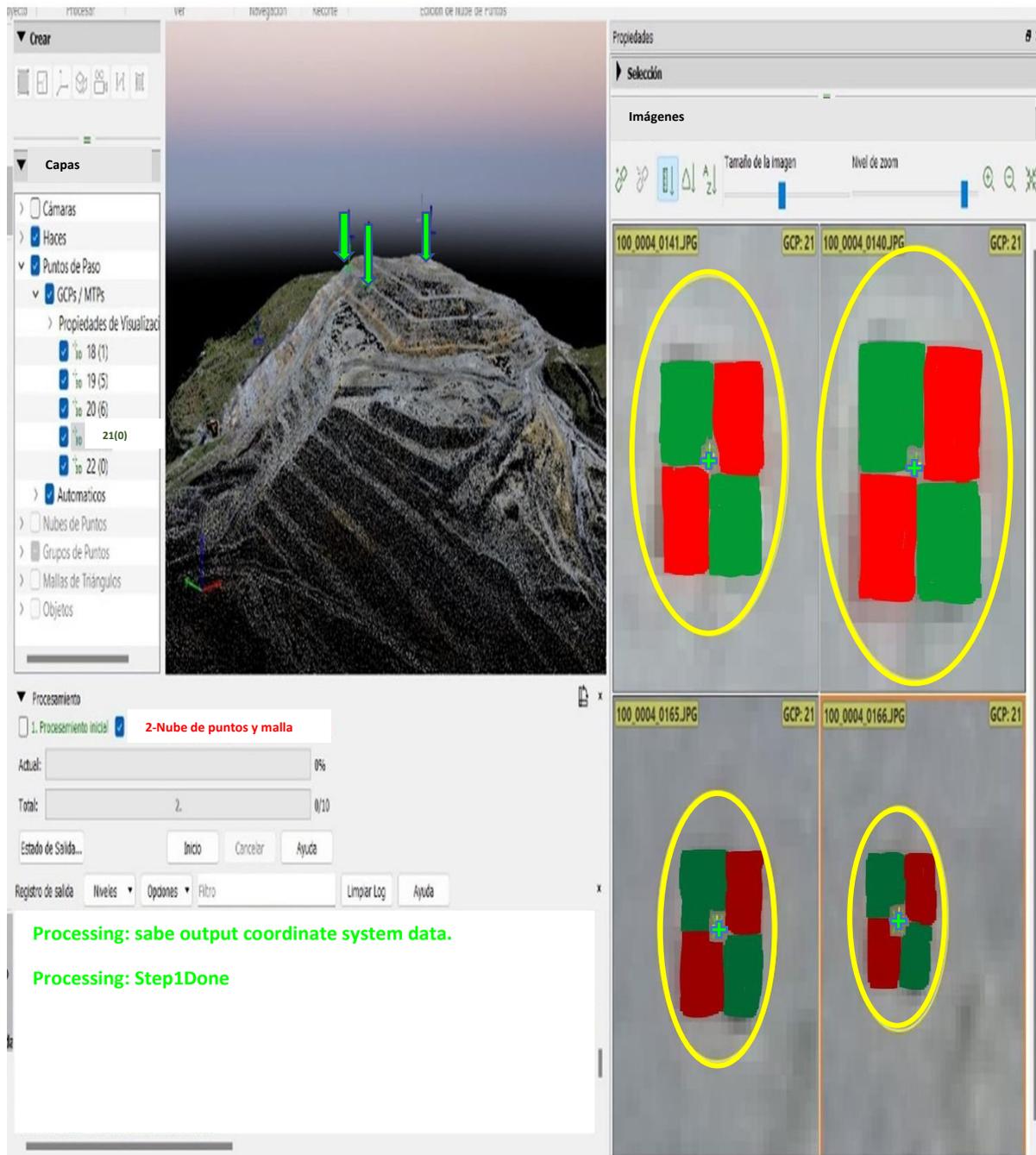


Figura 37 RayCloud.

- Para realizar la corrección de las fotos con los puntos de control, nos daremos cuenta que en la imagen se aprecia una marca de color azul, la cual el dron ha tomado como la coordenada buscada en base a su GPS interno, nosotros seleccionamos el punto exacto de la coordenada de apoyo dentro de la imagen y resultara un círculo de color amarilla.

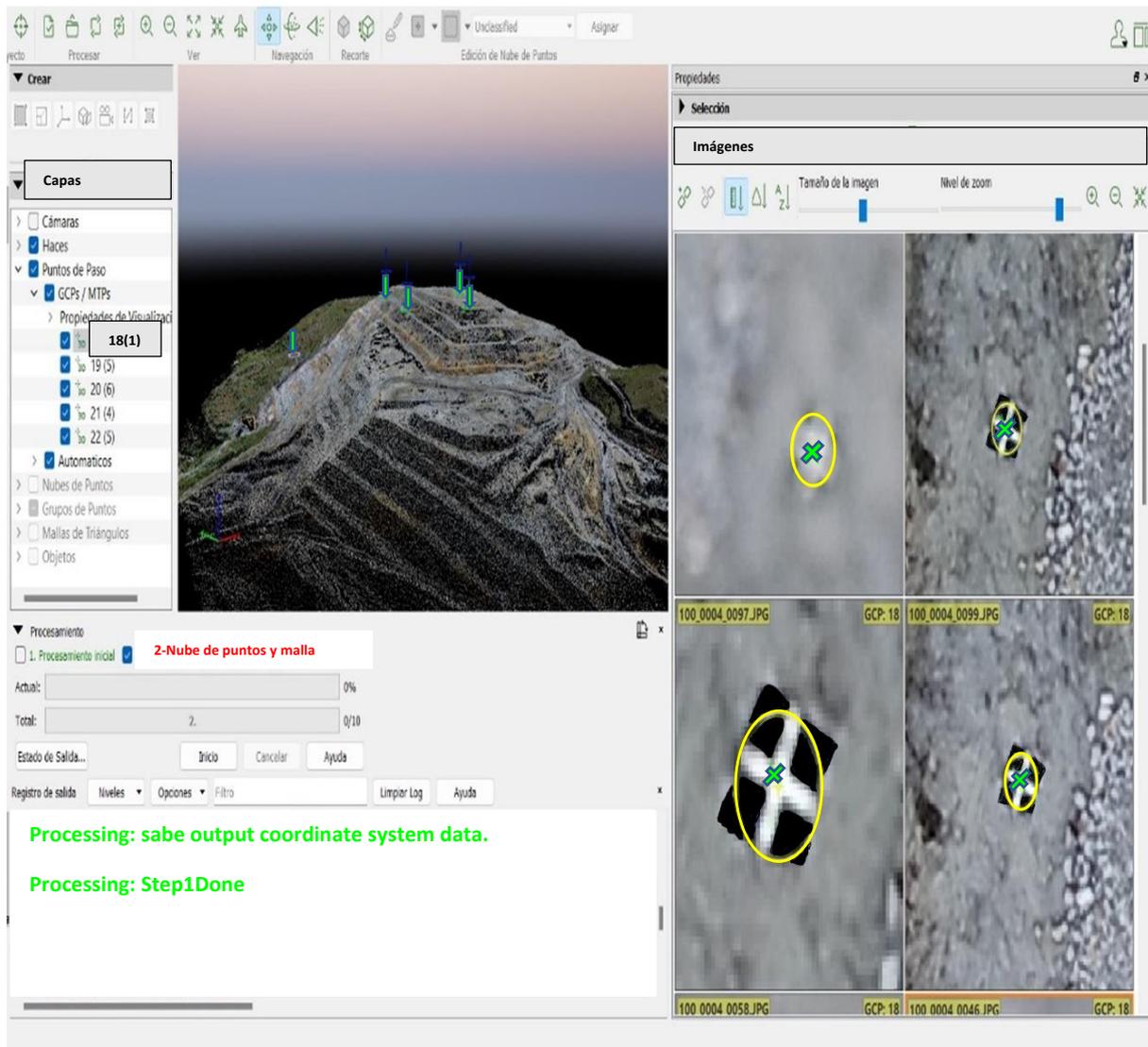


Figura 38 Corrección de las fotos.

- Para segundo paso seleccionamos el nombre (2. Nube de puntos y malla), en la parte inferior seleccionamos Iniciar. Finalizado el procesamiento seleccionamos dentro de la pestaña “Capas” la opción “Nube de puntos”; esto nos dará un mapa con una nube de puntos más densa a la obtenida con el primer paso y corregida por nuestros puntos de apoyo.
- Para finalizar el procesamiento de nuestros datos seleccionamos dentro de la pestaña “Capas” la casilla “Malla de triángulos”, la cual generará una superficie con un mayor detalle de realismo de nuestro levantamiento.

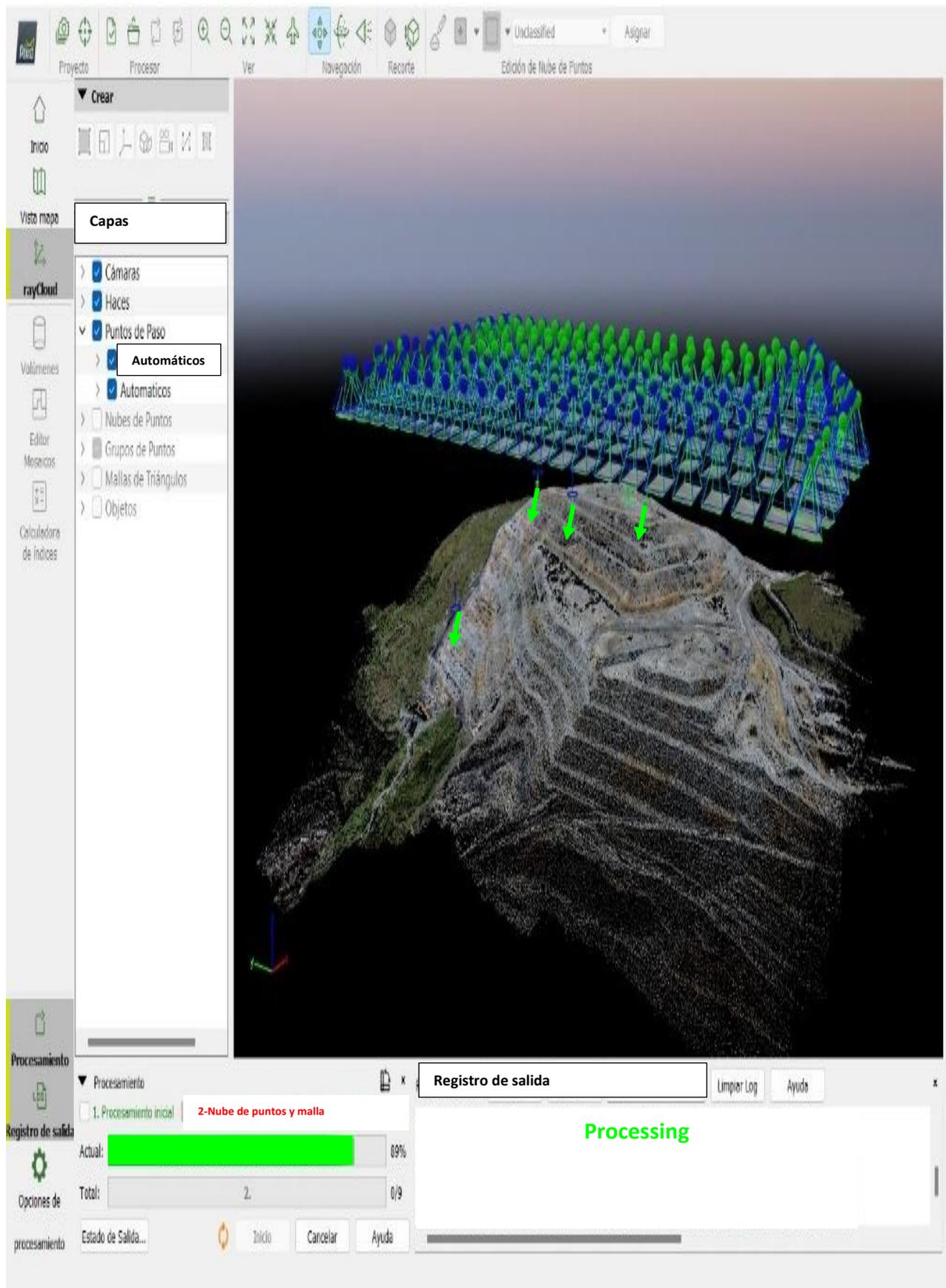


Figura 39 Superficie con un mayor detalle de realismo de nuestro levantamiento.

- En la opción (3. MDS, Ortomosaico e índices) podremos seleccionar los resultados que obtendremos del procesamiento de las fotos, la cantidad de información obtenida de cada resultado y precisión de los datos de salida.
- Finalmente, "Recursos y Notificaciones", podremos elegir los recursos de nuestra computadora que se utilizarán para procesar las fotos.
- En nuestra investigación consideramos que los puntos de apoyo fotogramétricos son puntos en la superficie (terreno) que son seleccionadas en el plano u objeto del software para obtener las coordenadas conocidas y se utilizan para una mejor georreferenciación y orientación de las imágenes fotogramétricas.
- Para obtener coordenadas dentro de nuestra nube de puntos, nos dirigimos a la opción (Gestor GCP/MTP), luego seleccionamos añadir punto, se mostrará como un punto de paso; para ubicar el punto dentro de nuestra malla de puntos presionaremos el botón "Editor básico". Dentro de (Gestor GCP/MTP) seleccionamos "Exportar punto de apoyo fotogramétrico", seleccionamos los parámetros deseamos obtener nuestros datos, la ubicación y nombre del archivo a extraer en el formato (txt) y presionamos aceptar. Finalizado habremos extraído Puntos Apoyo Fotogramétrica.

Tabla 11 Punto de apoyo fotogramétrico

Punto de apoyo fotogramétrico	Código	Norte	Este	Elevación	Descripción
1	23	9252827.000	762362.000	3920.250	PCF-6
2	24	9262624.765	750202.638	3215.520	PCF-7
3	25	9251945.658	772585.654	3110.632	PCF-8
4	26	9251925.651	778597.683	3252.740	PCF-9

Nota. Punto de apoyo fotogramétrico

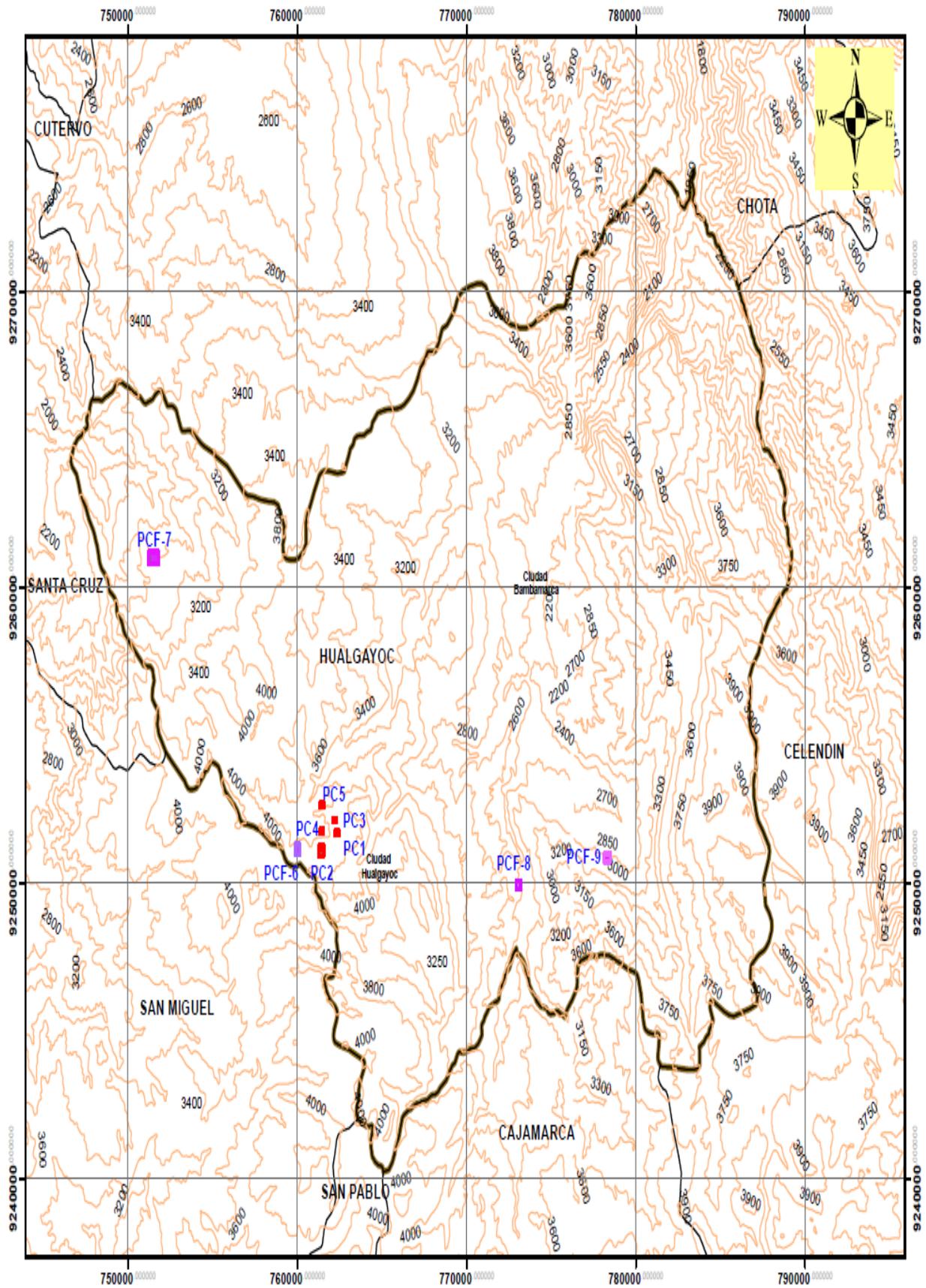


Figura 40 Curvas de nivel de los Yacimientos minerales

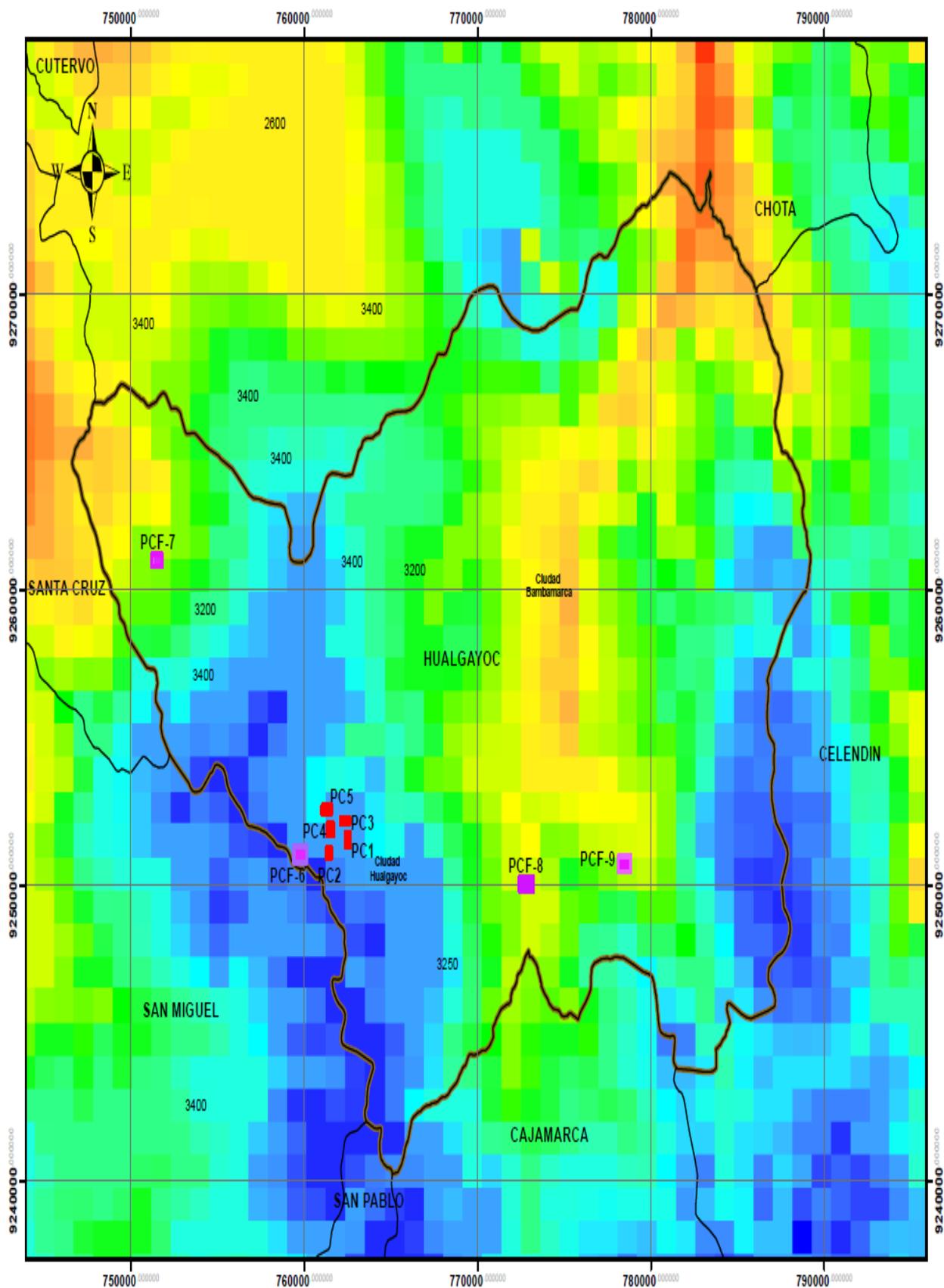


Figura 41 Ráster del Modelo Digital de Terreno de los Yacimientos de minerales.

- Nube de Puntos: de la información procesada se muestra el detalle de la densificación de la nube de puntos en el Yacimiento de mineral YM1 y YM2.

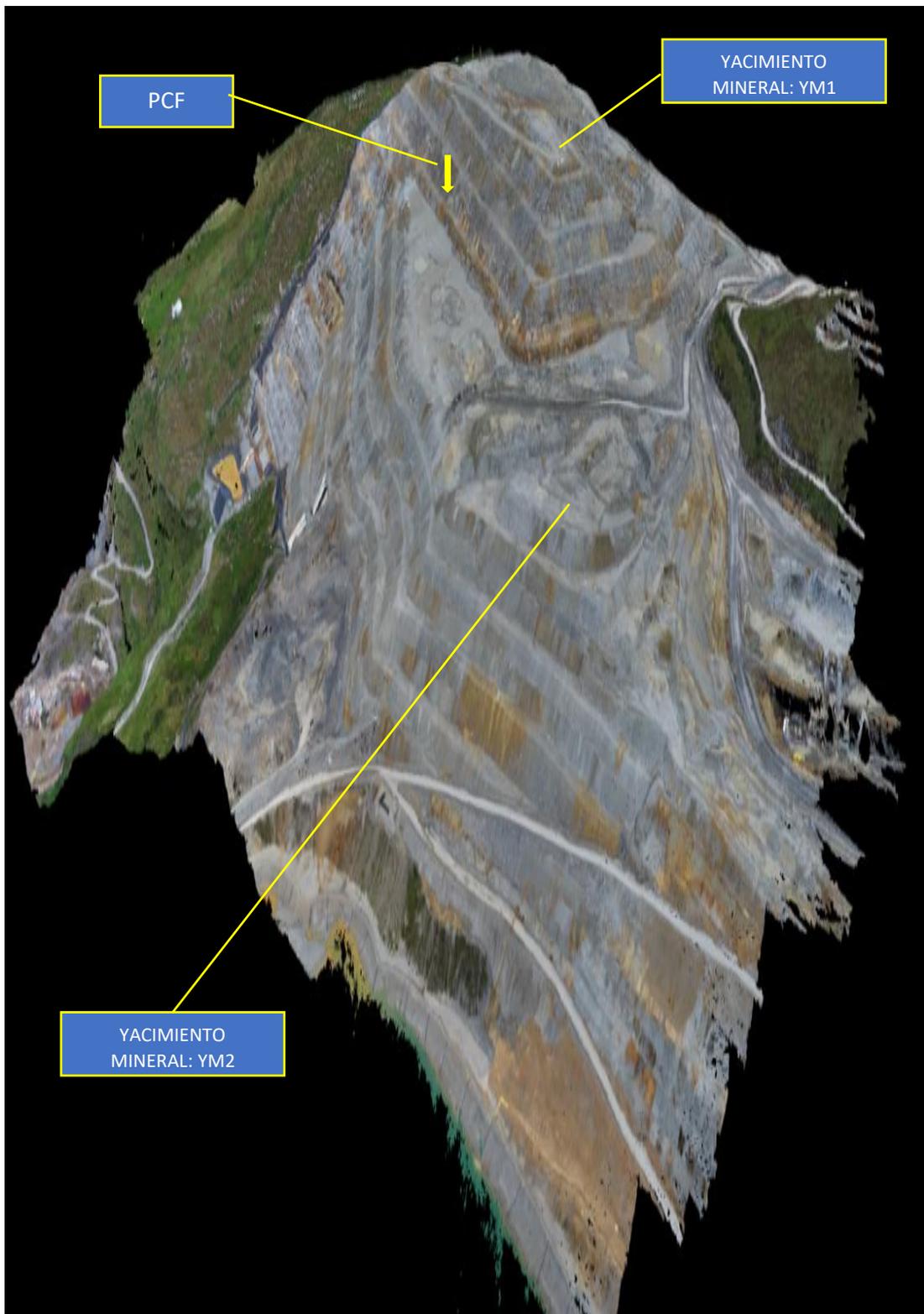


Figura 42 Nube de puntos del procesamiento fotogramétrico en el software Pix4d mapper.

Tabla 12 Resultado obtenido de los puntos generados del proyecto.

Puntos Generados del Proyecto Extraídas		
Número de clústeres procesados	1	Muestra el número de clústeres generados, si se ha generado más de 1 clúster.
Número de mosaicos generados	1	Muestra el número de mosaicos generados para la nube de puntos densificada.
Número de puntos densificados 3D	2 0106 993	Número total de puntos densificados 3D obtenidos para el proyecto.
Densidad promedio (por m3)	8.68	Número medio de puntos densificados 3D obtenidos para el proyecto por metro cúbico.

Nota. Resultado obtenido de los puntos generados del proyecto.

- Modelo Digital de Superficie: se muestra la representación visual y matemática de todos los elementos existentes en el proyecto estos valores están contenidos en un archivo de tipo ráster con el siguiente valor:

Tabla 13 Detalles y opciones del procesamiento del modelo digital de superficie y terreno.

Detalles y opciones del procesamiento del modelo digital de superficie y terreno	
DSM Resolución y Ortomosaico	1 x GSD (6.68[cm/pixel])
Filtros DSM	Suavizado de Superficie: Si, Tipo: Fragmentado
Ráster DSM	Generado: Si
Ortomosaico	Generado: Si Transparencia: Si Mosaicos de Google maps y Kml: Si
Ráster DTM	Generado: Si
Resolución del DTM	Fusionar Mosaicos: Si 5 x GSD (6.68[cm/pixel])
Tiempo para la generación del DSM	03m:22s
Tiempo para la generación del Ortomosaico	19m:55s
Tiempo para la generación del DTM	20m:00s

Nota: Elaboración propia y obtención de información del Programa Pix 4D.

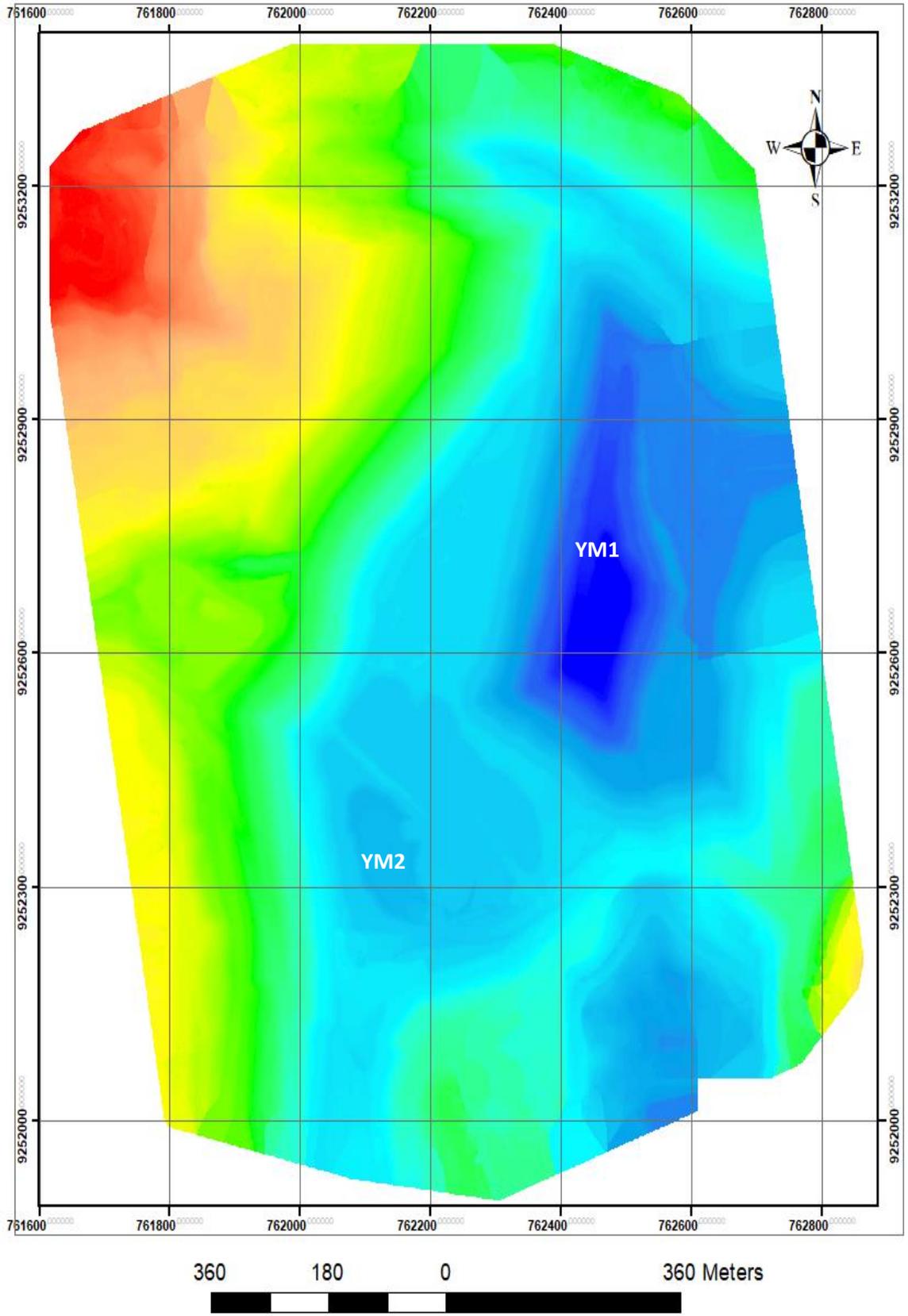


Figura 43 Modelo Digital de Superficie del yacimiento de mineral.

- Modelo Digital de terreno: se muestra el resultado del ráster DTM que es la representación matemática de las condiciones de la topografía y geomorfología solo del terreno.

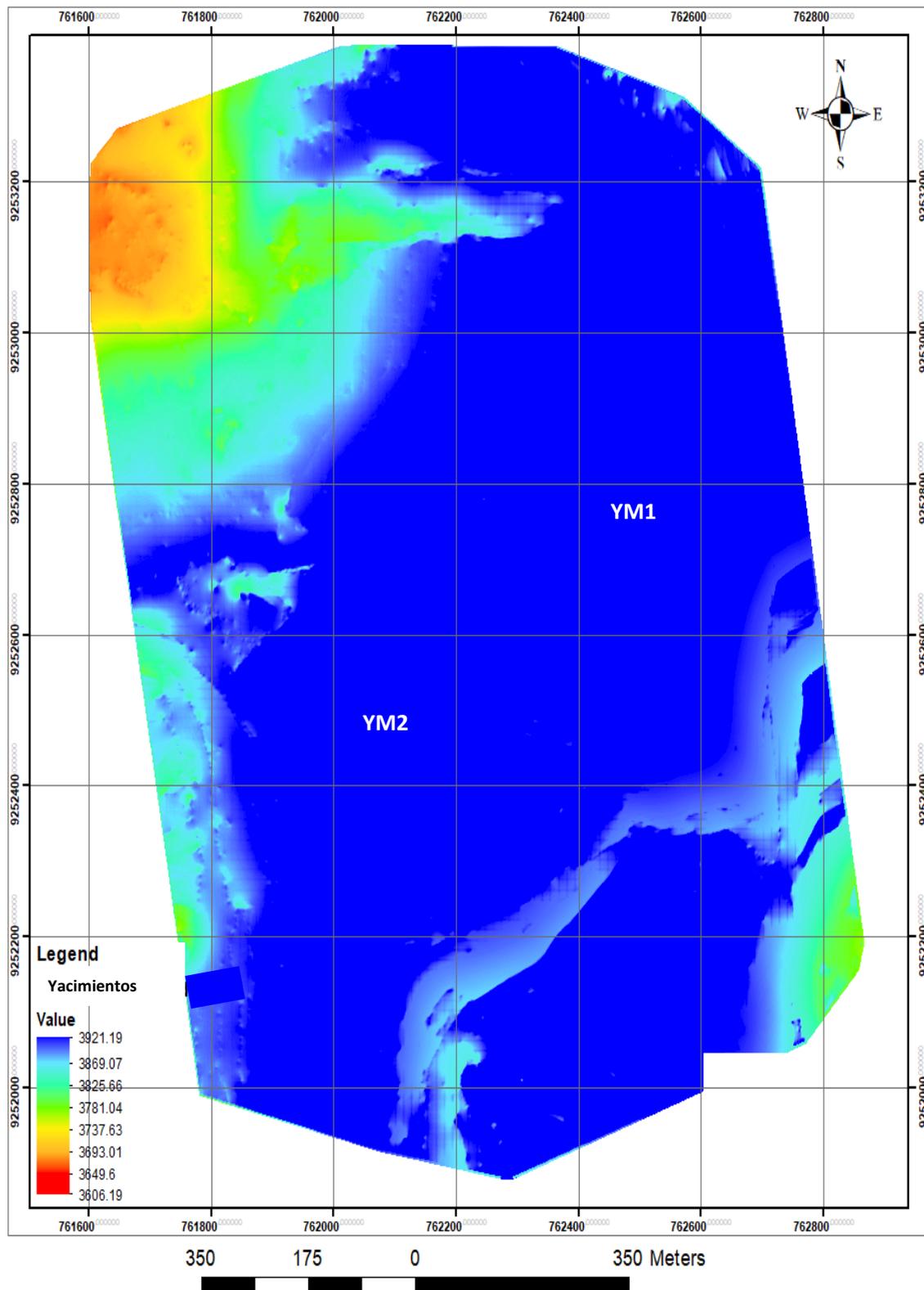


Figura 44 Ráster del Modelo Digital de Terreno del Yacimiento de mineral.

- Ortofoto: resultado obtenido del procesamiento del proyecto Yacimiento de mineral.

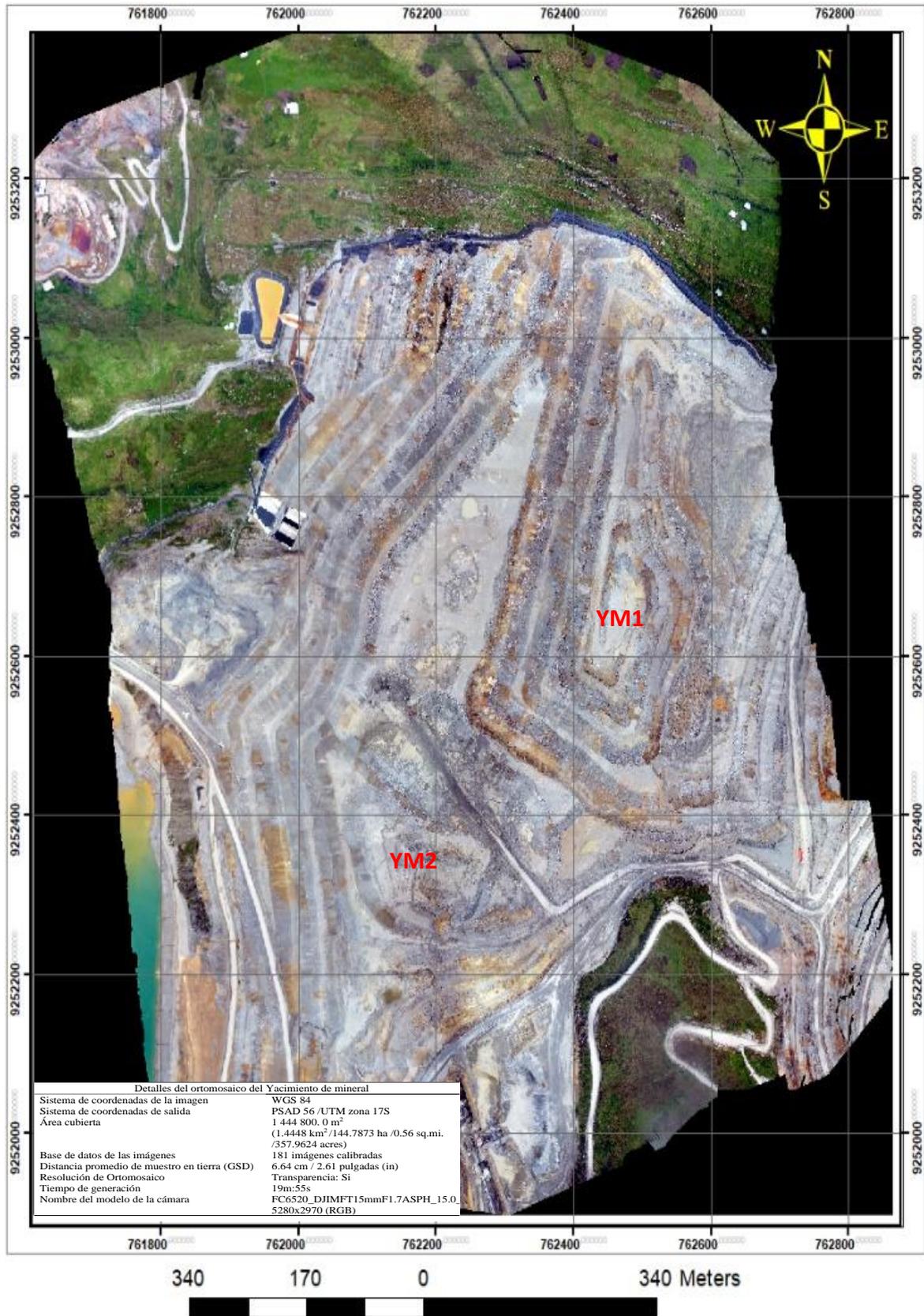


Figura 45 Ortomosaico del Yacimiento de mineral.

- Curvas de Nivel con la Fotogrametría: resultados de la generación de Curvas de nivel a partir del modelo digital de terreno en el proyecto.

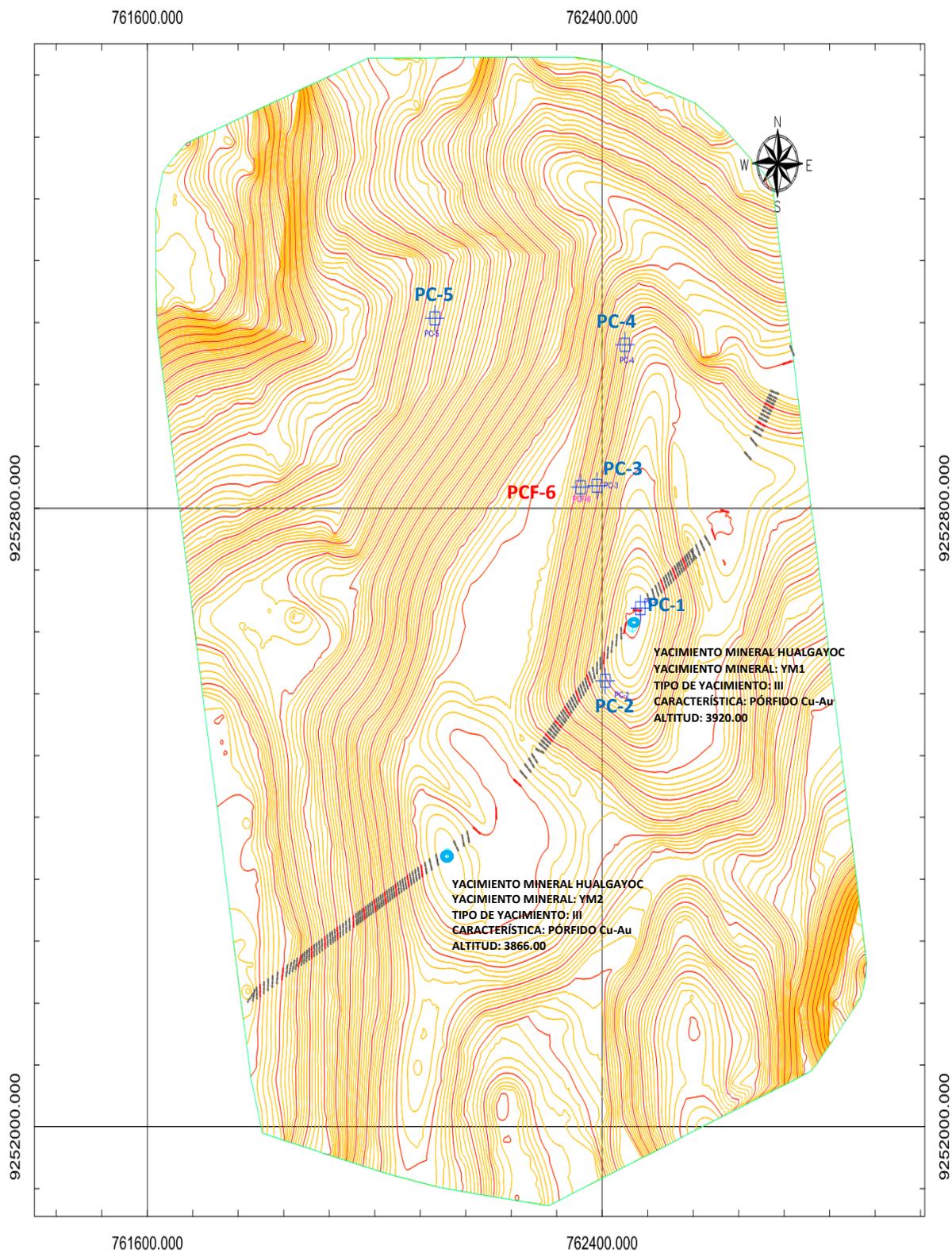


Figura 46 Curvas de nivel de los yacimientos YM1 y YM2.

Tabla 14 Detalles de curvas de nivel de yacimiento de mineral.

Detalles de curvas de nivel de yacimiento de mineral	
Curvas de nivel Sistema de coordenadas	WGS 1984 datum, Zone 17 South, Meter; cent. Meridian 81 d
Curva menor	2.00 m
Curva mayor	10.00 m
Triangulaciones	Usar superficie de elevación
Grilla	100 m

Equipo utilizado:

- Una Estación total marca: Leica TS07.
- Dos trípodes.
- Dos prismas.
- Un colector de datos.
- Una cinta métrica de 3.00 m.

Personal requerido:

- Un técnico topográfico.
- Dos auxiliares de topografía

Resultados obtenidos:

Tabla 15 Resultados del Dron.

DRON				
Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Código
23	9252827	762362	3920	PC

Tabla 16 Resultados del Dron RTK.

DRON RTK				
ID	PUNTO	Este (m)	Norte (m)	Elevación Ortometrica (m)
1	18.000	762105.785	9253045.707	3799.814
2	19.000	762439.753	9253011.256	3928.842
3	20.000	762390.786	9252828.991	3928.945
4	21.000	762466.953	9252670.607	3973.530
5	22.000	762405.369	9252576.681	3967.886

4.2.2 Uso de Software Agisoft Metashape

El software Agisoft Photoscan es un programa autónomo que permite realizar el proceso fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D.

- El programa se divide en tres pantallas principales Espacio de trabajo – Modelo – Imágenes. El vuelo fue realizado con un Dron Matrice 350 RTK, en el yacimiento mineral, se obtuvieron un total de 181 fotografías y se ubicaron 5 puntos de control en terreno, los cuales tienen las siguientes coordenadas en el sistema de proyección Datum PSAD 56 Zona 17 sur de Cajamarca Perú.
- Puntos de control: para establecer el sistema de coordenadas, debemos dirigirnos a flujo de trabajo y "Reference" o referencia. Luego, clic en "Import" o importar y cargamos nuestro archivo.

Cuando vamos a cargar los puntos de control. Pero en este caso vamos a deshabilitar la casilla de las rotaciones de la cámara y vamos a dejar el mismo sistema de proyección Psad56/ UTM zona17S (EPSG:24877).

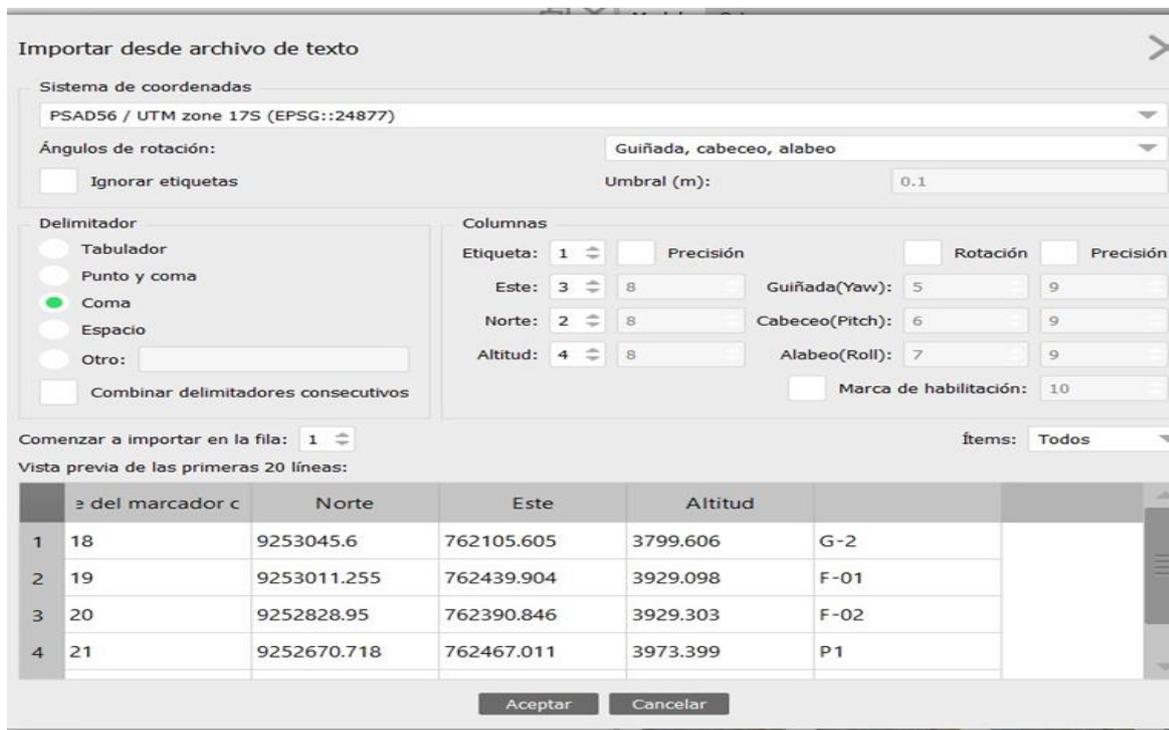


Figura 47 Cargar los puntos de control.

Con las coordenadas de los puntos y el sistema de referencia adecuado, procedemos a marcar los puntos de control en las imágenes correspondientes. Para ver la imagen, aumentamos el zoom hasta ubicar el píxel central del punto de control y hacemos clic derecho, seleccionando la opción colocar marcador o "place marker" según corresponda. Este procedimiento se repite para todas las imágenes que contengan puntos de control.

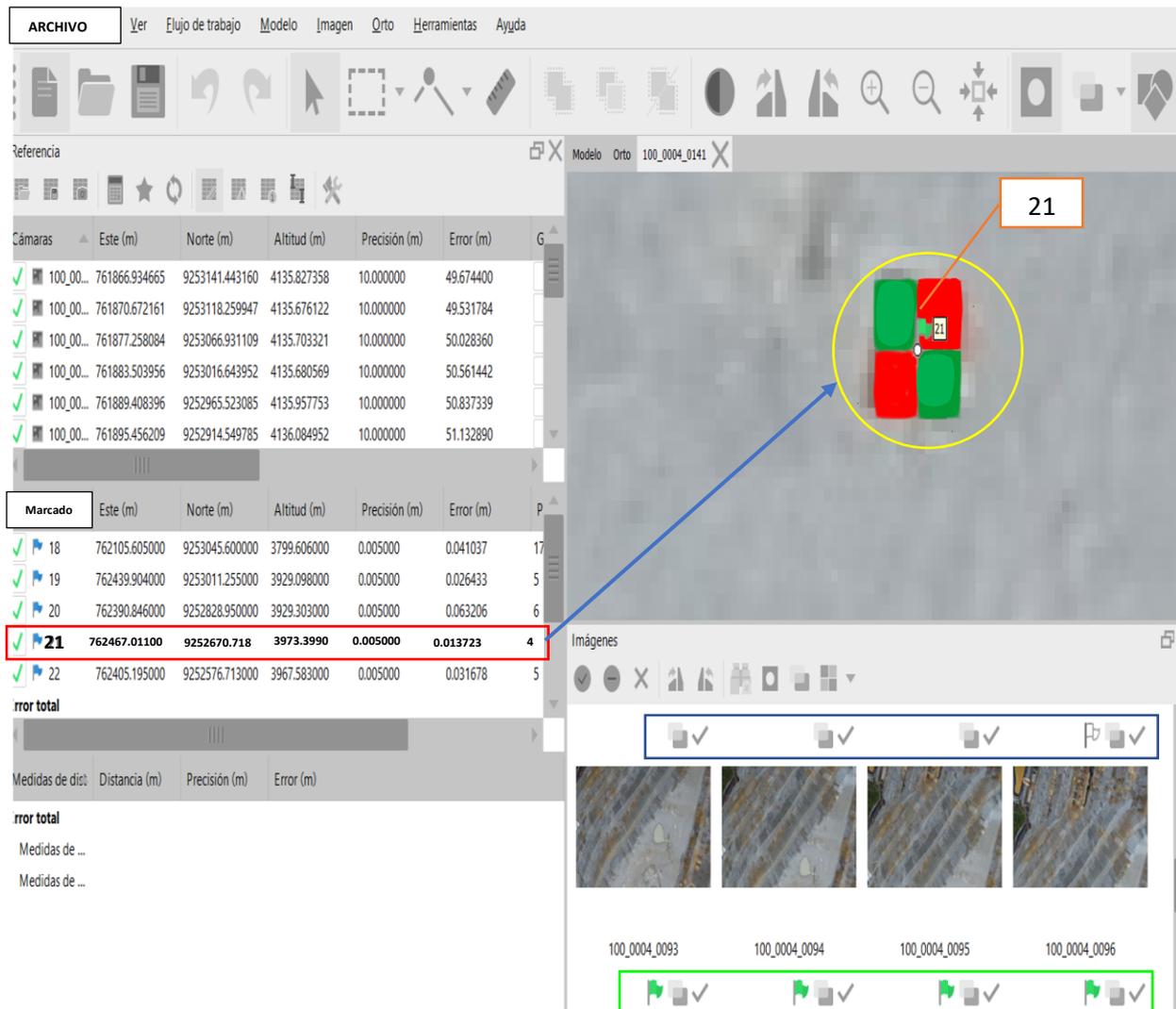


Figura 48 Colocar marcador.

Después de que el punto de control está ubicado en la imagen nos aparece un icono de una bandera, el software reconoce las imágenes que posiblemente pueden tener el mismo punto de control y las marca con una figura color gris.

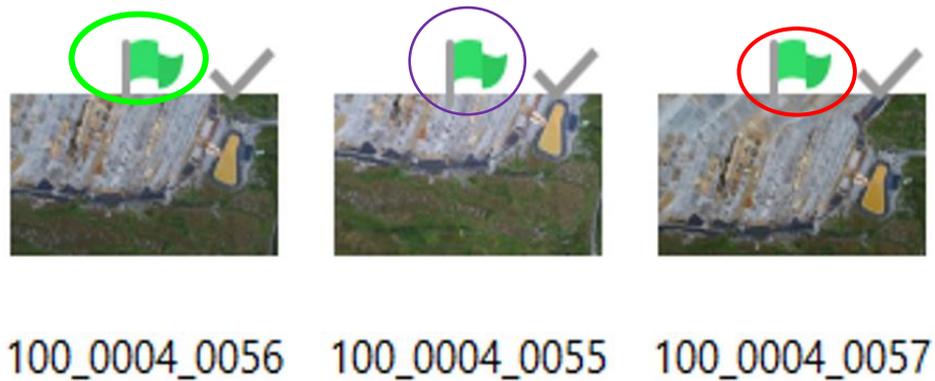


Figura 49 Está ubicado en la imagen con los PC.

Teniendo todos los puntos de control localizados nos dirigimos a la ventana de referencia, elegimos todas las “cameras” o cámaras y seleccionamos el botón “optimize cameras” u optimizar cálculo de cámaras. Luego de ello creamos mallas.

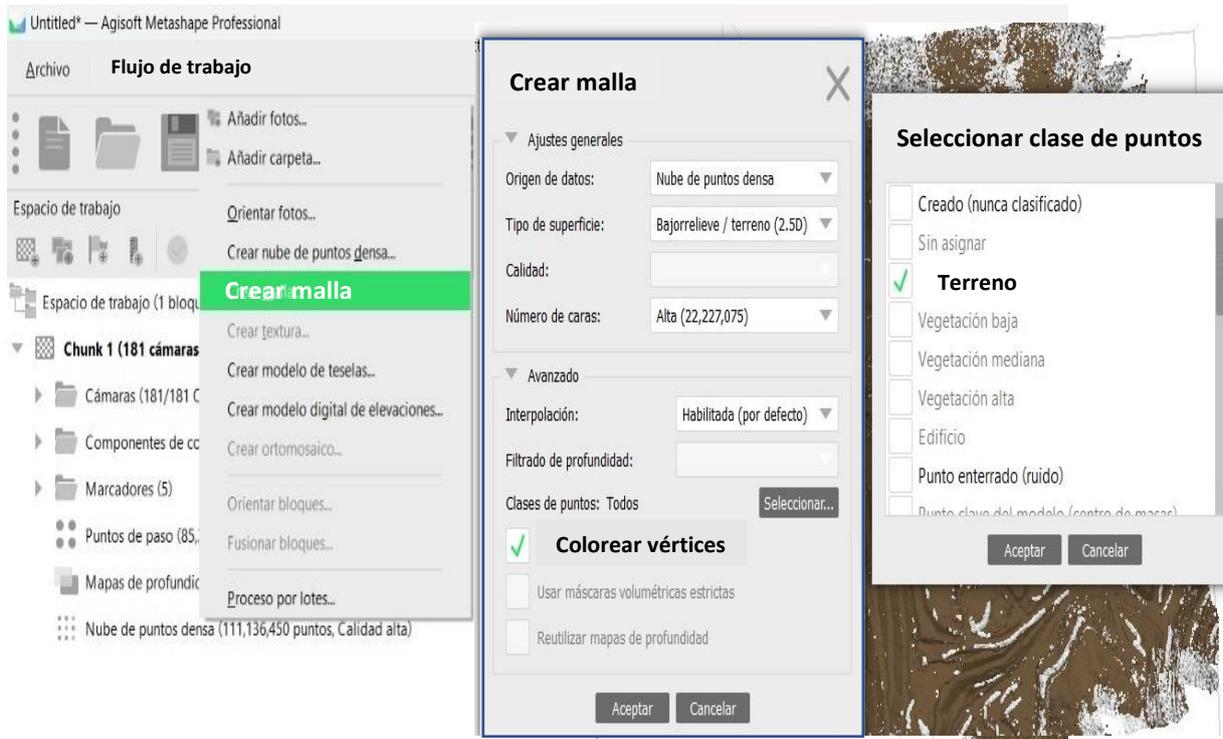


Figura 50 Creación de Malla.

- Textura: La apariencia del proyecto se crea a partir de la malla computada, luego seguimos con el flujo de trabajo en el que seleccionamos "construir textura". También podemos ajustar los parámetros, como la intensidad o la corrección del color de la textura, así como rellenar agujeros en el modelo.

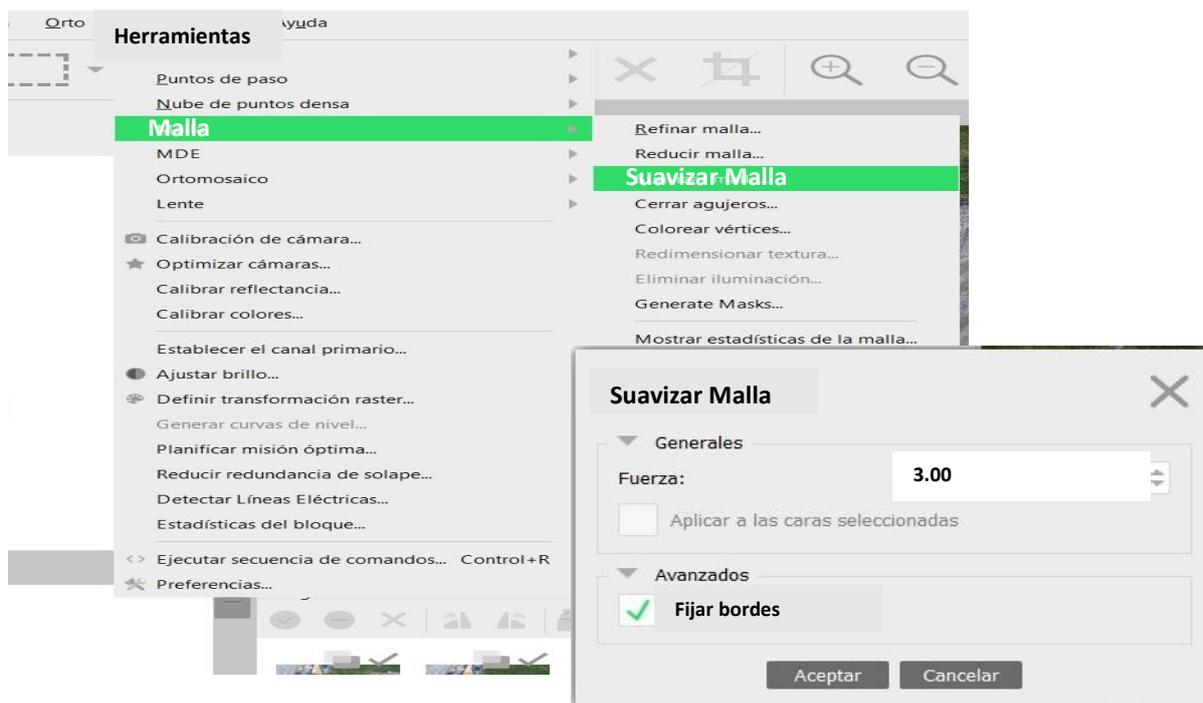


Figura 51 Textura.

- MDE: Para crear un MDE, es imprescindible seguir el flujo de trabajo, seleccionar la opción "Build DEM" y ajustar los parámetros correspondientes.

En esta parte nuestro proyecto ya tiene un tamaño de GSD o pixel con relación al terreno, en este caso cada pixel mide 0.133158 m en el terreno.

Tabla 17 Detalles y opciones del procesamiento del modelo digital de superficie y terreno.

Detalles y opciones del procesamiento del modelo digital de superficie y terreno	
DSM Resolución y Ortomosaico	1 x GSD (6.66[cm/pixel])
Filtros DSM	Suavizado de Superficie: Si, Tipo: Fragmentado
Ráster DSM	Generado: Si Generado: Si
Ortomosaico	Transparencia: Si Mosaicos de Google maps y Kml: Si
Ráster DTM	Generado: Si Fusionar Mosaicos: Si
Resolución del DTM (MDE)	Densidad de puntos: 56.4 puntos/m ² 2 x GSD (6.66[cm/pixel]): 13.3 cm/pix
Tiempo para la generación del DSM	03m:22s
Tiempo para la generación del DTM	20m:00s

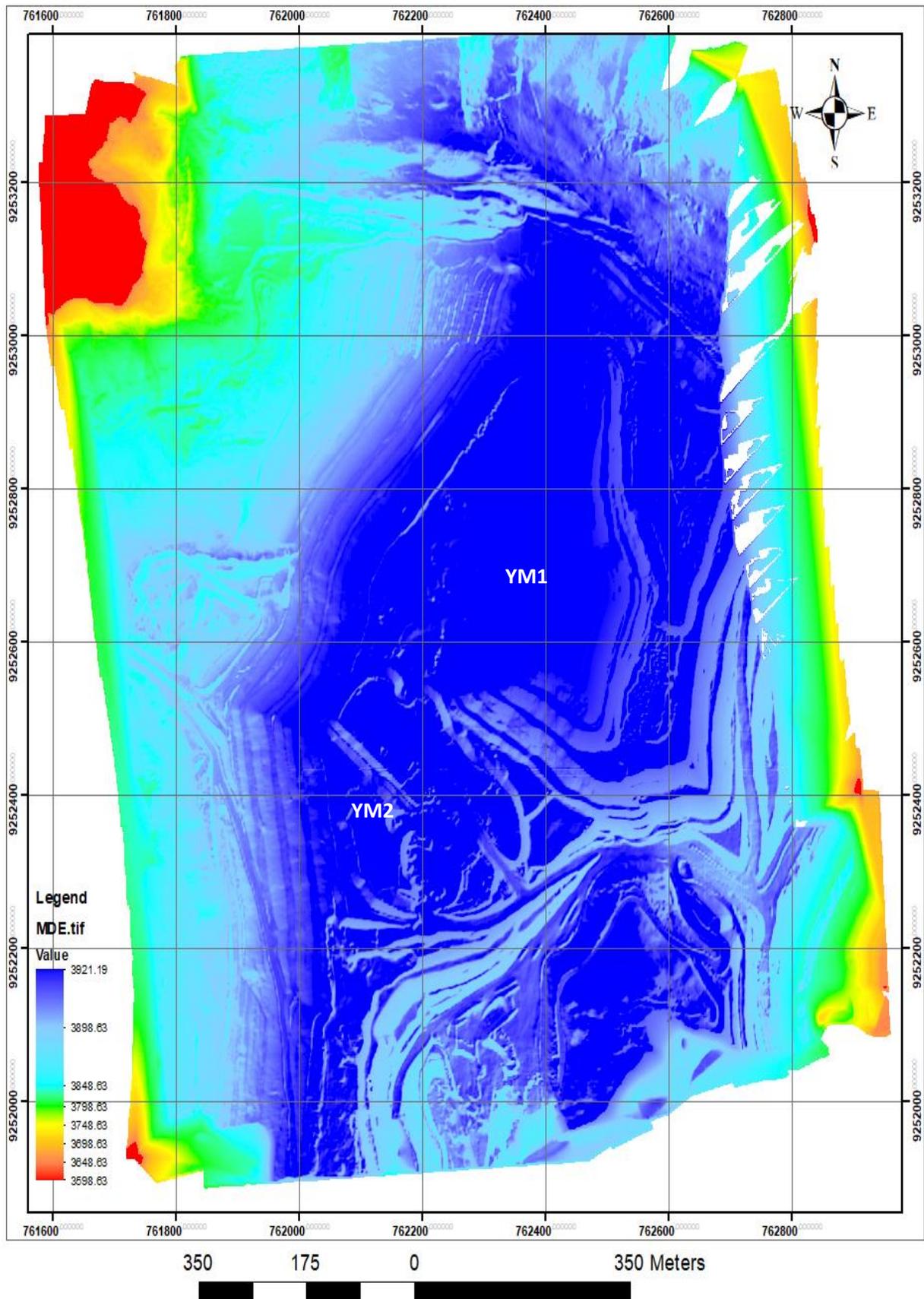


Figura 52 Modelo digital de Elevaciones (MDE).

- Curvas de Nivel con la Fotogrametría: Resultados de la generación de Curvas de nivel a partir del modelo digital de terreno en el proyecto.

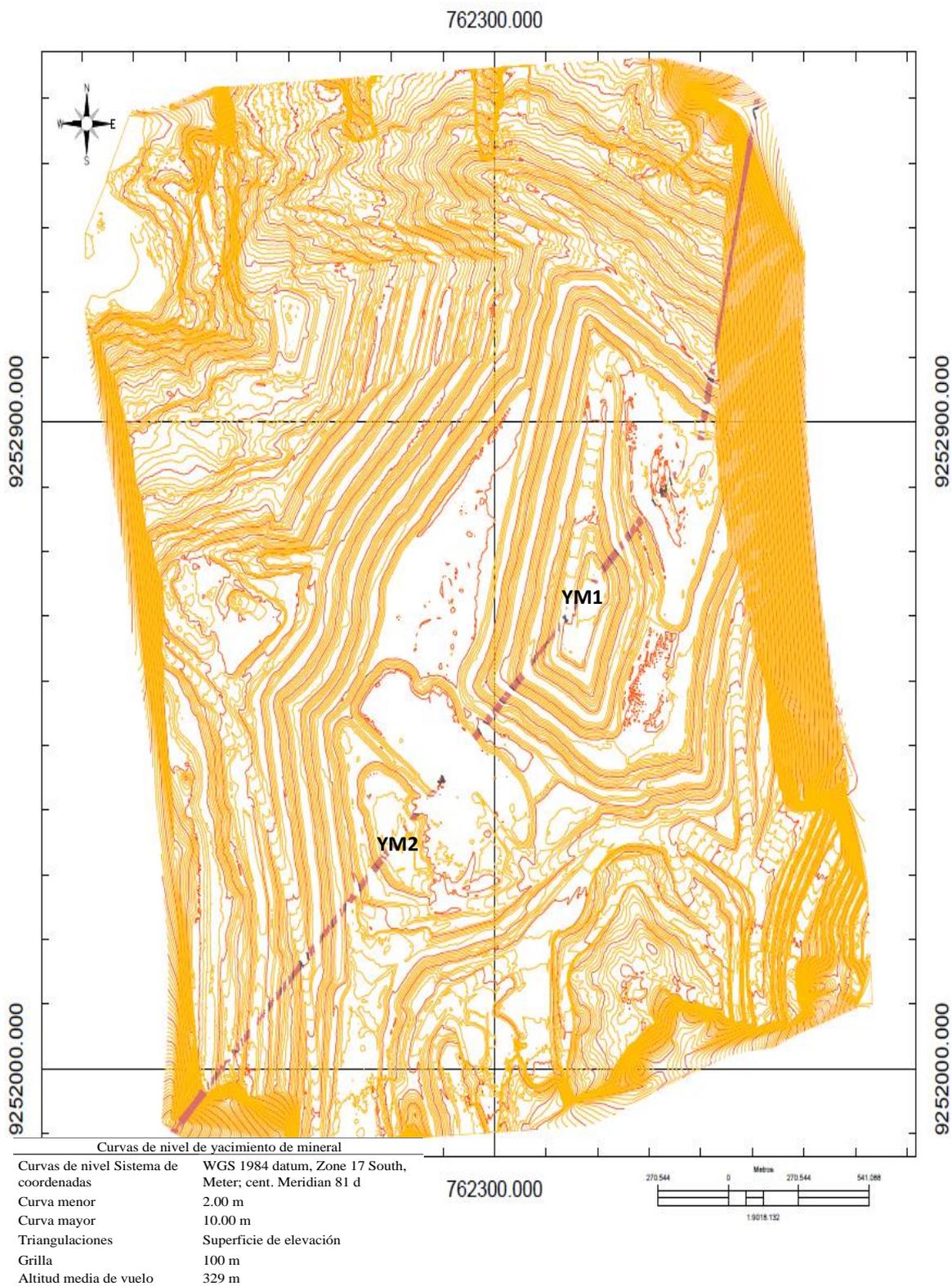


Figura 53 Curvas de Nivel con la Fotogrametría.

4.2.3 Análisis de precisión de levantamientos topográficos

Desviación de coordenadas entre Estación Total y GPS (RTK)

Tabla 18 Comparativo estación total – Gps (Diferencial)

COMPARATIVO ESTACION TOTAL – GPS (Diferencial)				
ID	CODIGO	$\Delta X(m)$	$\Delta Y (m)$	$\Delta Elev (m)$
1	18.000	0.000	0.000	0.000
2	19.000	0.000	0.000	0.000
3	20.000	0.002	-0.010	0.019
4	21.000	0.001	-0.004	-0.027
5	22.000	0.002	0.003	0.002

Mayor desviación en este: $X = 0.002m$

Mayor desviación en norte: $Y = - 0.010m$

Mayor desviación en altitud: $Elev = - 0.027m$

Desviación de coordenadas entre Estación Total y Dron (Fotogrametría)

Tabla 19 Comparativo estación total –Dron RTK (Fotogrametría).

Comparativo Estación total –Dron RTK (Fotogrametría)				
ID	CODIGO	$\Delta X(m)$	$\Delta Y (m)$	$\Delta Elev (m)$
1	18.000	-0.180	-0.107	-0.208
2	19.000	0.151	-0.001	0.256
3	20.000	0.062	-0.051	0.377
4	21.000	0.059	0.107	-0.158
5	22.000	-0.172	0.035	-0.301

Mayor desviación en este: $X = - 0.180m$

Mayor desviación en norte: $Y = - 0.107m$

Mayor desviación en altitud: $Elev = 0.377m$

Desviación de coordenadas entre GPS (Diferencial) y Dron (Fotogrametría)

Tabla 20 Comparativo GPS (Diferencial) –Dron RTK (Fotogrametría).

Comparativo GPS (Diferencial) –DRON RTK (Fotogrametría)				
ID	CODIGO	$\Delta X(m)$	$\Delta Y (m)$	$\Delta Elev (m)$
1	18.000	-0.180	-0.107	-0.208
2	19.000	0.151	-0.001	0.256
3	20.000	0.060	-0.041	0.358
4	21.000	0.058	0.111	-0.131
5	22.000	-0.174	0.032	-0.303

Mayor desviación en este: $X = - 0.180m$

Mayor desviación en norte: $Y = 0.111m$

Mayor desviación en altitud: $Elev = 0.358m$

4.3 Planimetría y altimetría

4.3.1 Planimetría

Yacimiento de mineral YM1

En este diseño determinamos la posición relativa de las proyecciones de los puntos de control del yacimiento de mineral YM1 sobre el plano horizontal.

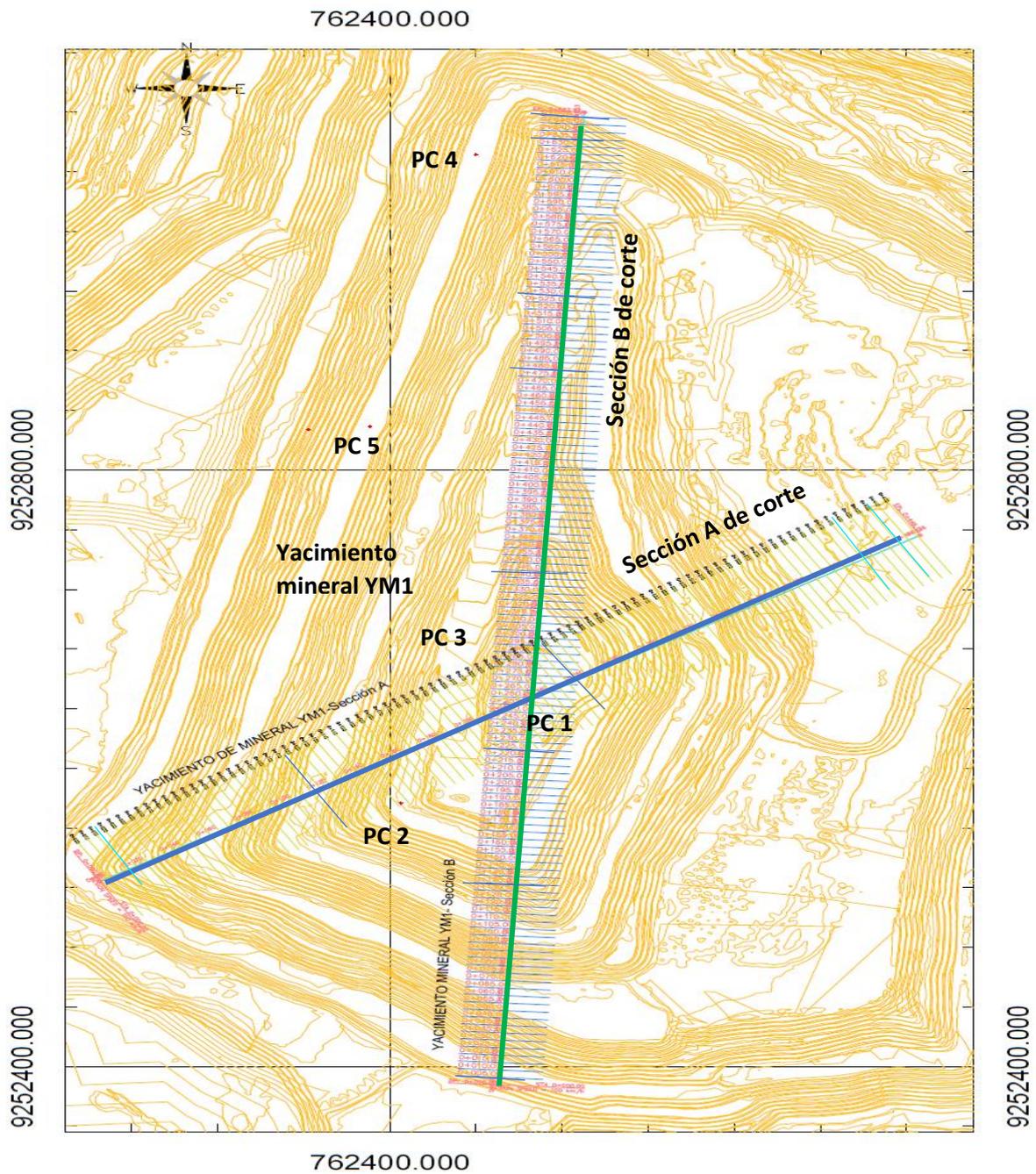


Figura 54 Posición relativa de las proyecciones de los puntos del yacimiento de mineral YM1.

Yacimiento de mineral YM2

En este diseño determinamos yacimiento de mineral YM2 la posición relativa de las proyecciones de los puntos de control fotogramétrico generado en base a los puntos de control de las proyecciones del yacimiento mineral YM1. En cuanto a los puntos más importantes tenemos los puntos de fotos de control fotogramétrico.

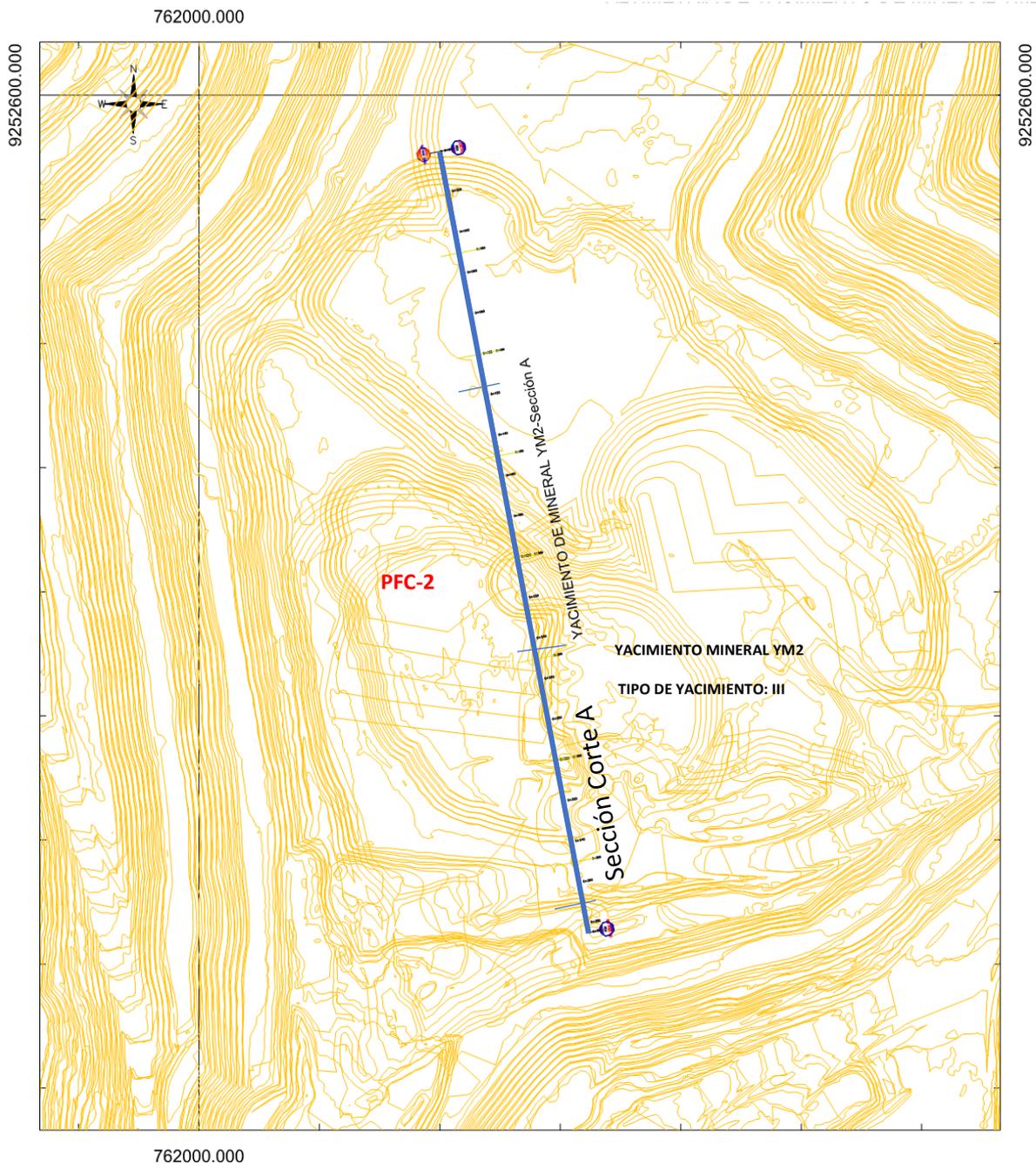


Figura 55 Posición relativa de las proyecciones de los puntos del yacimiento de mineral YM2

4.3.2 Altimetría

Al comparar los cortes realizados manualmente con los realizados con dron, se observa que los puntos manuales tienen gran llegada y pocas limitaciones, al abarcar toda la superficie.

A lo largo del proyecto, estos puntos acumulan errores en la medición de volúmenes que son menores que los obtenidos con un levantamiento tridimensional completo.

Para lograr el mejor balance entre costos y efectividad, se recomienda maximizar el rendimiento y precisión de las fotos aéreas y aumentar la cantidad de puntos de control en el suelo nosotros hemos usado 5 PC y 4 PCF, Siendo un total de 9 puntos de apoyo.

Altimetría del yacimiento mineral YM1

Curvas de nivel sección 2 m - GPS y AGISOFT: Teniendo en cuenta los datos finales de corte y relleno de 0 + 650, el cual nos da volumen total acumulado 29 322.92 m³.

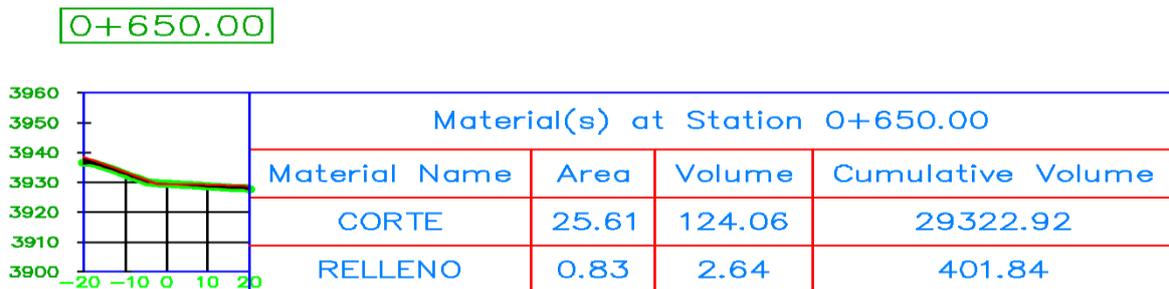


Figura 56 Curvas de nivel sección 2 m - GPS y AGISOFT.

Curvas de nivel sección 2 m GPS y PIX4D: Teniendo en cuenta los datos finales de corte y relleno de 0 + 650, el cual nos da volumen total acumulado 23 578.71 m³.

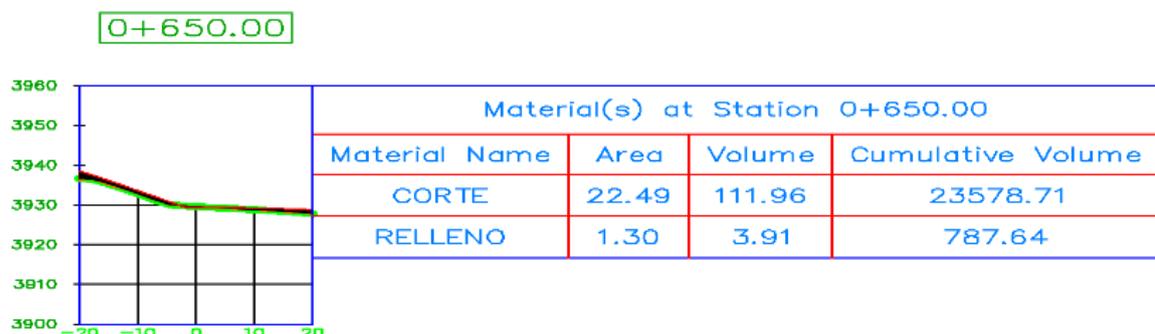


Figura 57 Curvas de nivel sección 2 m GPS y PIX4D.



Figura 58 Altimetría de Yacimiento mineral - GPS Diferencial y Agisoft -V 5m.

Altimetría del yacimiento mineral YM2

Curvas de nivel sección 2 m - GPS y Pix4D: Teniendo en cuenta los datos finales de corte y relleno de 0 +350, el cual nos da volumen total acumulado 28 806.25 m³.

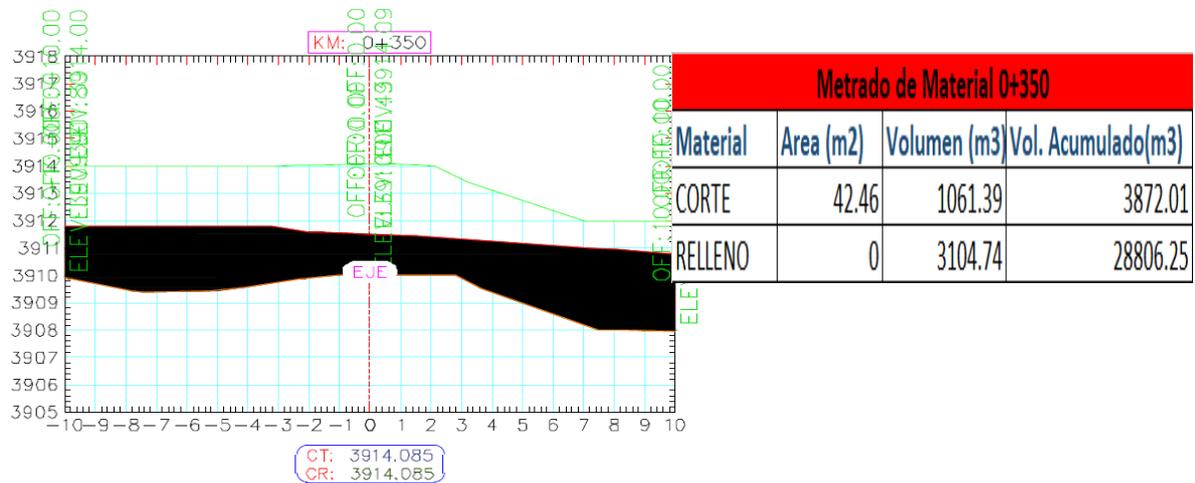


Figura 59 Curvas de nivel sección 2 m GPS y PIX4D.

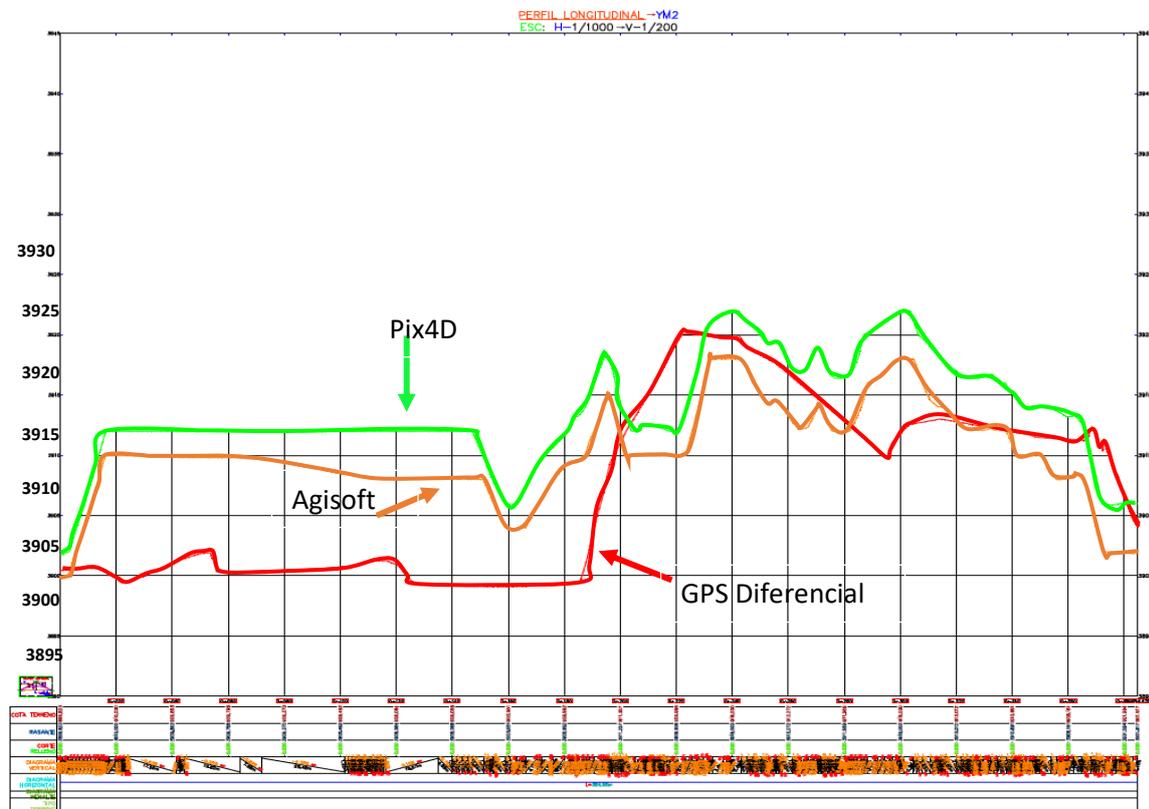


Figura 60 Altimetría de Yacimiento Mineral YM2 GPS Diferencial y Pix4D -V 5m

4.4 Ubicación de yacimientos minerales

Para una mejor ubicación de yacimientos minerales a partir de datos Landsat-8 se utilizó las curvas de nivel para georreferenciar con mayor precisión la ubicación de YM1, YM2, YM3, YM4 y YM5.

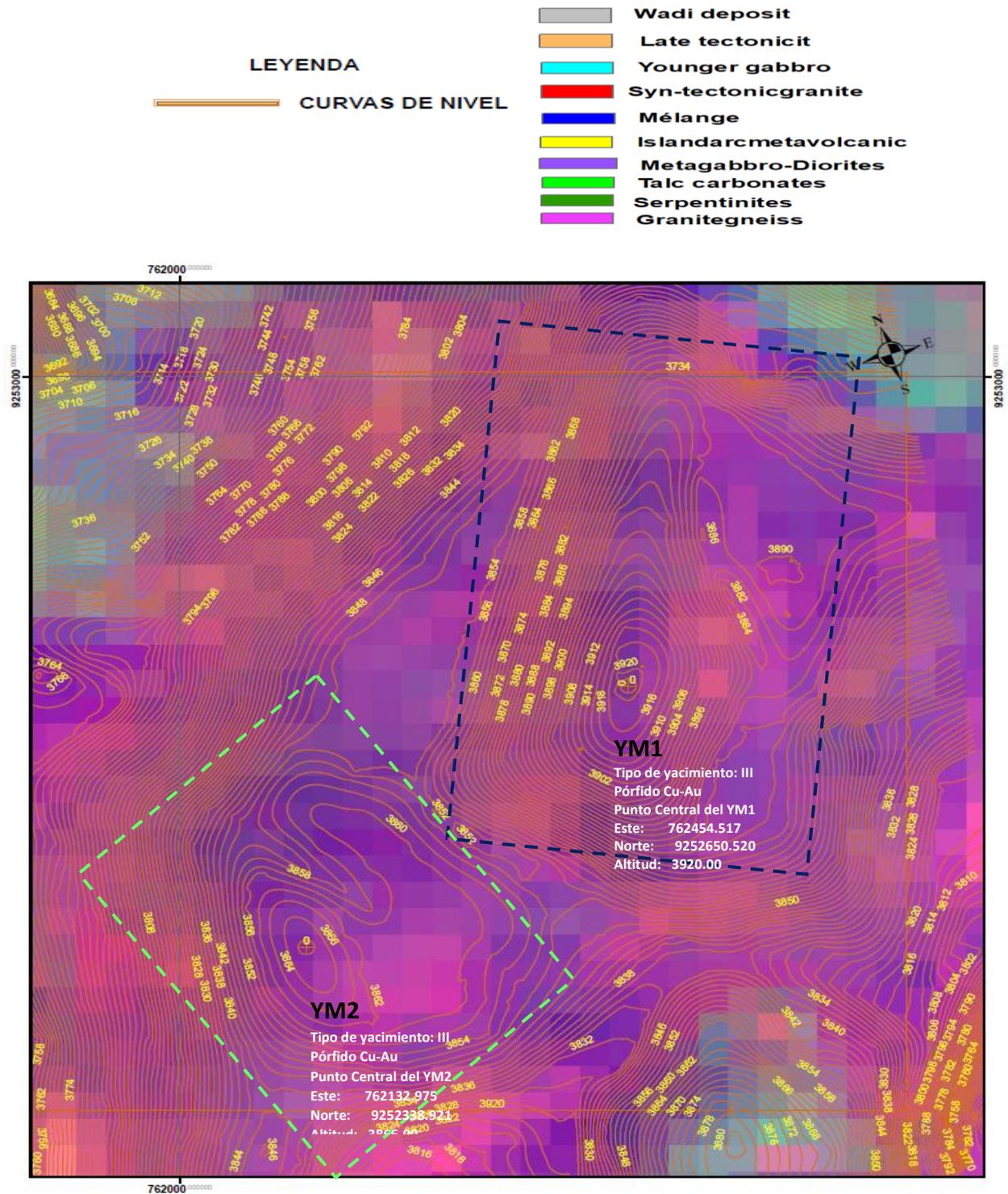


Figura 61 Ubicación de YM1 y YM2.

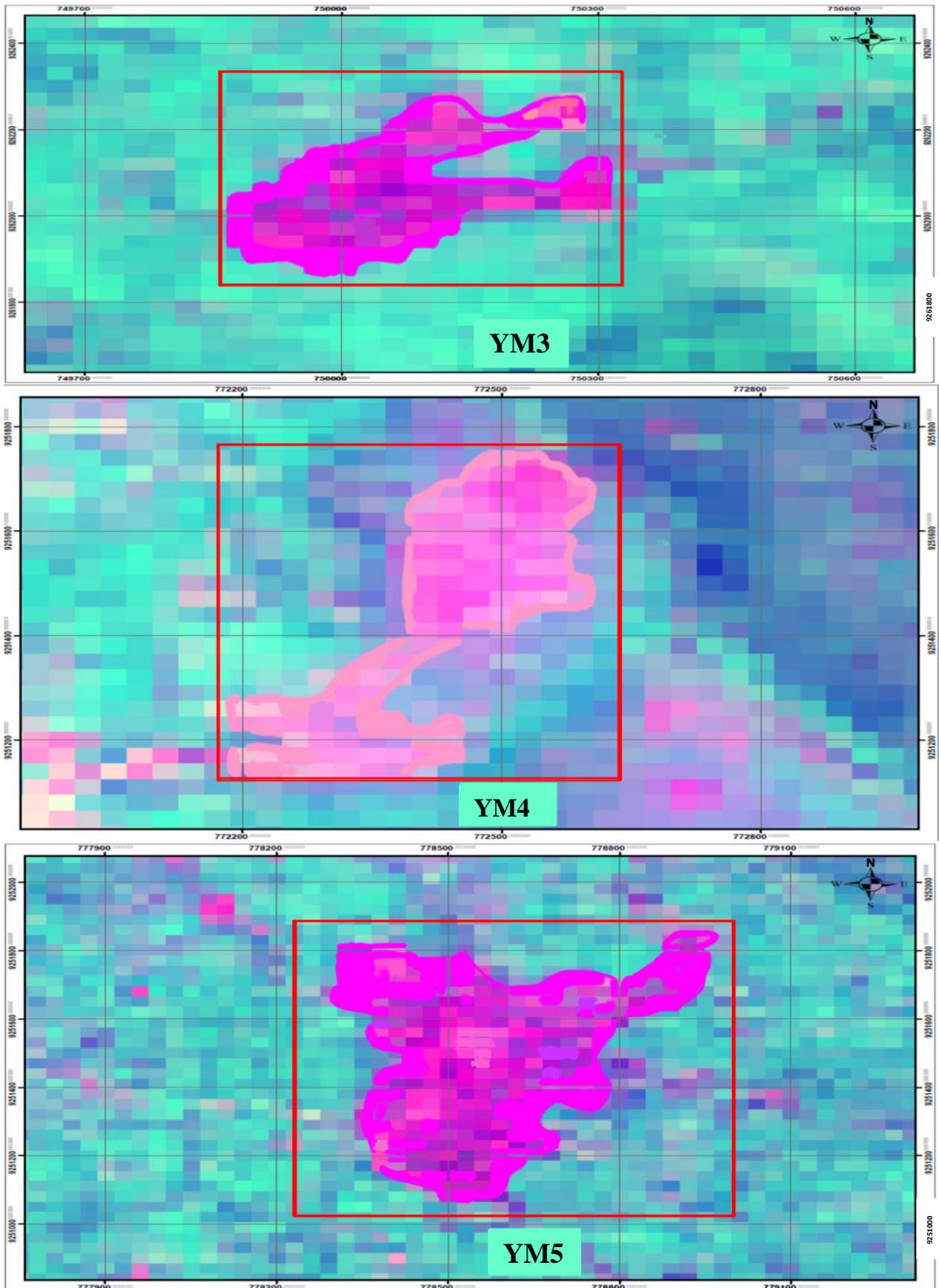


Figura 62 Ubicación de YM3, YM4 y YM5.

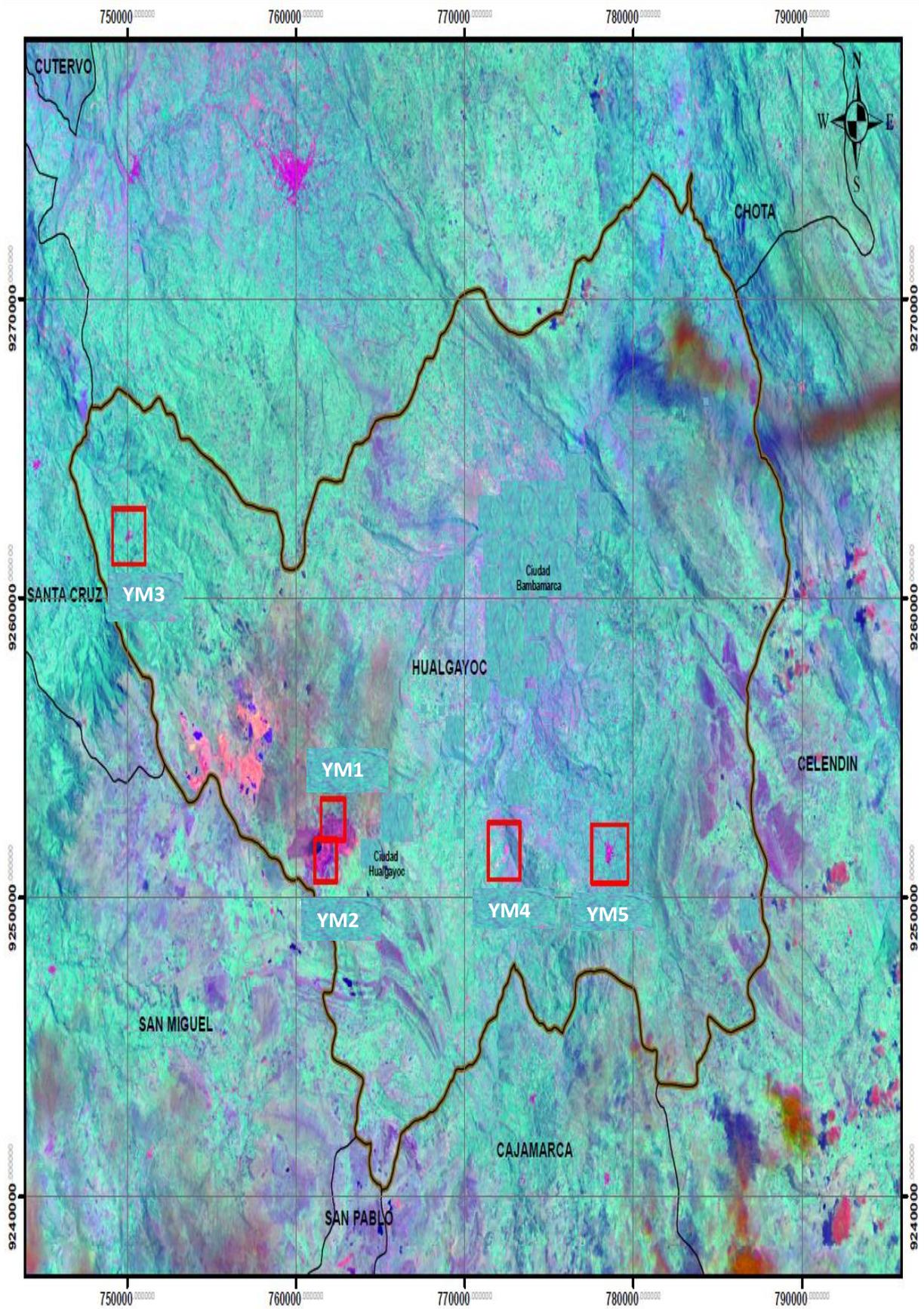


Figura 63 Ubicación de los Yacimientos Minerales en la zona minera de Hualgayoc.

Tabla 21 Ubicación de Yacimientos Minerales.

Yacimiento	YM1	YM2	YM3	YM4	YM5
Tipo de yacimiento	III	III	III	III	III
Característica	Pórfido Cu-Au				
Coordenada Central					
Este	762454.517	762132.975	750152.138	772535.154	778547.183
Norte	9252650.520	9252338.921	9262574.265	9251895.158	9251875.151
Altitud	3920	3866	3215	3110	3252
Tipo de roca - Datos Landsat-8					
Granitoides	Rocas ígneas intrusivas de composición félsica a intermedia, que pueden ser fuente de fluidos magmáticos ricos en metales.	Rocas ígneas intrusivas de composición félsica a intermedia, que pueden ser fuente de fluidos magmáticos ricos en metales.	Rocas ígneas intrusivas de composición félsica a intermedia, que pueden ser fuente de fluidos magmáticos ricos en metales.	Rocas ígneas intrusivas de composición félsica a intermedia, que pueden ser fuente de fluidos magmáticos ricos en metales.	Rocas ígneas intrusivas de composición félsica a intermedia, que pueden ser fuente de fluidos magmáticos ricos en metales.
Dioritas	Rocas ígneas intrusivas de composición intermedia, que pueden estar asociadas con mineralización de cobre y oro.	Rocas ígneas intrusivas de composición intermedia, que pueden estar asociadas con mineralización de cobre y oro.	Rocas ígneas intrusivas de composición intermedia, que pueden estar asociadas con mineralización de cobre y oro.	Rocas ígneas intrusivas de composición intermedia, que pueden estar asociadas con mineralización de cobre y oro.	Rocas ígneas intrusivas de composición intermedia, que pueden estar asociadas con mineralización de cobre y oro.

4.5 Comparación de la presión del levantamiento y el nivel de detalle del dron de las mediciones de área, volumen y tonelajes en Yacimientos Minerales

4.5.1 Comparación del el área, volúmenes y tonelajes en los programas del Yacimiento Mineral YM1

A través del programa Minesight (MS3D) podemos apreciar el análisis de las diferencias de superficie de los métodos de levantamiento topográfico teniendo como base a los métodos de la estación total de color marrón y el GPS Diferencial de color rojo para los métodos prácticos como el verde que se simulo en Pix4D y el anaranjado con Agisoft.

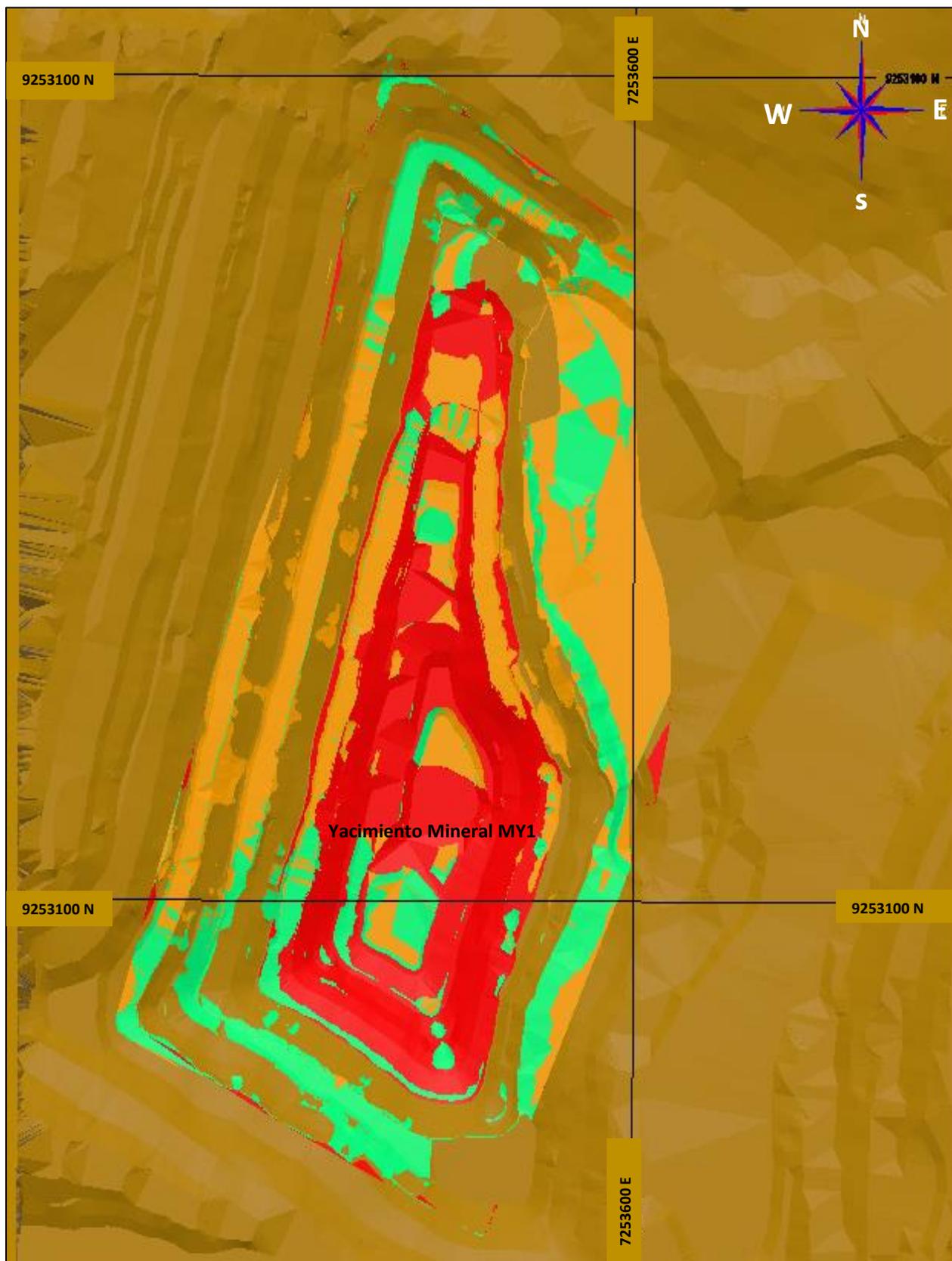


Figura 64 Comparación de superficies de los programas Agisoft Metashape y Pix4D mapper del dron RTK con el GPS diferencial.

4.5.2 Área, volumen y tonelaje del GPS diferencial -YM1

Para lograr obtener le área y volumen del Yacimiento de Mineral YM1 utilicemos las curvas de nivel y el solidos el cual el cálculo nos da con el software MS3D.

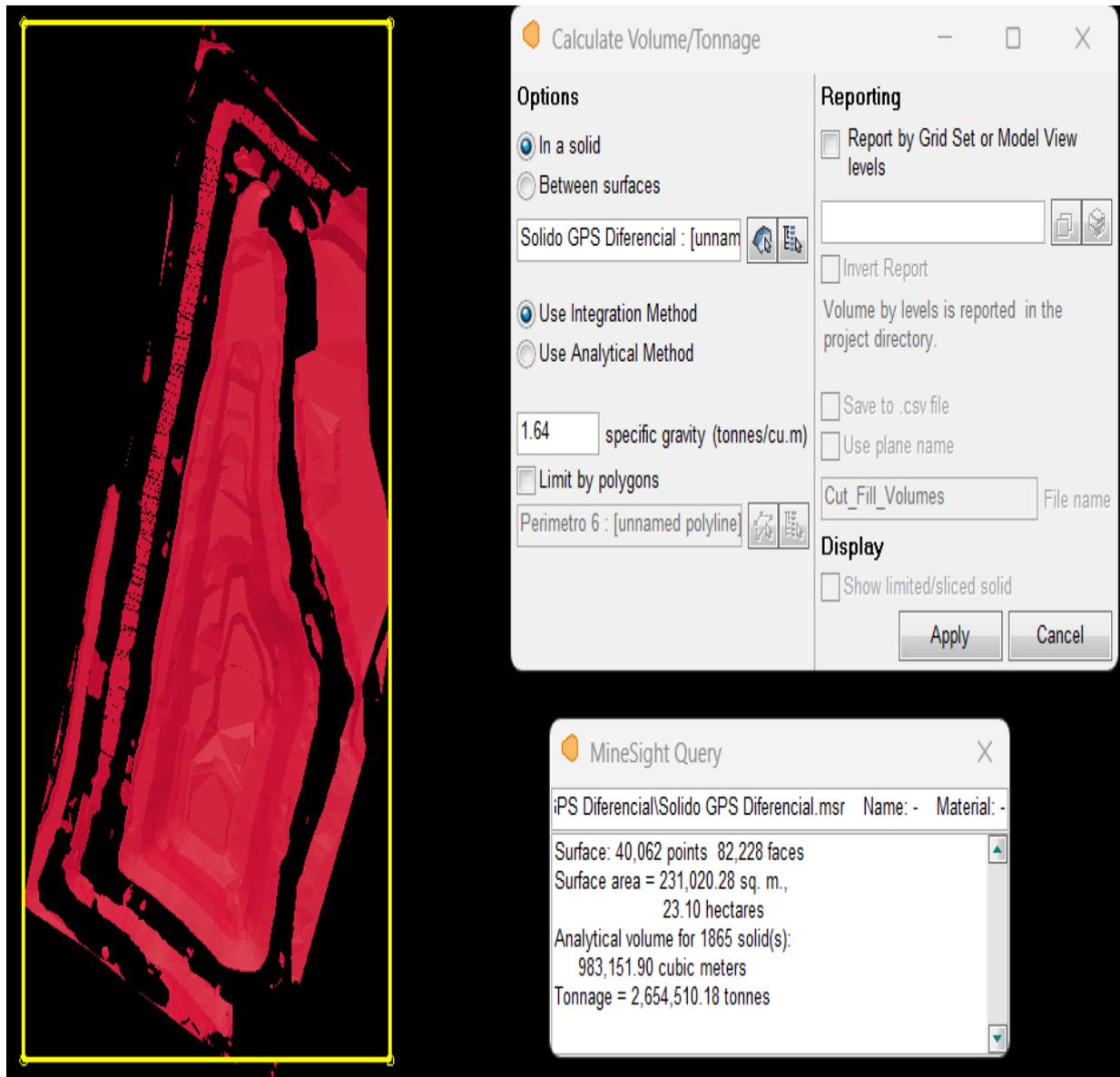


Figura 65 Área y volumen GPS Diferencial.

Tabla 22 Área y volumen GPS Diferencial.

Área y volumen GPS Diferencial	
Área	231 020.28 m ² (sq.m) 23.1 ha
Volumen	983 151.9 m ³
Tonelaje	2 654 510.18 tn

4.5.3 Área, volumen y tonelaje del Agisoft Metashape-YM1

Para lograr obtener le área y volumen del Yacimiento de Mineral YM1 utilicemos las curvas de nivel y el solidos el cual el cálculo nos da con el software MS3D.

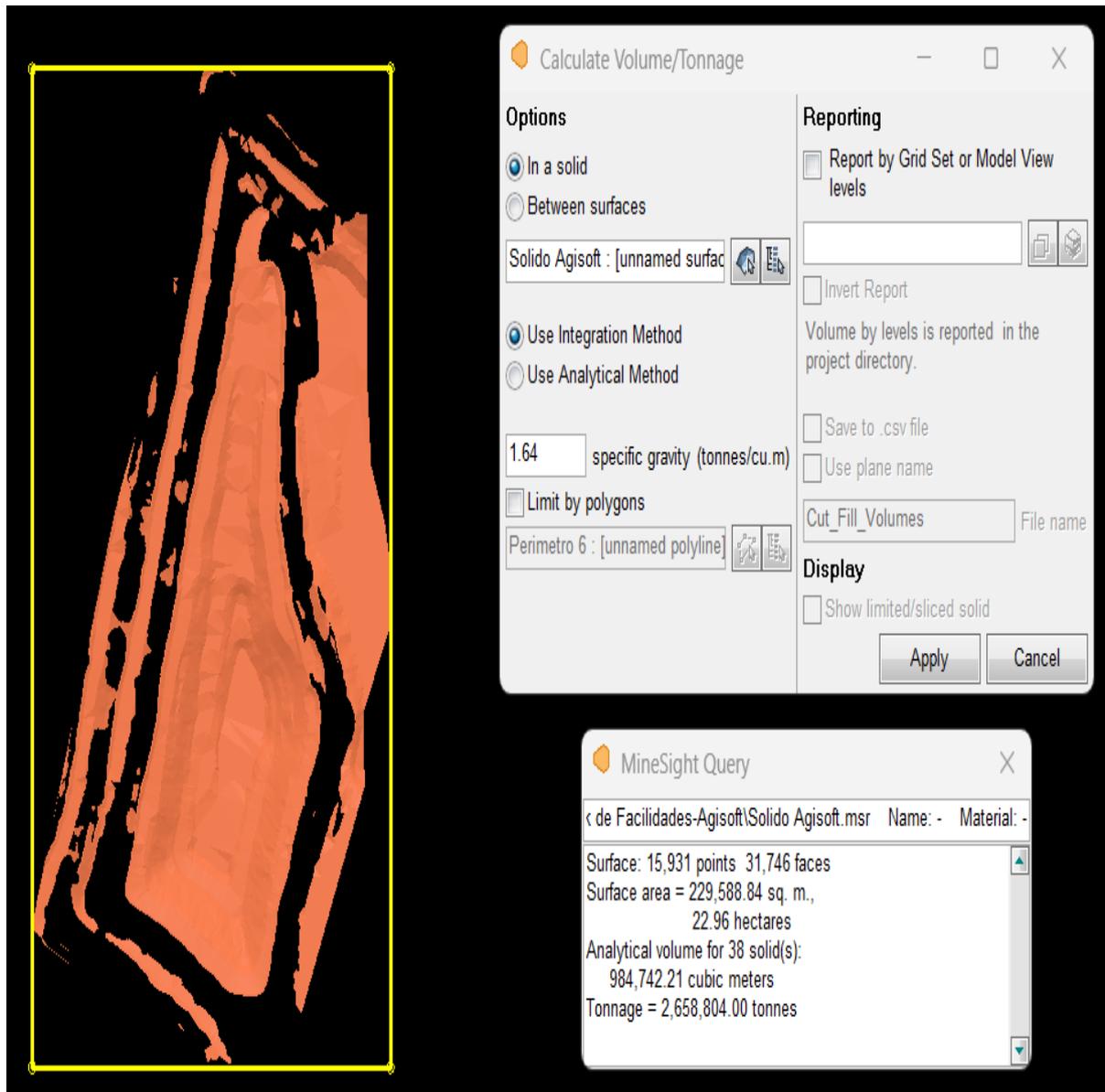


Figura 66 Área y volumen Agisoft Metashape.

Tabla 23 Área y volumen Agisoft Metashape

Área y volumen Agisoft Metashape	
Área	229588.84 m ² (sq.m)
	22.96 ha
Volumen	984 742.21 m ³
Tonelaje	2658804 tn

4.5.4 Área, volumen y tonelaje del Pix4d Mapper-YM1

Para lograr obtener le área y volumen del Yacimiento de Mineral YM1 utilicemos las curvas de nivel y el solidos el cual el cálculo nos da con el software MS3D.

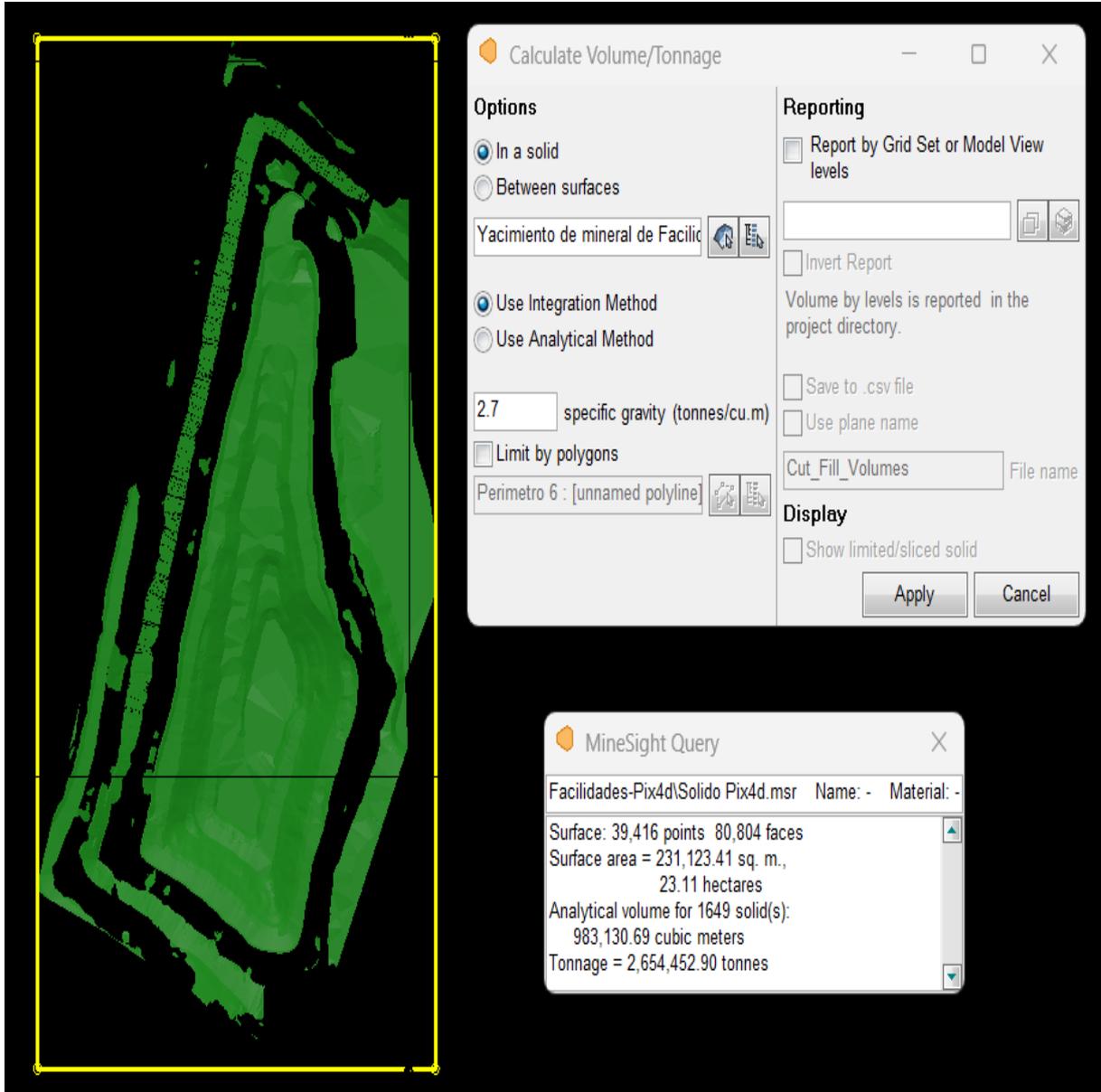


Figura 67 Área y volumen Pix4d Mapper.

Tabla 24 Área y volumen Pix4d Mapper de YM1.

Área y volumen Pix4d Mapper	
Área	231123.41 m ² (sq.m) 23.11 ha
Volumen	983 130.69 m ³
Tonelaje	2654452.9 tn

4.5.5 Análisis de Área, volumen y tonelaje-YM1

Para lograr obtener le área y volumen del Yacimiento Mineral YM1 utilicemos las curvas de nivel y el solidos el cual el cálculo lo realizamos con el software Minesight (MS3D).

Análisis de Área: En cuanto al análisis del área tenemos como medida real a los datos que se obtuvieron con GPS diferencial, con ello podremos apreciar qué con el software Agisoft el área es menor y con el software Pix4d el área es mayor a lo referencial.

Tabla 25 Análisis de Área de YM1.

Análisis Área		
	m ²	ha
GPS Diferencial	231020.28	23.10
Agisoft	229588.84	22.96
Pix4d	231123.41	23.11

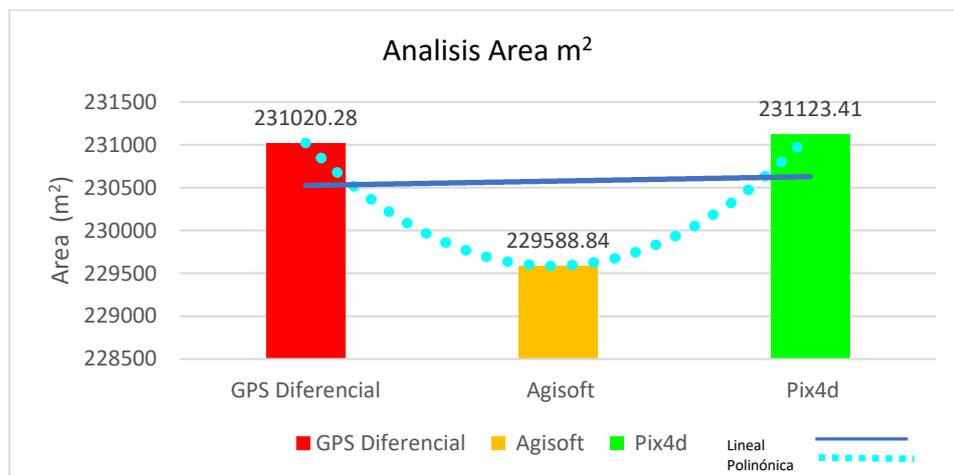


Figura 68 Análisis Área m² de YM1

Análisis de volúmenes: En cuanto al análisis del volumen tenemos como medida real a los datos que se obtuvieron con GPS diferencial, con ello podremos apreciar qué con el software Agisoft el volumen es mayor y con el software Pix4d el volumen es menor a lo referencial.

Tabla 26 Análisis Volumen de YM1.

Análisis Volumen	
	m ³
GPS Diferencial	983151.9
Agisoft	984742.21
Pix4d	983130.69

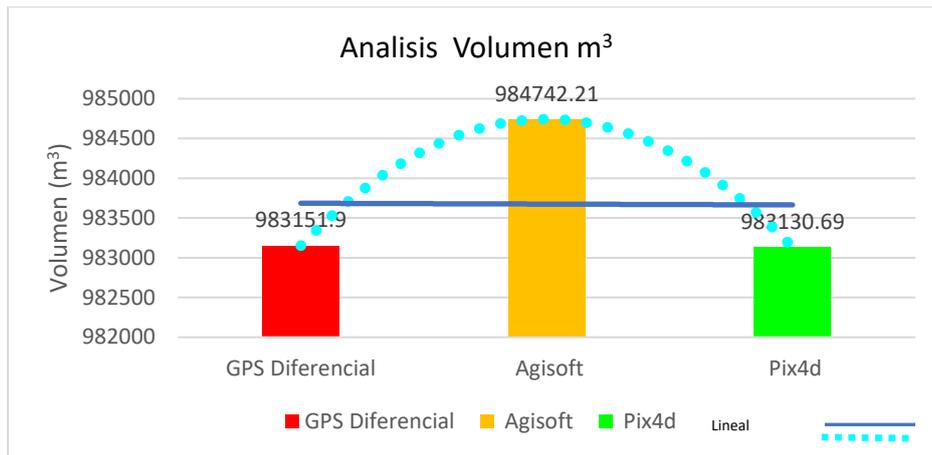


Figura 69 Análisis Volumen m³ de YM1.

Análisis de tonelaje: En cuanto al análisis del tonelaje tenemos como medida real a los datos que se obtuvieron con GPS diferencial, con ello podremos apreciar qué con el software Agisoft el tonelaje es mayor y con el software Pix4d el tonelaje es menor a lo referencial.

Tabla 27 Análisis Tonelaje de YM1.

Análisis Tonelaje	
tn	
GPS Diferencial	2654510.18
Agisoft	2658804
Pix4d	2654452.9

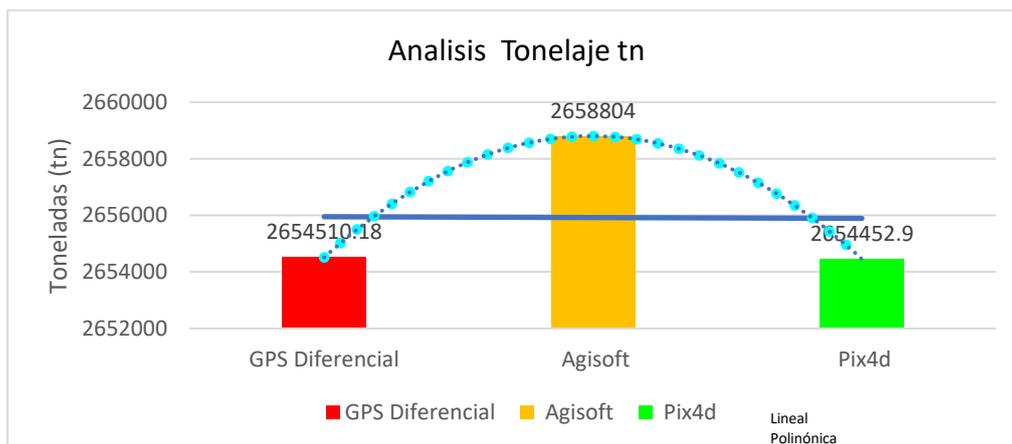


Figura 70 Grafica del Análisis Tonelaje tn.

Análisis de tendencias: En cuanto al análisis de las tendencias tenemos como medida real a los datos que se obtuvieron con GPS diferencial, con ello podremos apreciar qué con el software

Agisoft el área, volumen y tonelaje tiende a ser menor a lo referencial con el software Pix4d el área, volumen y tonelaje tiende a ser igual y lineal.

Tabla 28 Análisis de tendencias del YM1.

	Análisis de tendencias			
	Área		Volumen	Tonelaje
	m ²	ha	m ³	tn
GPS D- Agisoft (Dron)	1431.44	0.14	-1590.31	-4293.82
GPS D- Pix4d (Dron)	-103.13	-0.01	21.21	57.28

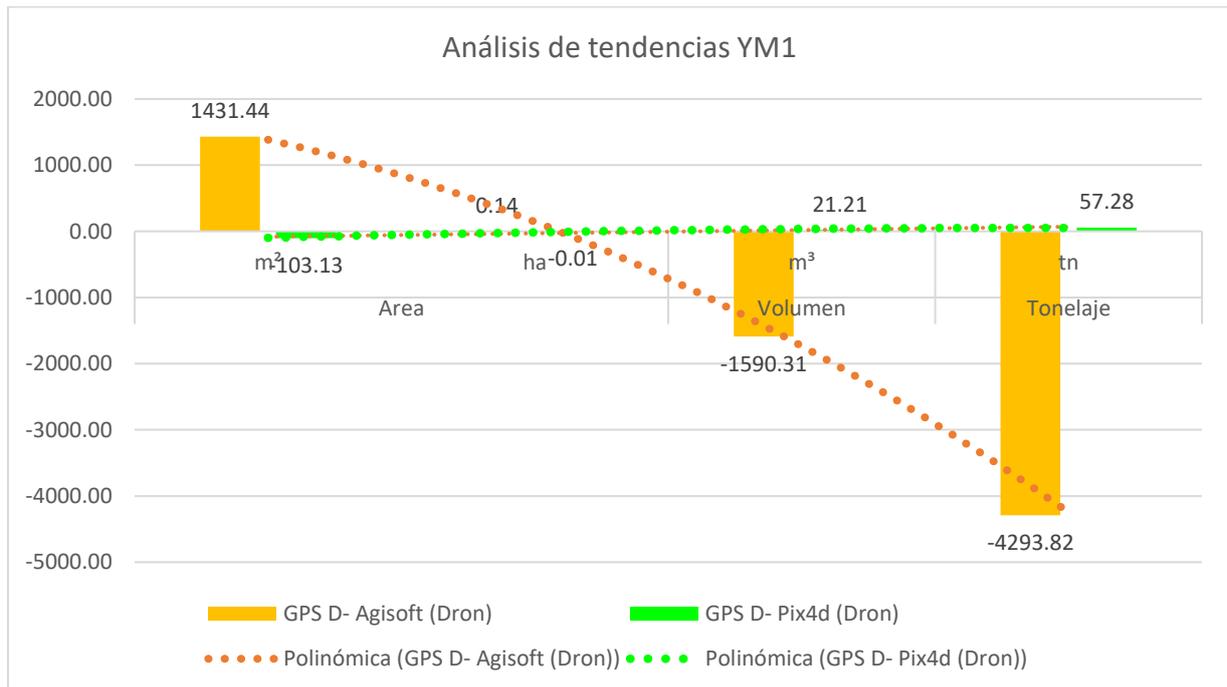


Figura 71 Grafica del Análisis de tendencias del YM1.

Análisis de Error Absoluto: Tenemos las tendencias como medida real a los datos que se obtuvieron con GPS diferencial y a la medida practica de los softwares, con el software Agisoft el error absoluto en el área, volumen y tonelaje son mayores a lo referencial en cuanto con el software Pix4d el área, volumen y tonelaje tiende a ser un error absoluto menor.

Tabla 29 Error Absoluto de YM1.

Error Absoluto	Area		Volumen	Tonelaje
	m ²	ha	m ³	tn
GPS D- Agisoft (Dron)	1431.44	0.14	1590.31	4293.82
GPS D- Pix4d (Dron)	103.13	0.01	21.21	57.28

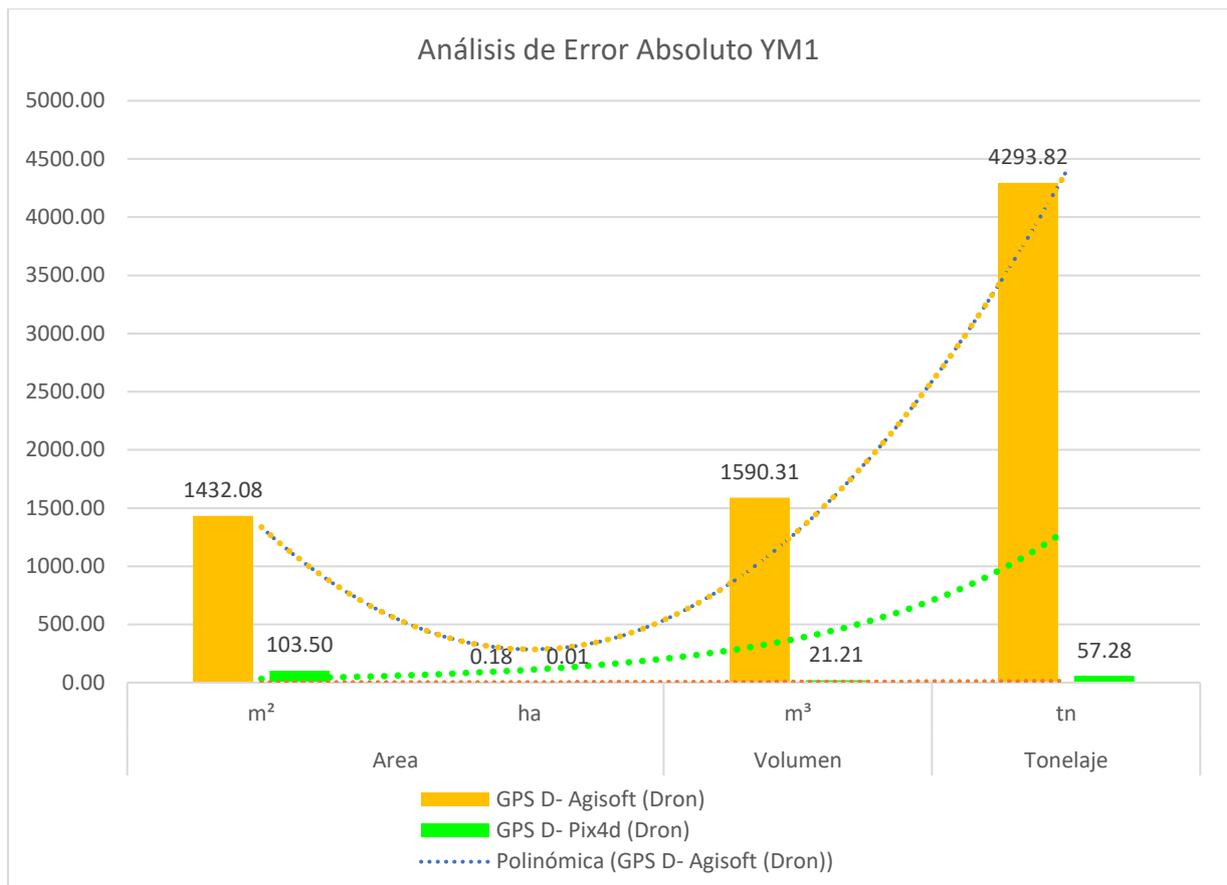


Figura 72 Grafica del Análisis de Error Absoluto YM1.

Análisis de Error Relativo: Tenemos como medida real a los datos que se obtuvieron con GPS diferencial y a la medida practica de los softwares, con el software Agisoft el error relativo porcentual en el área es 0.6%, en el volumen 0.2% y en el tonelaje es 0.2%, el cual tenemos que el error es mínimo a lo referencial, con el software Pix4d el área tiene un 0.0%, el volumen tiene 0.0% y el tonelaje un 0.0% el cual apreciamos que no tenemos error relativo porcentual con este software.

Tabla 30 Error Relativo de YM1.

Error Relativo	Área		Volumen	Tonelaje
GPS D- Agisoft (Dron)	0.006	0.006	0.002	0.002
GPS D- Pix4d (Dron)	0.000	0.000	0.000	0.000
Error Relativo (%)	Área (%)		Volumen (%)	Tonelaje (%)
GPS D- Agisoft (Dron)	0.6%	0.6%	0.2%	0.2%
GPS D- Pix4d (Dron)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

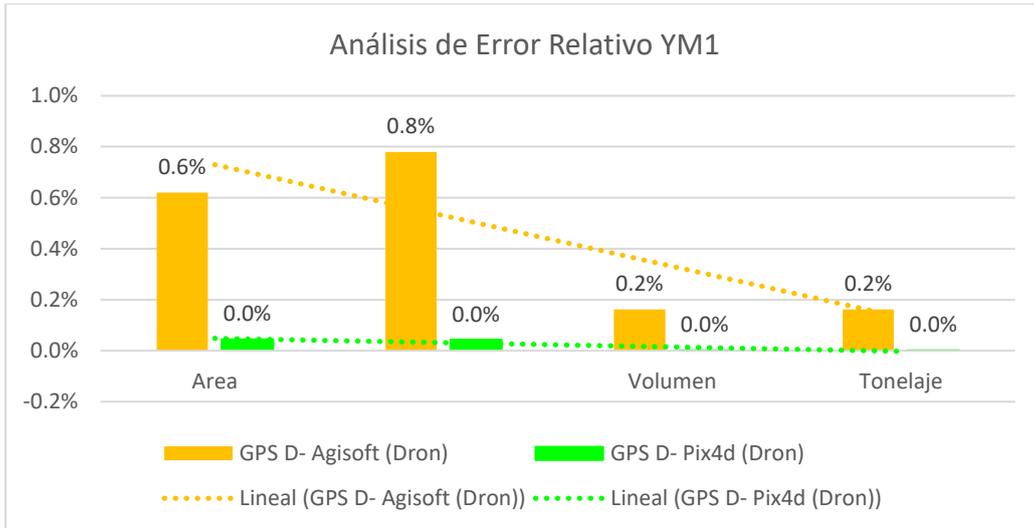


Figura 73 Grafica del Análisis de Error Relativo de YM1.

Análisis de Exactitud: Tenemos como medida real a los datos que se obtuvieron con GPS diferencial y a la medida practica de los softwares, con el software Agisoft la exactitud en el área es 99.4%, en el volumen 99.8% y en el tonelaje es 99.8%, con el software Pix4d tenemos una exactitud en el área de un 100.0%, el volumen tiene 100.0% y el tonelaje un 100.0%.

Tabla 31 Análisis de Exactitud del YM1.

Exactitud	Área	Volumen	Tonelaje
GPS D- Agisoft (Dron)	99.4%	99.8%	99.8%
GPS D- Pix4d (Dron)	100.0%	100.0%	100.0%

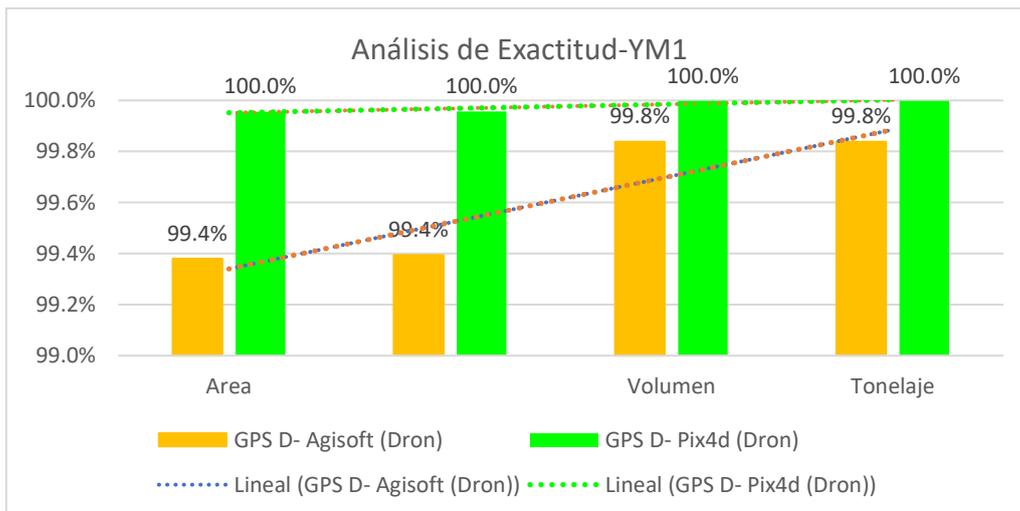


Figura 74 Grafica del Análisis de Exactitud del YM1.

4.5.6 Comparación del el área, volúmenes y tonelajes en los programas del Yacimiento Mineral YM2

A través del programa Minesight (MS3D) podemos apreciar el análisis de las diferencias de superficie de los métodos de levantamiento topográfico teniendo como base a los métodos de la estación total que es de color marrón y el GPS Diferencial de color rojo a los métodos prácticos en el Pix4D y Agisoft.

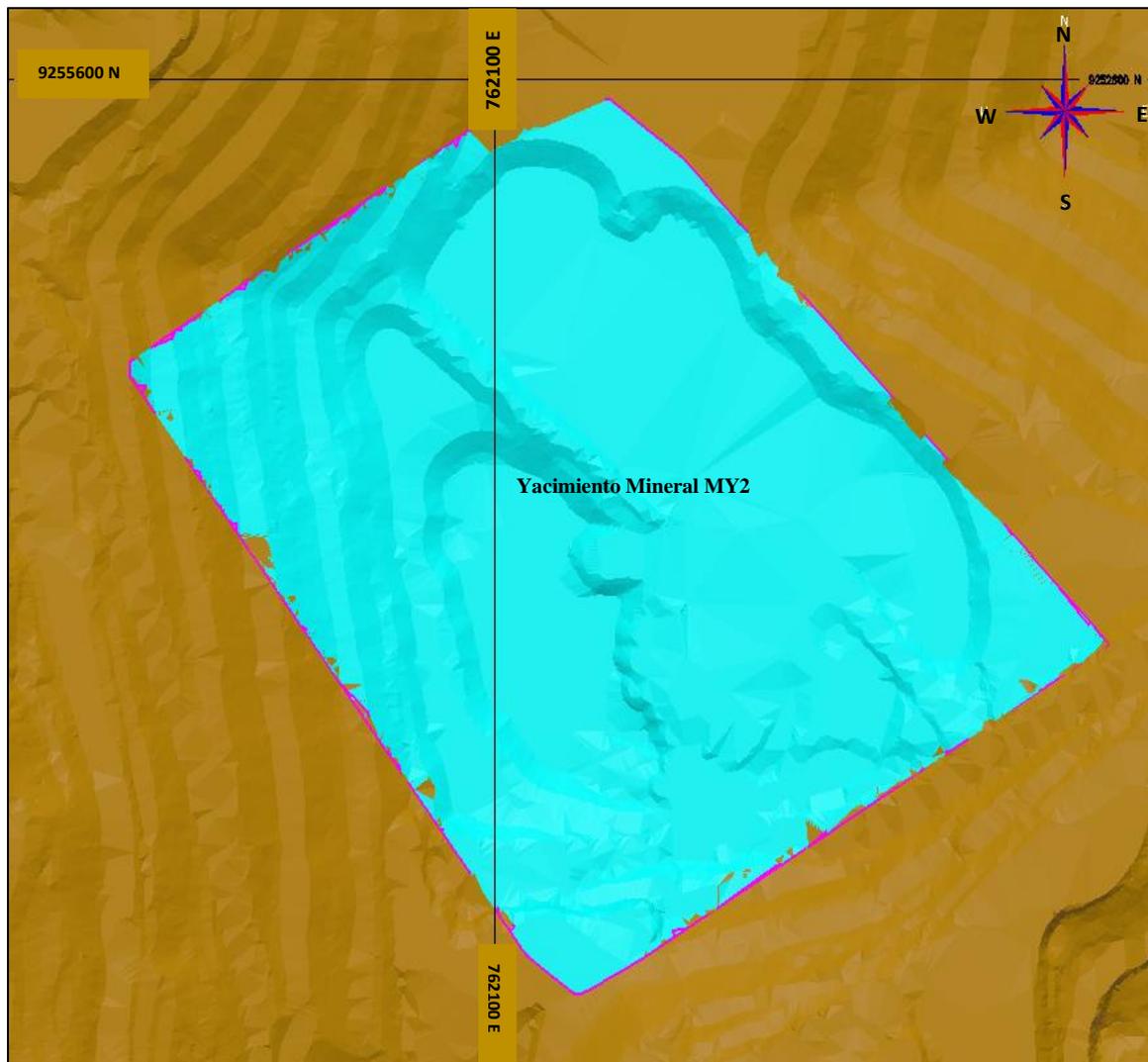


Figura 75 Yacimiento Mineral MY2

4.5.7 Área, volumen y tonelaje del GPS diferencial- YM2

Para lograr obtener le área y volumen del Yacimiento de Mineral YM2 utilizemos las curvas de nivel y el solidos el cual el cálculo nos da con el software MS3D.

Tabla 32 Área, volumen y tonelaje Pix4d Mapper de YM2

Yacimiento mineral YM ²		
Área	137685.44	m ² (sq.m)
	13.77	ha
Volumen	715964.29	m ³
Tonelaje	1933103.58	tn

Análisis de Exactitud: como medida real a los datos que se obtuvieron con GPS diferencial y a la medida practica de los softwares, con ello podremos apreciar qué con el software Agisoft la exactitud en el área es 99.4%, en el volumen 99.8% y en el tonelaje es 99.8%, en cuanto con el software Pix4d tenemos una exactitud en el área de un 100.0%, el volumen tiene 100.0% y el tonelaje un 100.0%.

Tabla 33 Análisis de Exactitud del YM2.

Exactitud	Area	Volumen	Tonelaje
GPS D- Agisoft (Dron)	99.4%	99.2%	99.8%
GPS D- Pix4d (Dron)	100.0%	100.0%	100.0%

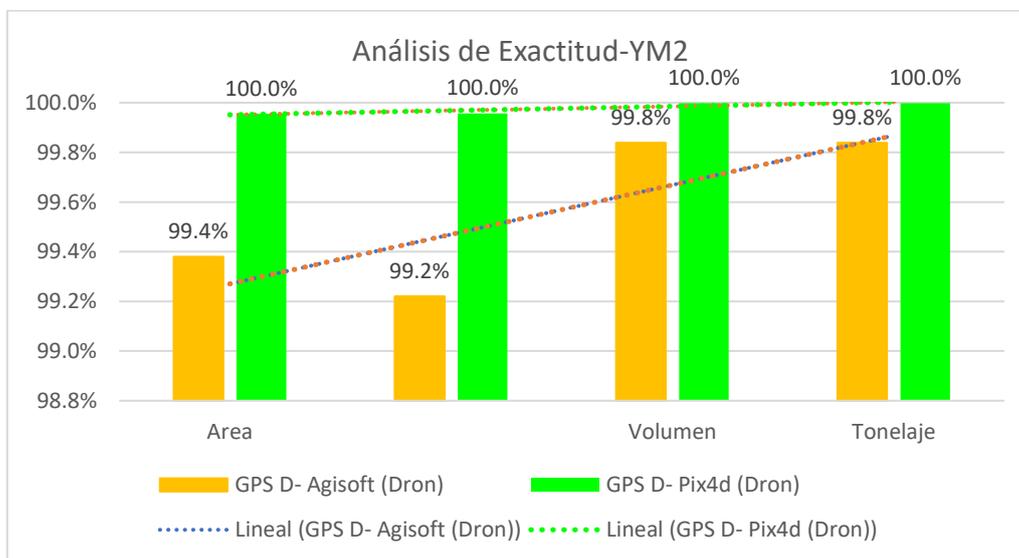


Figura 76 Grafica del Análisis de Exactitud del YM2.

Con el mismo método de presión empleado al 100% de Dron-Pix4D de YM1 y YM2 de cálculo de Áreas, volúmenes y tonelajes obtenemos de los yacimientos YM3, YM4 y YM5.

4.5.8 Resumen de las Áreas, volúmenes y tonelajes de los Yacimientos Minerales

Áreas, volúmenes y tonelajes de los cinco (5) Yacimientos Minerales obtenido en la zona minera de Hualgayoc.

Tabla 34 Resumen de las Áreas, volúmenes y tonelajes de los Yacimientos Minerales

Yacimiento	YM1	YM2	YM3	YM4	YM5	Total (YMT)
Tipo de yacimiento	III	III	III	III	III	
Característica	Pórfido Cu-Au	Pórfido Cu-Au	Pórfido Cu-Au	Pórfido Cu-Au	Pórfido Cu-Au	
Coordenada Central						
Este	762505.017	762183.475	750202.638	772585.654	778597.683	
Norte	9252701.02	9252389.421	9262624.765	9251945.658	9251925.651	
Altitud	3920	3866	3215	3110	3252	
Área (m ²)	231123.41	137685.44	97177.52	79873.24	234378	780237.61
Volumen (m ³)	983130.69	715964.29	414948.01	341058.73	1000794.06	3455895.78
Tonelaje (tn)	2654452.9	1933103.58	1120359.63	920858.58	2702143.96	9330918.65
Tipo de roca -Datos Landsat-8						
Granitoides	Rocas ígneas intrusivas de composición félsica a intermedia, que pueden ser fuente de fluidos magmáticos ricos en metales.					
Dioritas	Rocas ígneas intrusivas de composición intermedia, que pueden estar asociadas con mineralización de cobre y oro.					

4.6 Análisis de tiempos que se utilizan en levantamientos topográficos

4.6.1 Cálculo de Tiempo

En el levantamiento topográfico del área de estudio de la presente investigación se realizó en las condiciones normales.

Características topográficas en condiciones comunes.

Tabla 35 Características topográficas en condiciones comunes.

Zona Minera	Área (m ²)	Topografía del terreno	Estado del tiempo	Rango de altura (msnm)
Yacimientos de Minerales	1 589 500 m ²	Yacimientos, Plataformas y Taludes	Húmedo	3920 promedio

Tabla 36 Criterios de análisis entre métodos de medición.

Descripción	Estación total (hr)	GPS (hr)	Dron (hr)
Trabajo de campo	3.00	1.20	0.24
Trabajo de oficina o postproceso	1.00	1.00	0.40
Total en horas	4.00	2.20	1.04
Total en minutos	240 min	132 min	64 min

Criterios de análisis de tiempo entre métodos de medición-horas

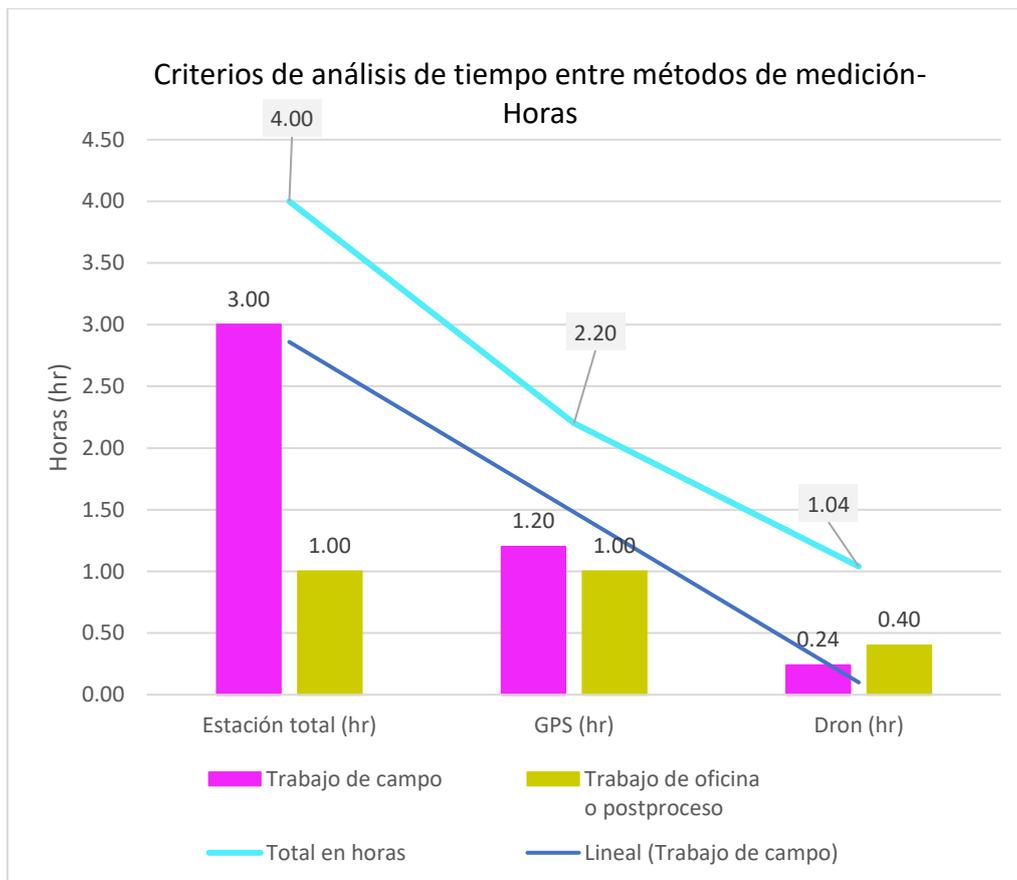


Figura 77 Criterios de análisis de tiempo entre métodos de medición-horas.

Los tiempos mostrados por cada método de levantamiento empleado, han sido tomados en base a las pruebas de campo obtenidas en los Yacimiento mineral de la Zona Minera de Hualgayoc estos tiempos no incluyen: el reconocimiento del área, la colocación de los puntos de control, el ensamblaje del dron, ni la obtención de las coordenadas de referencia ocupadas.

4.7 Análisis de costos de los equipos

Análisis de costo para Estación Total, Dron y GPS.

Tabla 37 Análisis de costo para Estación Total, Dron y GPS.

Descripción	Estación total	GPS	Dron
Adquisición del equipo para el levantamiento	Estación total LEICA Ts07: \$10 970	GPS Trimble TSC5: \$12 000	MATRICE 350 RTK: \$11 000
Equipo para el procesamiento de datos	Pc i5 con 64 ram: \$3985.76	Pc i5 con 64 ram: \$3985.76	Pc i5 con 8 ram: \$1125
Software	Civil 3d y AutoCAD \$ 2430.00 / año	Civil 3d y AutoCAD \$ 2430.00 / año	Pix4D Mapper \$2905.5 y Metashape \$179: \$3084.50
Cuadrilla topográfica	Para un área de 10,000.00 m2 aprox. de terreno \$200	Para un área de 10,000.00 m2 aprox. de terreno \$ 200	Para un área de 10,000.00 m2 de terreno \$200
Total en dólares	\$ 17 585.760	\$ 18 615.760	\$ 15 409.500
Total en soles	S/ 66825.888	S/ 70739.888	S/ 58556.1

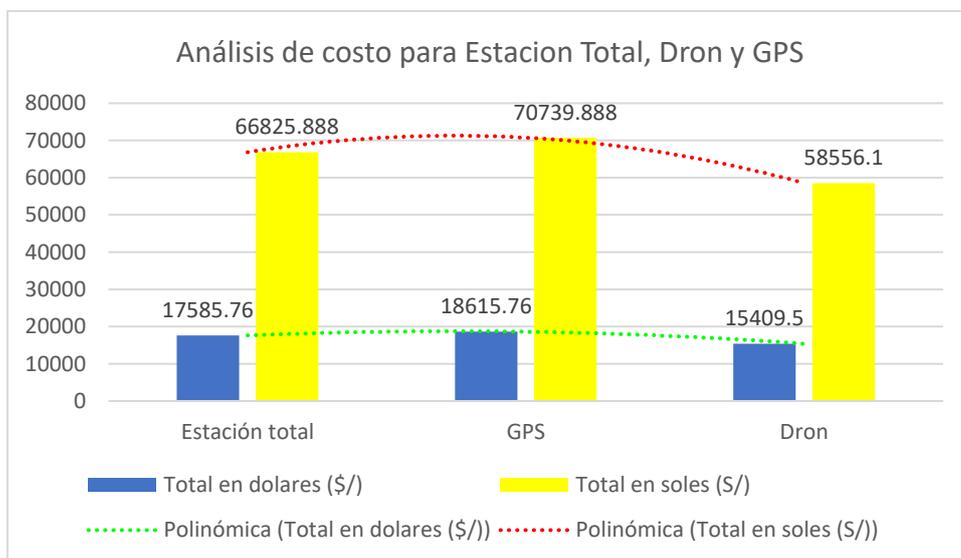


Figura 78 Análisis de costo para Estación Total, Dron y GPS.

Para obtener el costo de cada uno de los métodos de levantamiento topográfico, se realizó un cálculo aproximado en base a precios actuales, así como la experiencia en campo de profesionales de esta área.

4.8 Discusiones

En nuestra investigación el dron Matrice 350 RTK se utilizó de manera eficiente en la optimización de ubicación del yacimiento con el análisis de fotogrametría al igual que Claros et al. (2020) en su tesis se sostiene que la fotogrametría es una técnica que facilita la obtención de información sobre la superficie terrestre en un breve período. El uso de aeronaves no tripuladas se presenta como una herramienta idónea para capturar estas imágenes, lo que disminuye el tiempo dedicado al trabajo de campo y permite obtener resultados precisos y comparables con otros métodos topográficos y fotogramétricos tradicionales.

Al igual que Ocsa y Barreda (2022) en su tesis sostienen que la aplicación del dron permite elaborar modelos digitales de alta precisión, el cual es considerado muy bueno, a partir de este modelamiento digital se puede calcular el volumen de mineral fragmentado en el carguío se hace en menor tiempo, costo y altamente seguro. Determino que el tiempo de levantamiento topográfico con dron está en 15 a 20 min para la toma de datos de campo. Resultándonos en nuestra investigación de 24 minutos en campo y 40 minutos en oficina, calculando de una manera precisa el área, volumen y tonelaje del yacimiento con una exactitud 100 %.

En nuestra investigación nos resultó por cada 650 m un margen de error de 2 cm a 8 cm siendo parecida a Bustamante (2022) en su tesis afirma mediante los levantamientos topográficos realizados, la precisión del dron, al momento de realizar el levantamiento, es inferior a la precisión de una estación total, ya que la estación total trabaja con una diferencia de $\pm 3 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ por cada 500 m, mientras que el margen de error del dron es de 3 a 5 cm.

Además, el precio de repuestos y reparaciones es mucho menor que el de la estación total. Y también cabe mencionar que esta metodología puede ser realizada incluso por una sola persona o topógrafo, ya que el manejo del dron es sencillo, a diferencia de la estación total, que requiere como mínimo de dos personas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se realizó la planificación de vuelo y diseño de vuelo, resultando un óptimo GSD de 6.68cm/pix y altura media de vuelo de 176.30m, con el programa de Mission Planner nos generó 181 imágenes en el recorrido del dron.

En los softwares Pix4d y Agisoft obtuvimos MDS, DTM, ortomosaico y curvas de nivel, en la precisión de aerotriangulación resultó una desviación mínima en este (x) de - 0.180m, norte (y) de 0.111m y en altitud (z) de 0.358m. Obteniendo una mejor ubicación de la Zona minera de tipo de yacimiento: III, Pórfidos Cu-Au y según Landsat-8 tipo de roca: Granitoides y Dioritas.

Al comparar la precisión del levantamiento de dron Matrice 350 RTK, el nivel de detalle para el área, volumen y tonelaje es de una exactitud de 100 % para los cinco yacimientos minerales YM1, YM2, YM3, YM4 y YM5. Para el resultado del total de yacimientos YMT Dron-Pix4d: el área 780237.61m², volumen de 3455895.78m³ y tonelaje 9330918.65tn.

El método con dron se realizó en un total de 64 minutos de los cuales 24 minutos es en campo y 40 minutos en oficina, resultando un menor tiempo del 62 % al de los métodos con estación total y GPS diferencial.

Para la ubicación de los yacimientos minerales, el dron Matrice 350 RTK tienen un menor costo de s/58,556.1, obteniendo un ahorro monetario del 15 % al de la estación total y el GPS diferencial.

5.2 Recomendaciones

En base a la experiencia obtenida a través de este trabajo de investigación, se recomienda una planificación de vuelo a baja velocidad en drones que utilizan cámara térmica. También un plan de vuelo con un alto porcentaje de traslape, porque permite que el ortomosaico termal ubique mejor los yacimientos minerales.

Se invita a otros investigadores en campos tales como minería, industria y construcción, a utilizar el método de levantamiento con dron debido al menor costo y tiempo.

A las compañías fabricantes de vehículos aéreos no tripulados (RPAS) realizar manuales en la incorporación del sistema RTK de posicionamiento, para así hacer más conocida esta tecnología al implementarse en las distintas áreas de una unidad minera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A DeWitt, B., & R Wolf, P. (2000). *Elements of Photogrammetry with Applications in Gis*. United States: Mcgraw-Hill Education-Europe.
- Andrade Escamilla, A. (2017). *La fotogrametría y su aplicación a la ingeniería*. Mexico. <https://ring.uaq.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/4960/RI002275.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Acre, S. S. (2024). Dron DJI Matrice 350 RTK. *Matrice*. Grupo Acre, Illescas Toledo, España. <https://grupoacre.es/catalogo-productos/dron-dji-matrice-350-rtk/>
- Aerial Insights, A. I. (2019). Cómo planificar capturas de dron. *Aerial Insights*. <https://www.aerial-insights.co/blog/aerial-insights/>
- Apd, P. d. (2019). *¿Qué es un Dron y para qué sirve?* Bogota. <https://idc.apddrones.com/educacion/que-es-un-dron-y-para-que-sirve/>
- Ayala Ayala, J. C. (2017). *Fotogrametria aerea con unidad autonoma de vuelo (UAV) como herramienta de monitoreo ambiental de depositos de relaves*. Arequipa. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/052e614a-96a0-4a49-89f1-5f4d522f5c10/content>
- Bustamante, V. D. (2022). *Optimización de levantamientos topográficos aplicado a stocks de mineral mediante uso de fotogrametría con dron phantom 4 en una mina superficial de hierro en la costa sur del Perú*. Arequipa.
- Claros Zelaya, R. A., Guevara Aguilar, A. E., & Pacas Cruz, N. R. (2016). *Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados*. Salvador.
- Cortés Ospina, E. J. (2021). Levantamientos topográficos mediante el uso de drones. *ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 14.
- Diaz Sotomayor, M. G. (2019). *Aplicación de Fotogrametría y Termografía Aérea Como Herramientas para la Gestion de un Tramo de Río*. Chillan, Chile. <http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/1154/1/Tesis%20Aplicacion%20de%20fotogrametria%20%20.pdf>

- Fervimax. (2019). *Drones en el ámbito militar y cómo sacarle el máximo partido a esta tecnología*.
<https://fervimax.com/language/en/drones-in-military-and-how-to-get-the-most-out-of-this-technology/>
- Fuentes Guzman, J. E. (2012). *Topografía*. Mexico.
<https://www.aliat.click/BibliotecasDigitales/ingenieria/Topografia.pdf>
- Global Mediterranea. (2018). Drones y topografía la combinación perfecta. *Global Mediterranea*. Obtenido de <https://www.globalmediterranea.es/drones-topografia-la-combinacion-perfecta/>
- Gómez Molina, A. (1989). *Aerotriangulación Analítica*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Herrera Herrera, B. (1987). *Elementos de fotogrametría uso de materiales aerofotográficos* (1a edición ed.). Mexico: Limusa Universidad Autónoma Chapingo.
- Jimenez Calero, N. M., Magaña Monge, A. O., & Soriano Melga, E. (2019). *Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con estación total como método directo y el uso de drones y gps como métodos indirectos*. Salvador.
- Kraus, K. (2011). *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans (De Gruyter Textbook)* (Vol. 2nd Edicion). De Gruyter; 2nd edición (18 Octubre 2011).
- Mora Chaves, C. E. (2023). *Levantamientos Topograficos*. Planimetria y Altimetria, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
<https://paratopografia.com/levantamientos-topograficos-planimetria-altimet/>
- Oca Mellado, M., & Barreda Yabar, R. V. (2022). *Aplicación de drone para elaborar modelos digitales en frente de minado, Unidad Minera Las Bambas*. Cusco.
- Otero, Ezquerro, A., Rodriguez Solano, R., & Martin, L. (2000). *Fotogrametria*. Open Course Ware de la UPM.
- Pérez Álvarez, J. A. (2001). *Apuntes de Fotogrametría III*. (c. u. mérida, ed.) merida: universidad de extremadura.
<http://redgeomatiga.rediris.es/cartoprofesores/Fotogrametria/ApuntesFotogrametria3.pdf>

ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Código algorítmico del Diseño de vuelos Fotogramétricos.....	115
Anexo 2 Manual simple de inicio rápido del Matrice 350 RTK.	116
Anexo 3 Reflectance Map or Index Map.....	117
Anexo 4 Mapa de Ubicación.....	118
Anexo 5 Mapa de modelo digital de superficie y terreno.....	119
Anexo 6 Curvas de nivel- Yacimientos de minerales.....	120
Anexo 7 Yacimientos Minerales	121
Anexo 8 Altimetría de yacimiento de mineral YM1.....	122
Anexo 9 Altimetría de yacimiento de mineral YM2.....	123
Anexo 10 Perfiles, áreas y volúmenes de Yacimientos de minerales.....	124

Anexo 1 Código algorítmico del Diseño de vuelos Fotogramétricos.

```

namespace DISEÑO_DE_VUELOS_FOTOGRAMETRICOS
{
    public partial class DVF : Form
    {
        public DVF()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            PM pm = new PM();
            pm.E = (Convert.ToDouble(textBox1.Text));
            pm.Te = (Convert.ToDouble(textBox21.Text));
            pm.Reclong = (Convert.ToDouble(textBox2.Text));
            pm.Reclat = (Convert.ToDouble(textBox3.Text));
            pm.Rlm = (Convert.ToDouble(textBox4.Text));
            pm.Rlx = (Convert.ToDouble(textBox5.Text));
            pm.Ve = (Convert.ToDouble(textBox6.Text));
            pm.Df = (Convert.ToDouble(textBox7.Text));
            pm.Ase = (Convert.ToDouble(textBox8.Text));
            pm.Ali = (Convert.ToDouble(textBox9.Text));
            pm.Ani = (Convert.ToDouble(textBox10.Text));

            textBox11.Text = Math.Round(pm.GSD(), 2).ToString();
            textBox12.Text = Math.Round(pm.ANHT(), 2).ToString();
            textBox13.Text = Math.Round(pm.ALHT(), 2).ToString();
            textBox14.Text = Math.Round(pm.AV(), 2).ToString();
            textBox15.Text = Math.Round(pm.IO(), 2).ToString();
            textBox16.Text = Math.Round(pm.DF(), 2).ToString();
            textBox17.Text = Math.Round(pm.SLV(), 2).ToString();
            textBox18.Text = Math.Round(pm.SLFC(), 2).ToString();
            textBox19.Text = Math.Round(pm.RARLAXV(), 2).ToString();
            textBox20.Text = Math.Round(pm.RARLAMV(), 2).ToString();
            textBox23.Text = Math.Round(pm.RAEAXV(), 2).ToString();
            textBox24.Text = Math.Round(pm.RAEAMV(), 2).ToString();
            textBox22.Text = Math.Round(pm.V(), 2).ToString();

            public double Rarlamv { get => rarlamv; set => rarlamv = value;}
            public double Rarlavx { get => rarlavx; set => rarlavx = value;}
            public double Rlm { get => rlm; set => rlm = value;}
            public double Rlx { get => rlx; set => rlx = value;}

            public double DF()
            {
                return df;
            }
            public double RLM()
            {
                return rlm;
            }
            public double RLX()
            {
                return rlx;
            }
            public double AV ()
            {
                return e * df / 1000;
            }
            public double GSD()
            {
                return (ase * e * df * 100) / (df * ani * 1000);
            }
            public double ALHT()
            {
                return ((ase * e * df * 100) / (df * ani * 1000)) * ali
                / 100;
            }
            public double SLV()
            {
                return (((ase * e * df * 100) / (df * ani * 1000)) * ani
                / 100) * (1 - reclat / 100);
            }
        }
    }
}

```

DISEÑOS DE VUELOS FOTOGRAMETRICOS

TERRENO MONTAÑOSO

PARAMETROS DE VUELO	
<input type="text" value="11753"/>	Escala media de las fotografias
<input type="text" value="15"/>	Tolerancia de la Escala (%)
<input type="text" value="73"/>	Recubrimiento longitudinal deseado (%)
<input type="text" value="58.5"/>	Recubrimiento lateral medio (%)
<input type="text" value="45"/>	Recubrimiento lateral minimo (%)
<input type="text" value="75"/>	Recubrimiento lateral maximo (%)
<input type="text" value="59.9"/>	Velocidad de vuelo (mph)

PARAMETROS DE LA CAMARA	
<input type="text" value="15"/>	Distancia focal de la camara (mm)
<input type="text" value="30"/>	Ancho del sensor de la camara (mm)
<input type="text" value="2970"/>	Altura de la imagen (Pixeles)
<input type="text" value="5280"/>	Ancho de la imagen (Pixeles)

Rango de alturas permitidas segun escala	
Altura minima de vuelo (m)	149.85
Altura maxima de vuelo (m)	202.74

Rango de alturas permitidas segun recubrimiento lateral	
Altura minima de vuelo (m)	133.02
Altura maxima de vuelo (m)	292.65

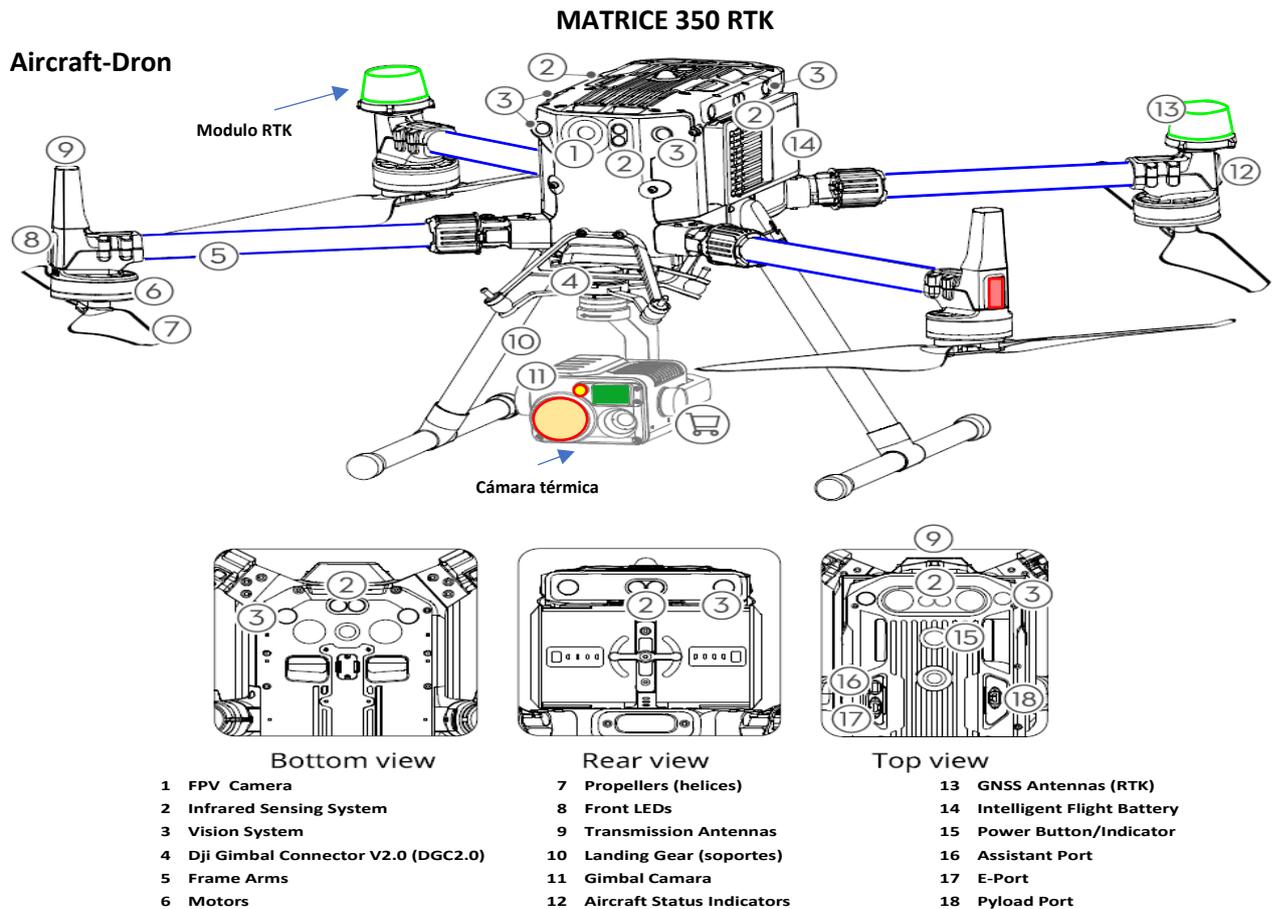
RESULTADOS:	
GSD (cm/pixel)	6.68
Ancho de huella de una imagen en el suelo (m)	352.59
Altura de huella de una imagen en el suelo (m)	198.33
Altura media de vuelo (m)	176.3
Intervalo de obturacion (s)	2
Distancia focal de la camara (mm)	15
Velocidad (m/s)	26.78

CALCULAR

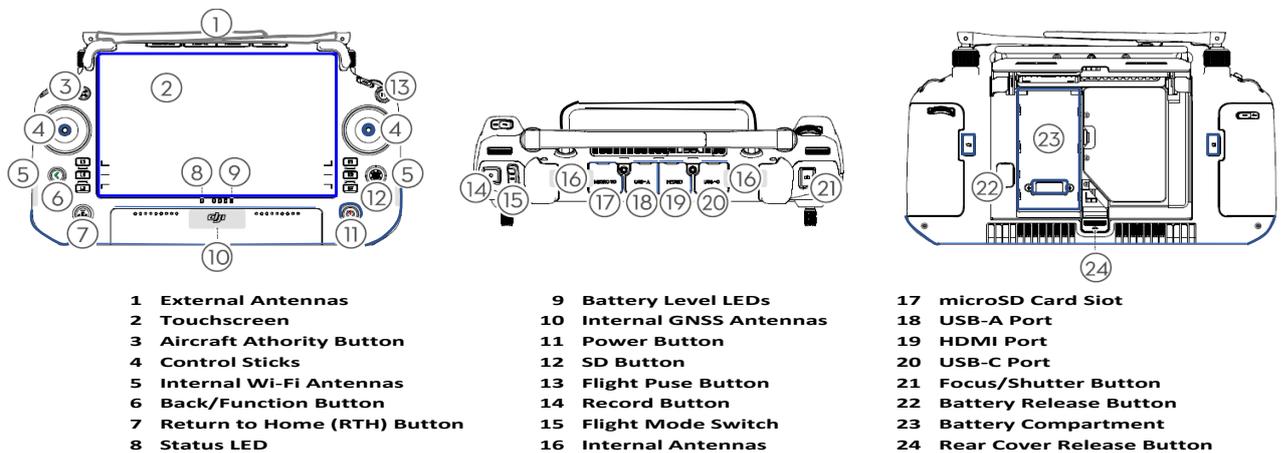
BORRAR

By: S. Roger Yopla H.

Anexo 2 Manual simple de inicio rápido del Matrice 350 RTK.

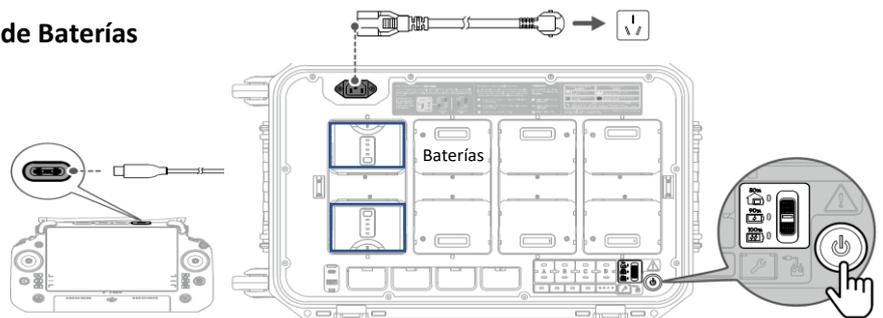


Remote Controller-Control Remoto

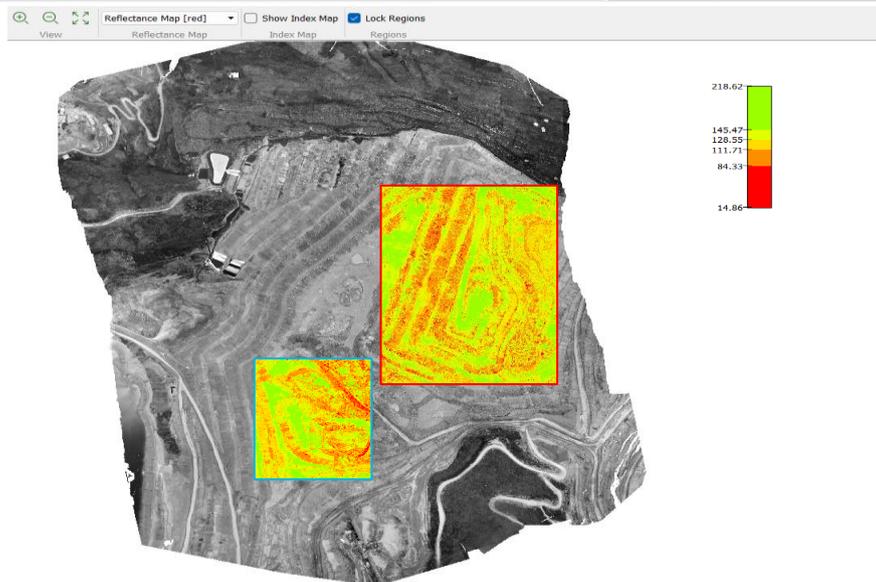
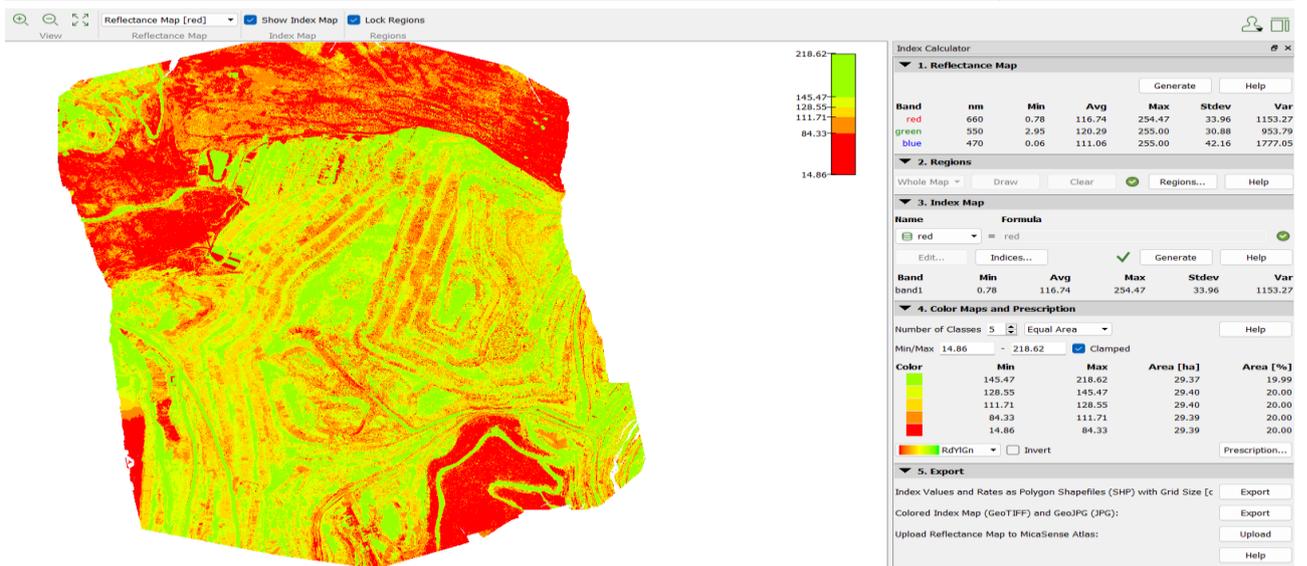
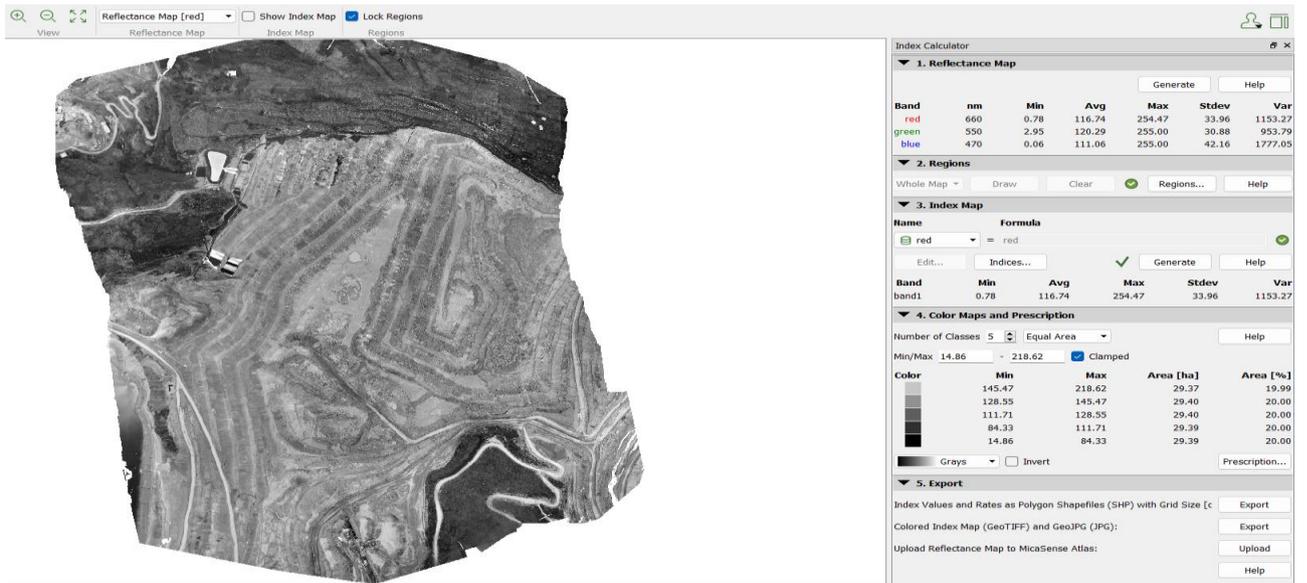


Charging the Batteries-Cargador de Baterías

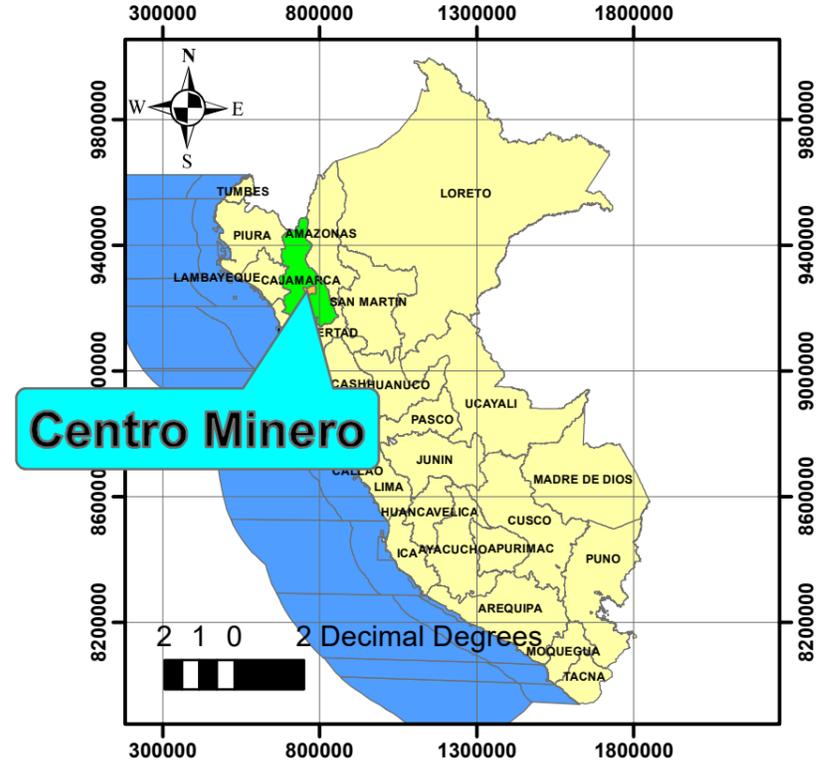
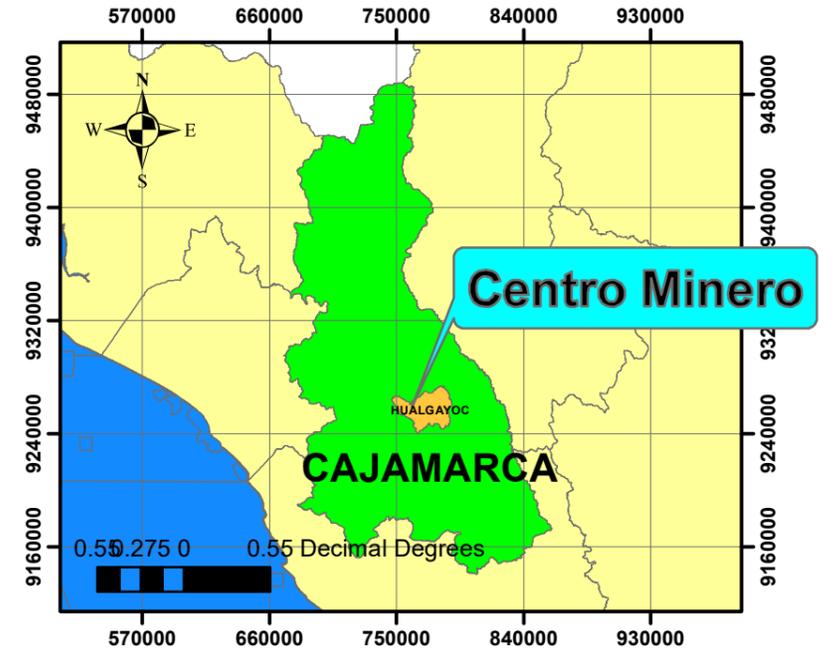
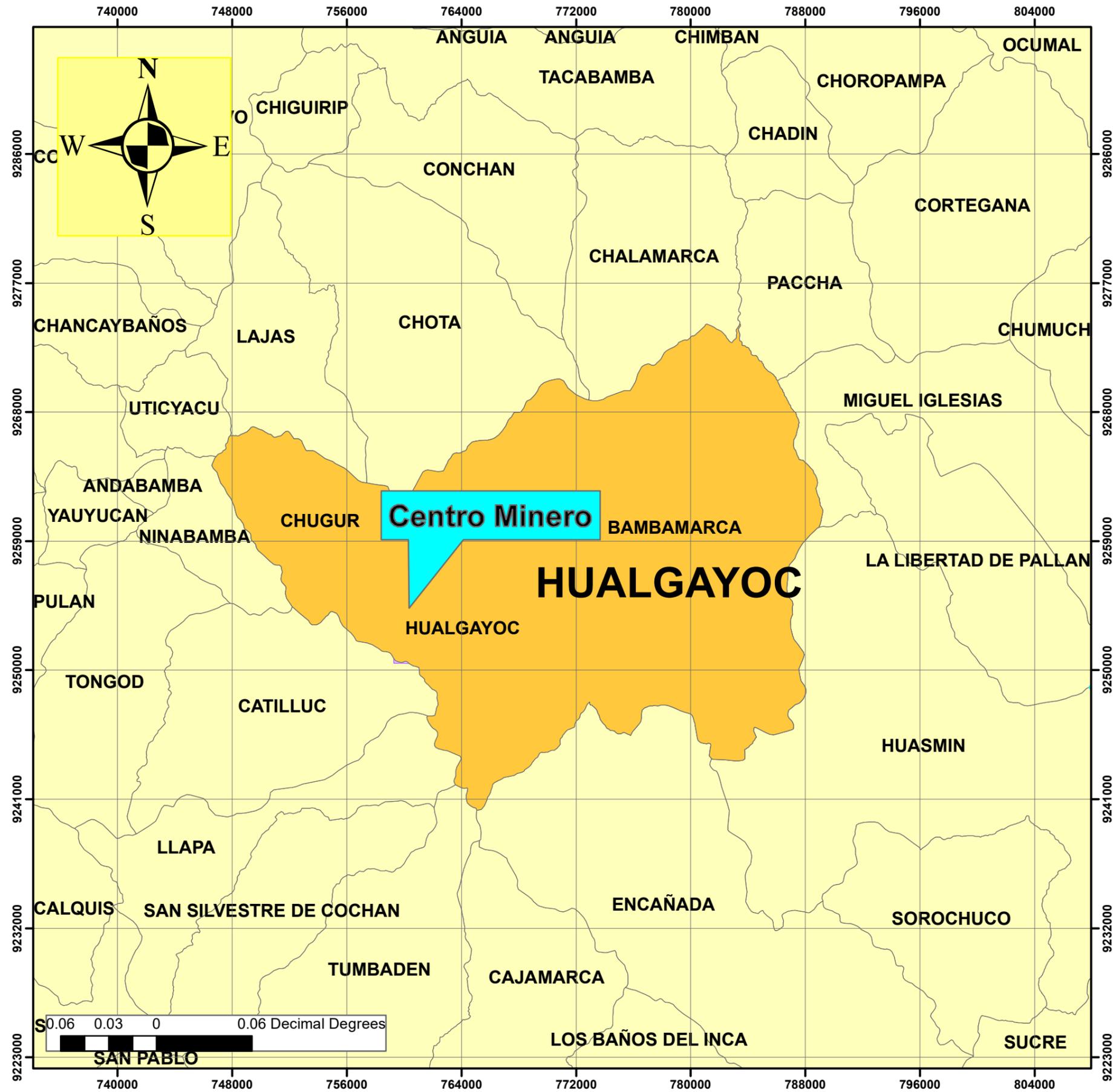
- a. Power on the BS65 Intelligent Battery Station
- b. Activating and Charging the Remote Controller
- c. Charging the TB65 Intelligent Flight Batteries and WB37 Intelligent Battery



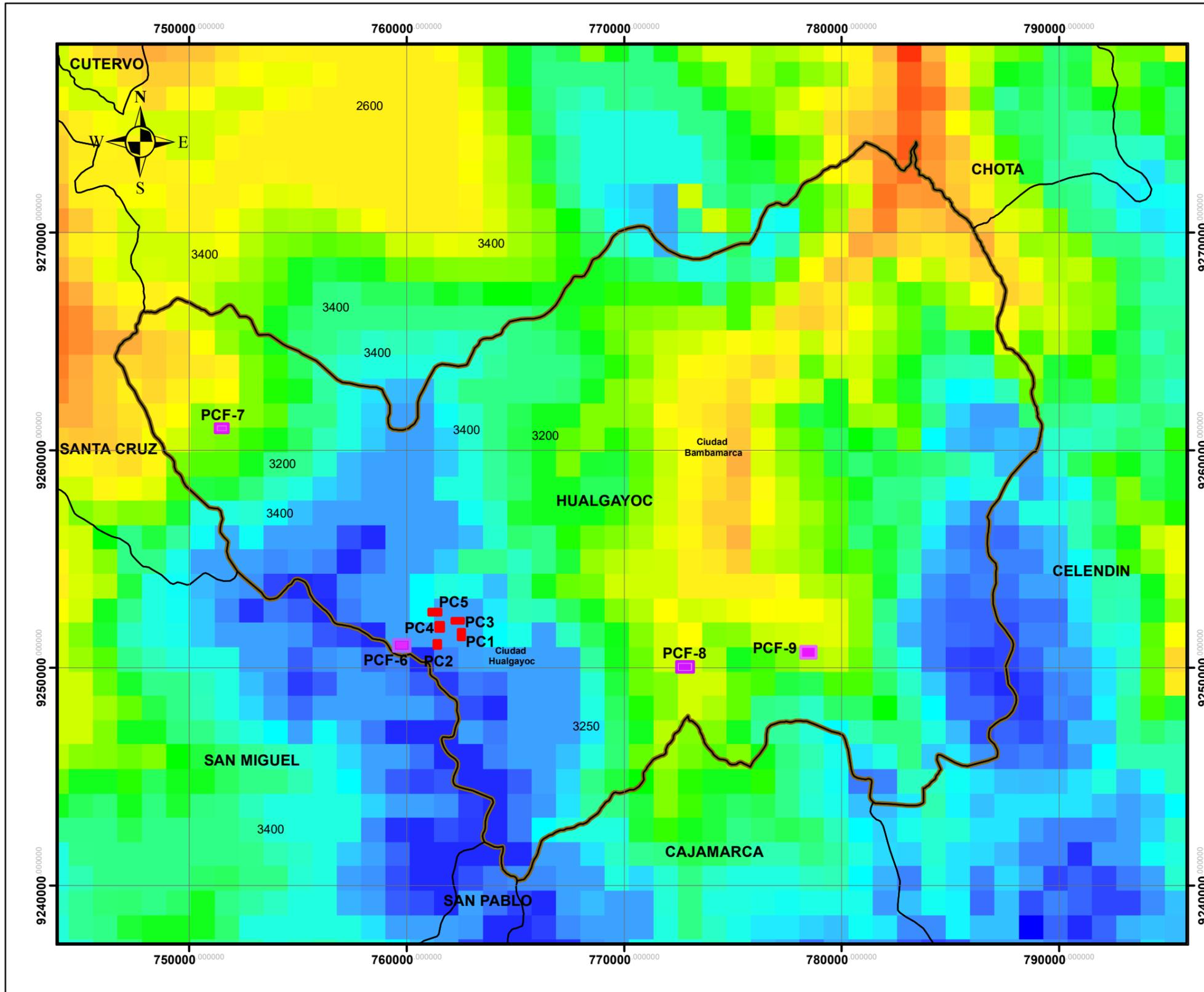
Anexo 3 Reflectance Map or Index Map.



MAPA DE UBICACIÓN DE CENTRO MINERO HUALGAYOC



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS			
TESIS: UTILIZACIÓN DEL DRON MATRICE 350 RTK PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES EN LA ZONA MINERA DE HUALGAYOC			
PLANO:	MAPA DE UBICACIÓN	PLANO N°:	1
TESISTA:	Bach. Segundo Roger Yopla Huaman		
ASESOR:	M. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana		
ESCALA: 1/1000	DATUM: WGS 84	FECHA: FEBRERO, 2025	



MODELO DIGITAL DE TERRENO (SUPERFICIE)

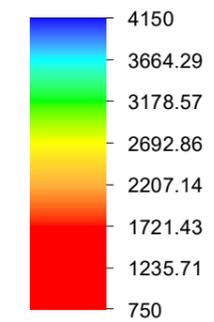
PUNTOS DE CONTROL

Puntos de control	Código	Norte	Este	Elevación	Descripción
1	21	9252670.720	762467.011	3973.399	PC-1
2	22	9252576.710	762405.195	3967.583	PC-2
3	20	9252828.950	762390.846	3929.303	PC-3
4	19	9253011.260	762439.904	3929.098	PC-4
5	18	9253045.600	762105.605	3799.606	PC-5
6	23	9252827.000	762362.000	3920.250	PCF-6
7	24	9262624.765	750202.638	3215.520	PCF-7
8	25	9251945.658	772585.654	3110.632	PCF-8
9	26	9251925.651	778597.683	3252.740	PCF-9

- PC-PUNTO DE CONTROL
- PCF-PUNTO DE CONTROL FOTOGRAMETRICO

LEYENDA

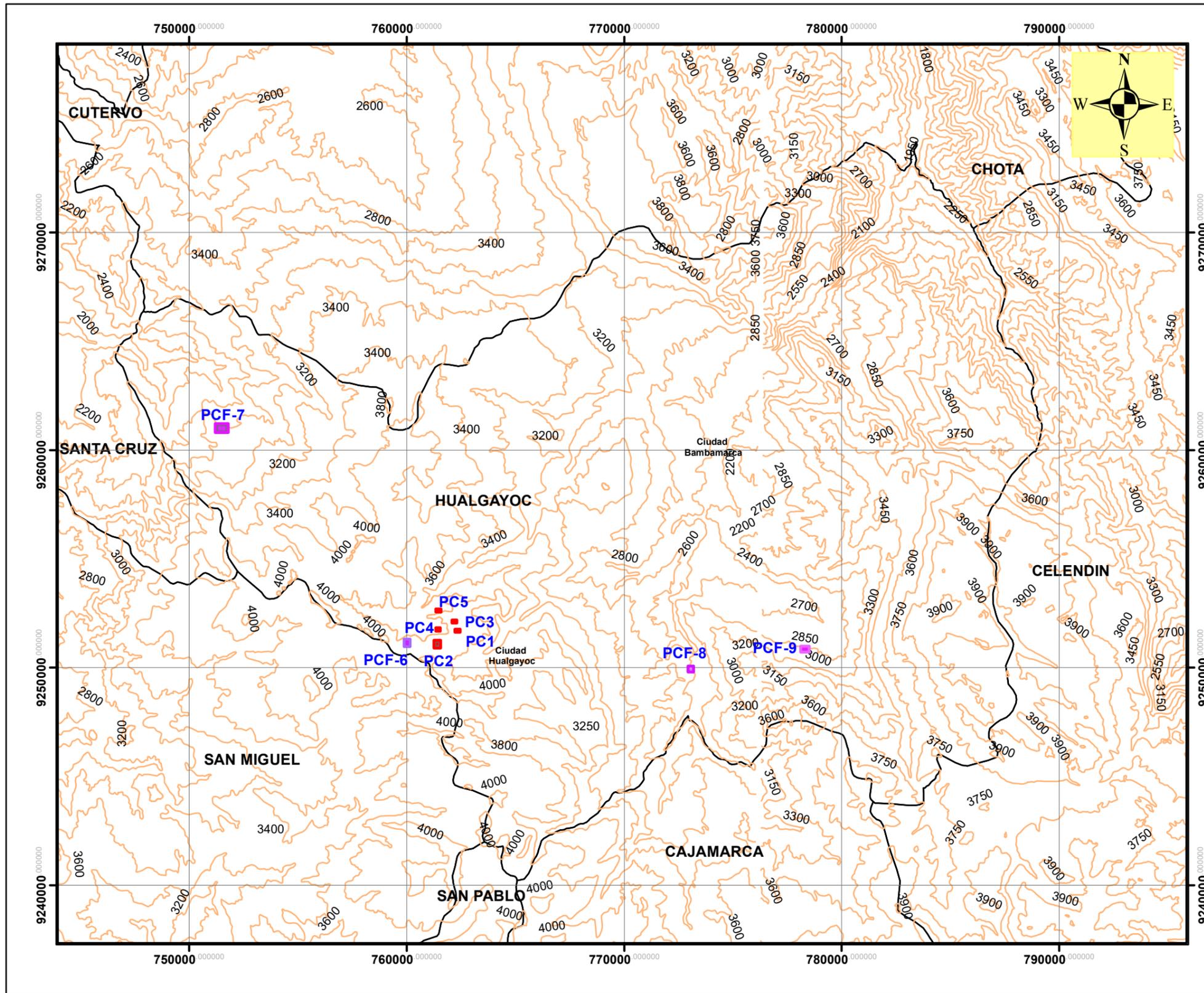
DTM-1 ALTITUD



COORDENADAS UTM	
DATUM	WGS-84
ZONA	17 S



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS	
TESIS: UTILIZACIÓN DEL DRON MATRICE 350 RTK PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES EN LA ZONA MINERA DE HUALGAYOC		
PLANO:	MODELO DIGITAL DE TERRENO	PLANO N°:
TESISTA:	Bach. Segundo Roger Yopla Huaman	
ASESOR:	M. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana	
ESCALA:	1/1000	FECHA: FEBRERO, 2025
		2



CURVAS DE NIVEL- ZONA MINERA

PUNTOS DE CONTROL

Puntos de control	Código	Norte	Este	Elevación	Descripción
1	21	9252670.720	762467.011	3973.399	PC-1
2	22	9252576.710	762405.195	3967.583	PC-2
3	20	9252828.950	762390.846	3929.303	PC-3
4	19	9253011.260	762439.904	3929.098	PC-4
5	18	9253045.600	762105.605	3799.606	PC-5
6	23	9252827.000	762362.000	3920.250	PCF-6
7	24	9262624.765	750202.638	3215.520	PCF-7
8	25	9251945.658	772585.654	3110.632	PCF-8
9	26	9251925.651	778597.683	3252.740	PCF-9

LEYENDA

 CURVAS DE NIVEL

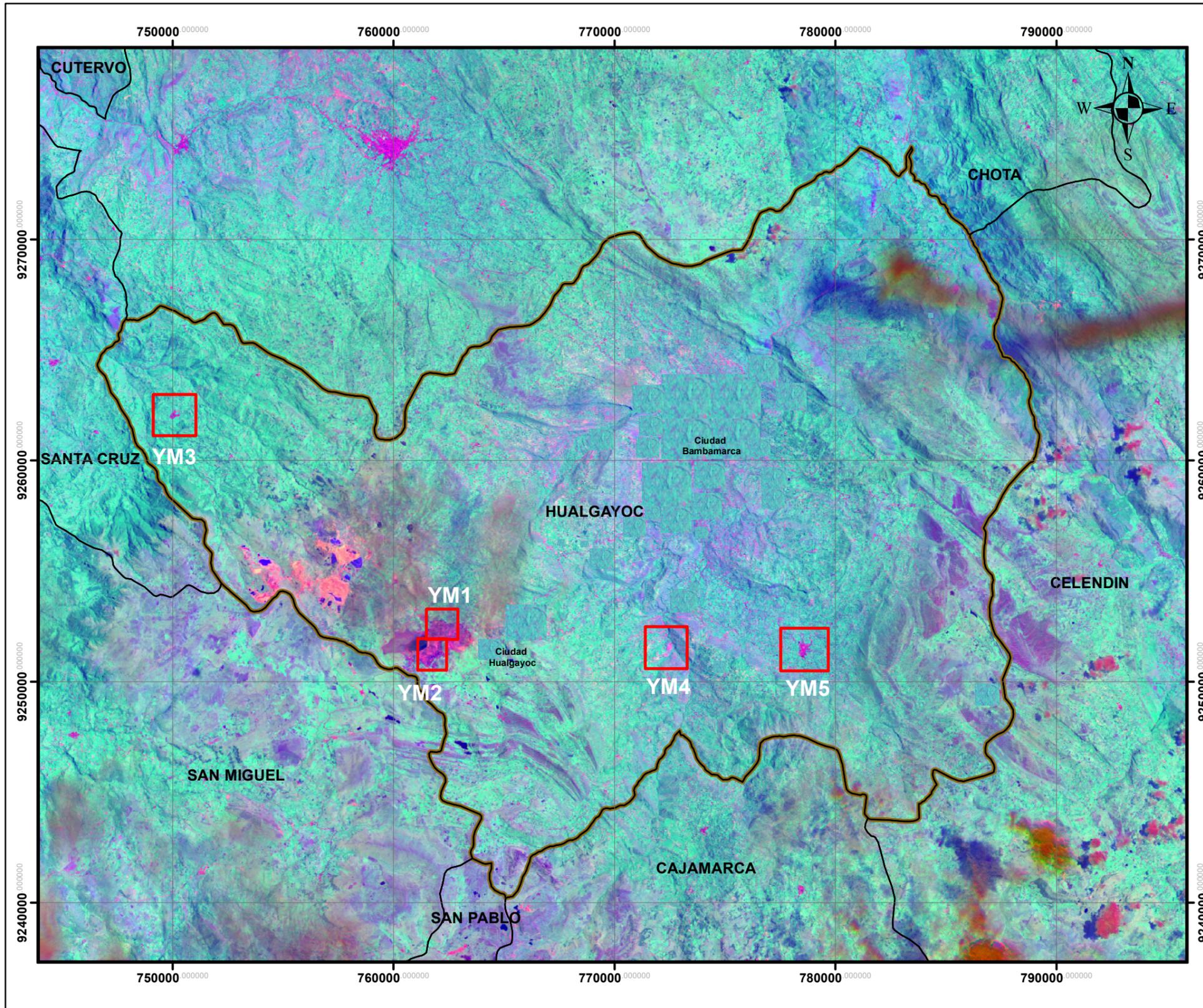
 PC-PUNTO DE CONTROL

 PCF-PUNTO DE CONTROL FOTOGRAMETRICO

COORDENADAS UTM	
DATUM	WGS-84
ZONA	17 S



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		FACULTAD DE INGENIERIA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS	
 					
TESIS :					
UTILIZACIÓN DEL DRON MATRICE 350 RTK PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES EN LA ZONA MINERA DE HUALGAYOC					
PLANO:	CURVAS DE NIVEL DE YACIMIENTOS MINERALES				PLANO N°:
TESISTA:	Bach. Segundo Roger Yopla Huaman				3
ASESOR:	M. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana				
ESCALA:	1/1000	FECHA:	FEBRERO, 2025		



YACIMIENTOS MINERALES

Yacimiento	YM1	YM2	YM3	YM4	YM5	Total
Tipo de yacimiento	III	III	III	III	III	
Característica	Pórfido Cu-Au	Pórfido Cu-Au	Pórfido Cu-Au	Pórfido Cu-Au	Pórfido Cu-Au	
Coordenada Central						
Este	762505.017	762183.475	750202.638	772585.654	778597.683	
Norte	9252701.02	9252389.421	9262624.765	9251945.658	9251925.651	
Altitud	3920	3866	3215	3110	3252	
Área (m ²)	231123.41	137685.44	97177.52	79873.24	234378	780237.61
Volumen (m ³)	983130.69	715964.29	414948.01	341058.73	1000794.06	3455895.78
Tonelaje (tn)	2654452.9	1933103.58	1120359.63	920858.58	2702143.96	9330918.65
Tipo de roca -Datos Landsat-8						
Granitoides	Rocas ígneas intrusivas de composición félsica a intermedia, que pueden ser fuente de fluidos magmáticos ricos en metales.					
Dioritas	Rocas ígneas intrusivas de composición intermedia, que pueden estar asociadas con mineralización de cobre y oro.					

LEYENDA

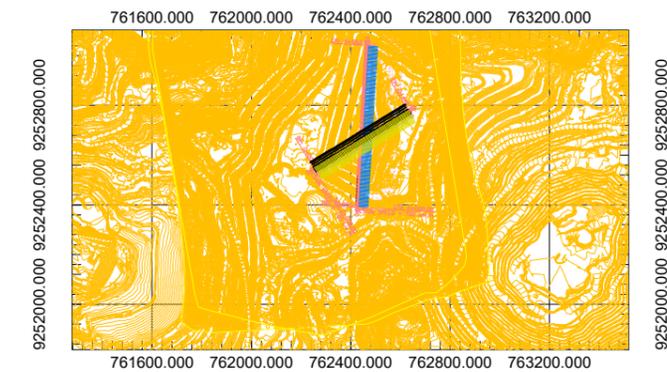
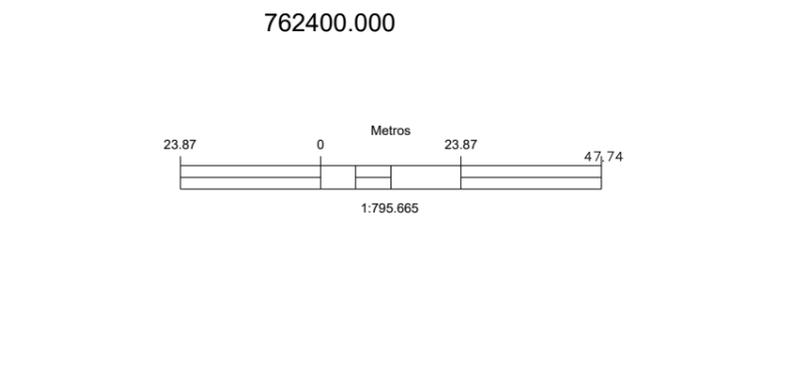
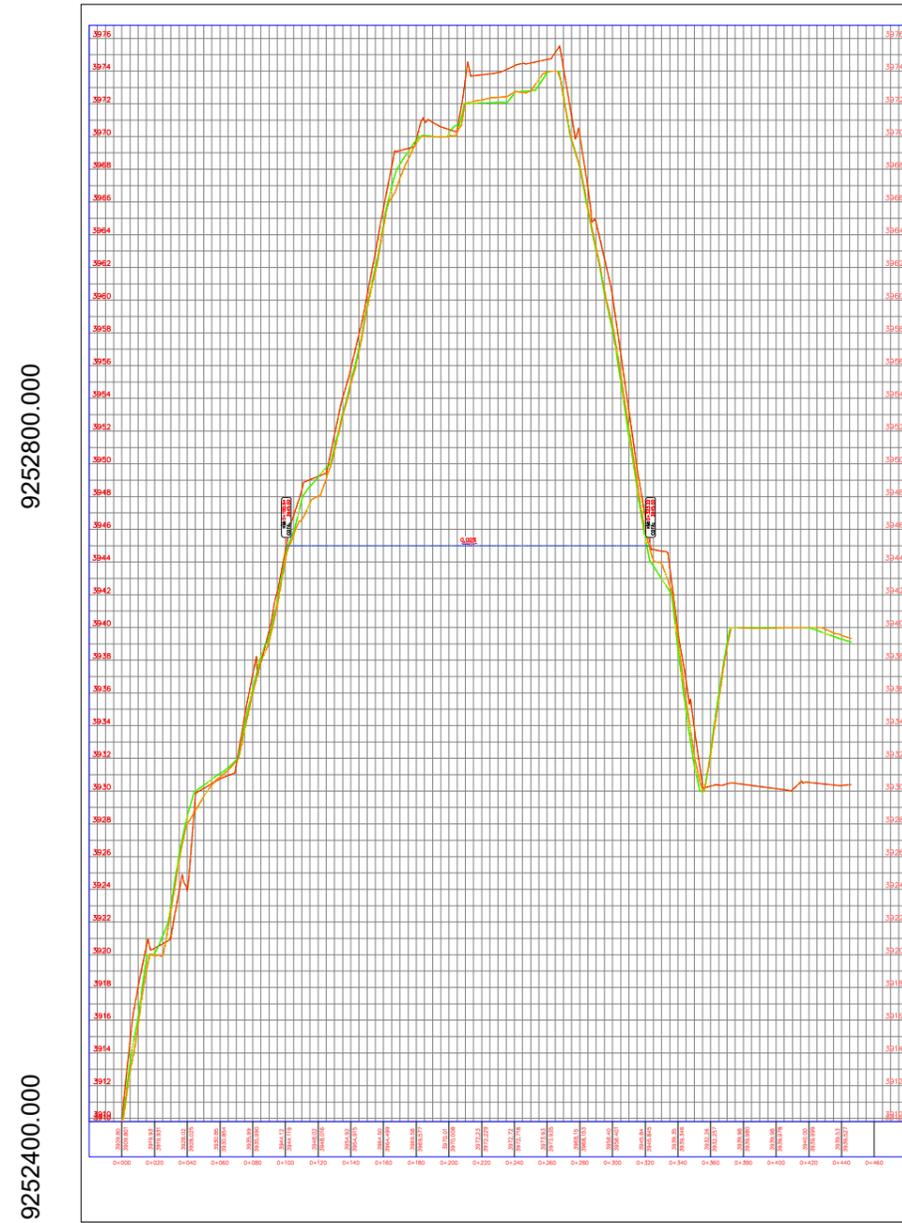
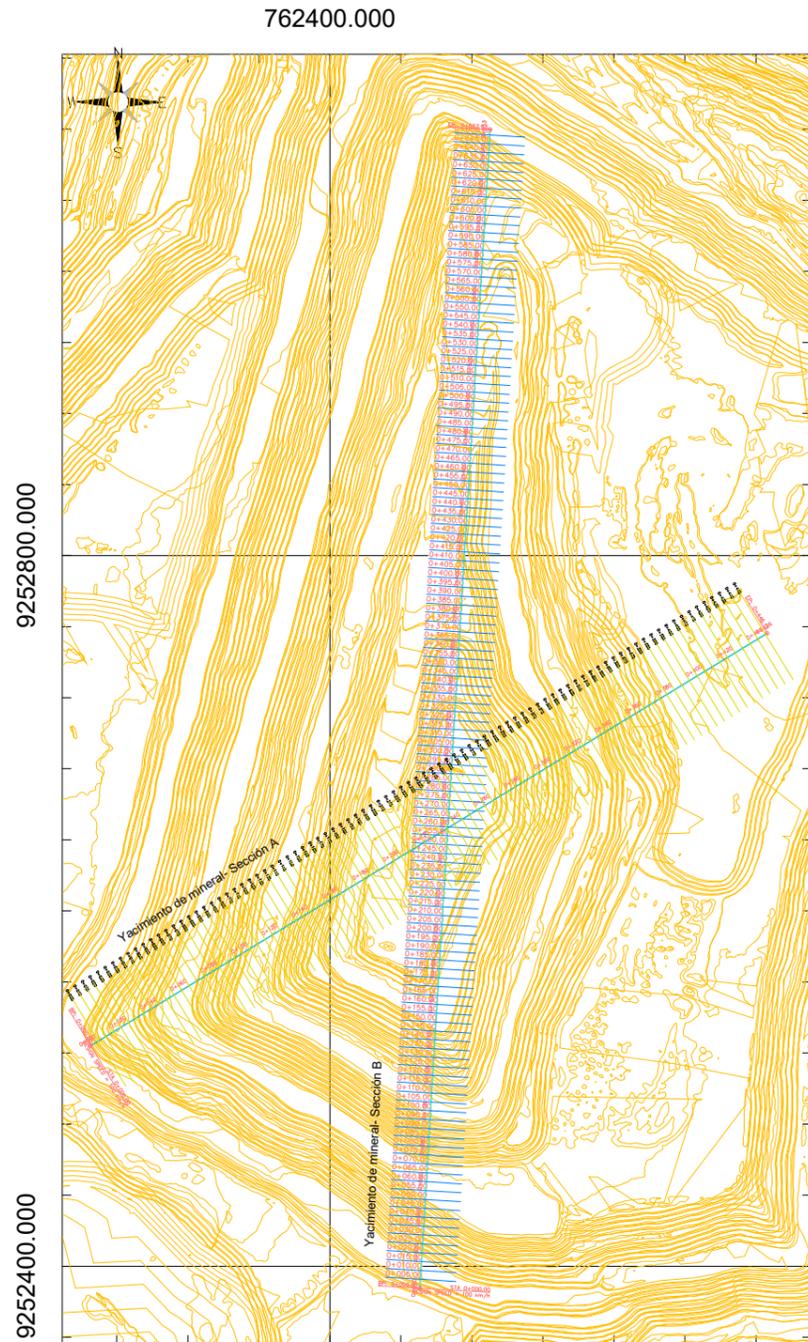
- Ubicación del Yacimiento Mineral
- Wadi deposit
- Late tectonicit
- Younger gabbro
- Syn-tectonicgranite
- Mélange
- Islandarcmetavolcanic
- Metagabbro-Diorites
- Talc carbonates
- Serpentinites
- Granitegneiss

COORDENADAS UTM	
DATUM	WGS-84
ZONA	17 S



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS	
TESIS : UTILIZACIÓN DEL DRON MATRICE 350 RTK PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES EN LA ZONA MINERA DE HUALGAYOC	
PLANO: YACIMIENTOS MINERALES TESIS: Bach. Segundo Roger Yopla Huaman ASESOR: M. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana ESCALA: 1/1000 FECHA: FEBRERO, 2025	4

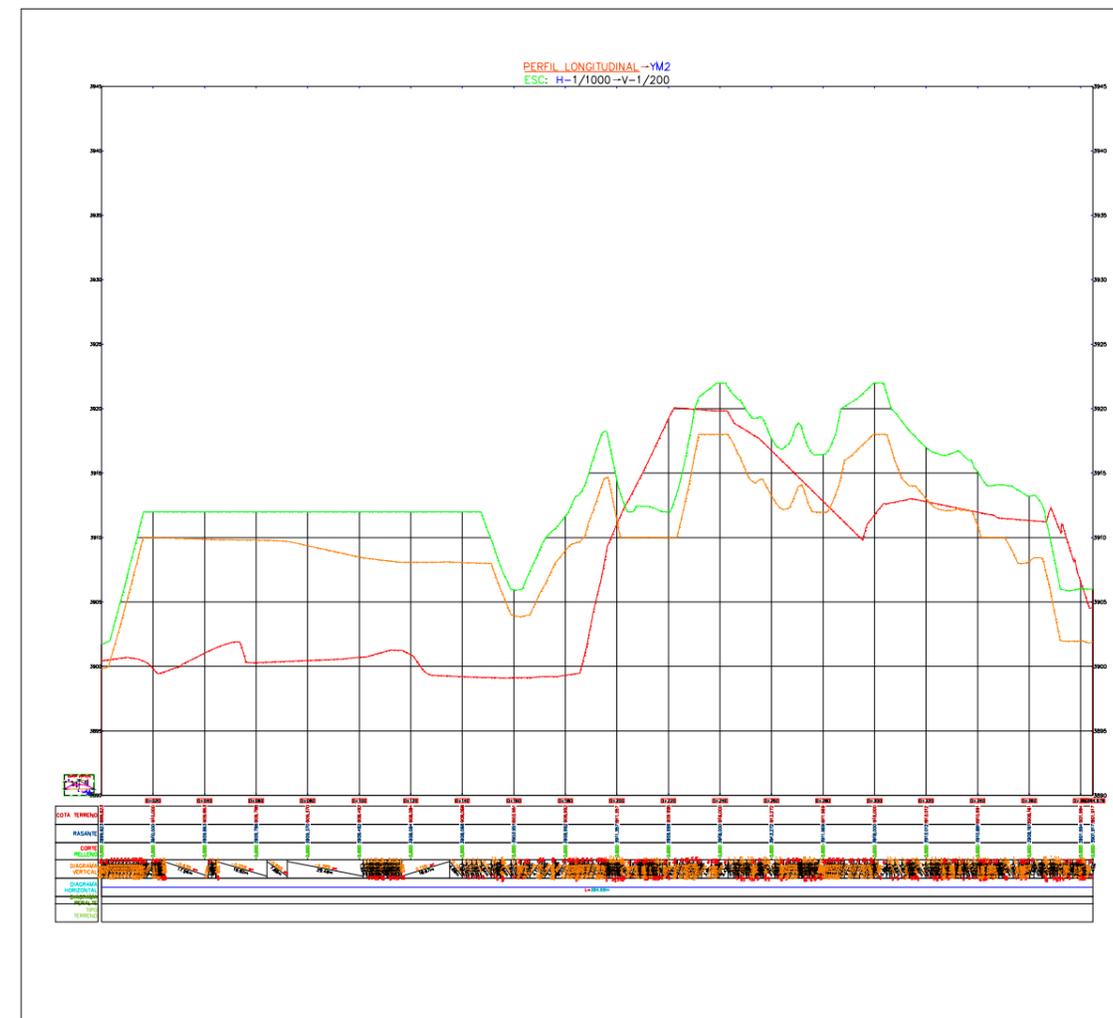
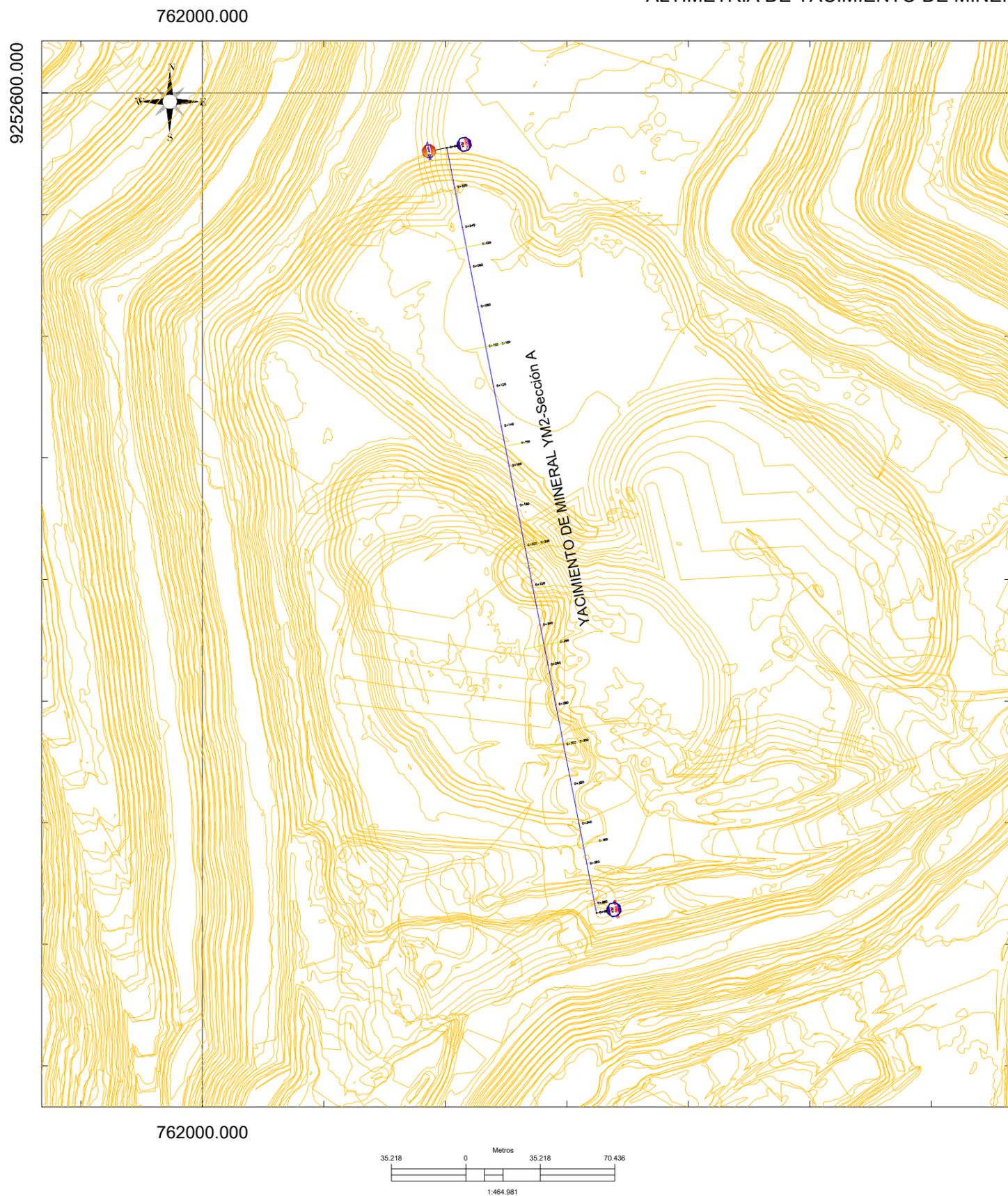
ALTIMETRÍA DE YACIMIENTOS MINERALES



LEYENDA	
Curvas de Agisoft	— (orange line)
Curvas de Pix4D	— (green line)
Curvas de GPS Diferencial	— (red line)
Rasante	— (blue line)
Curvas del Yacimientos minerales	— (yellow line)

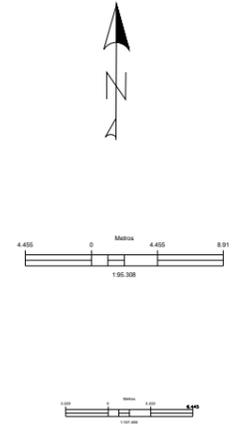
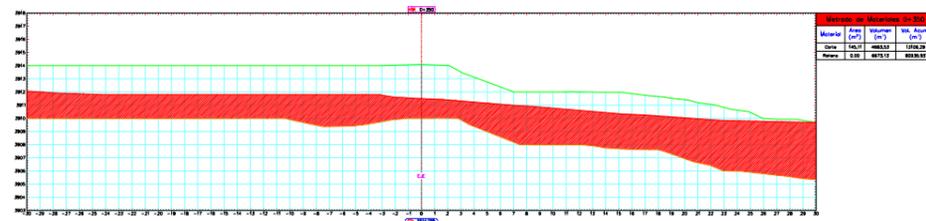
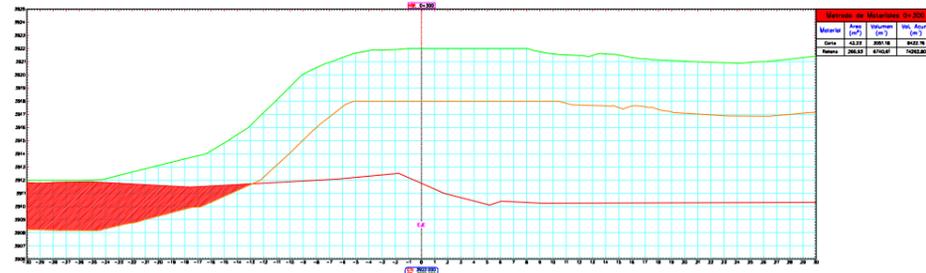
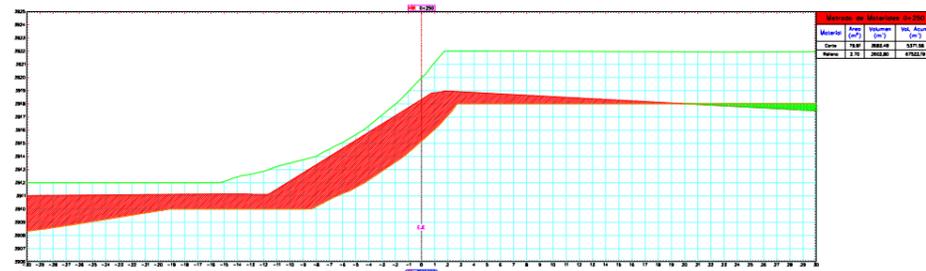
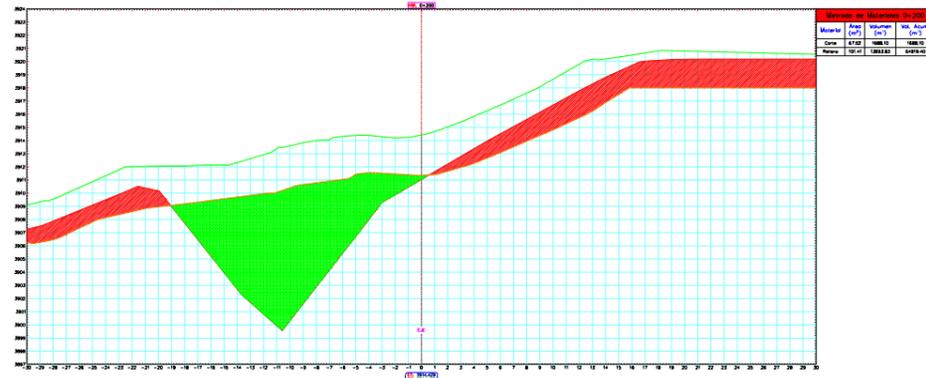
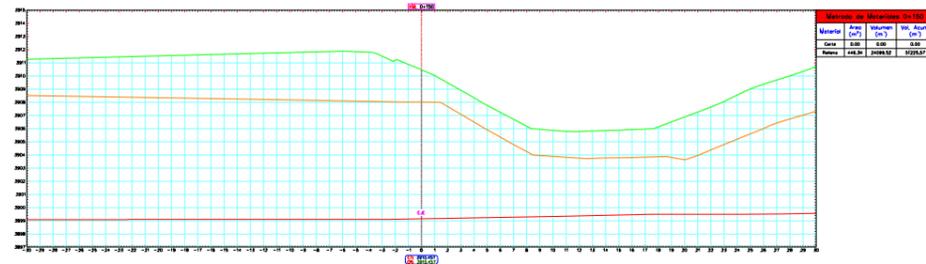
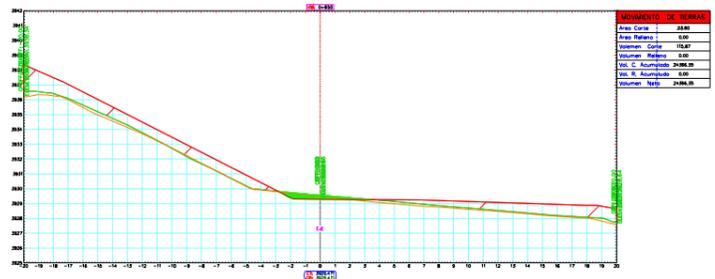
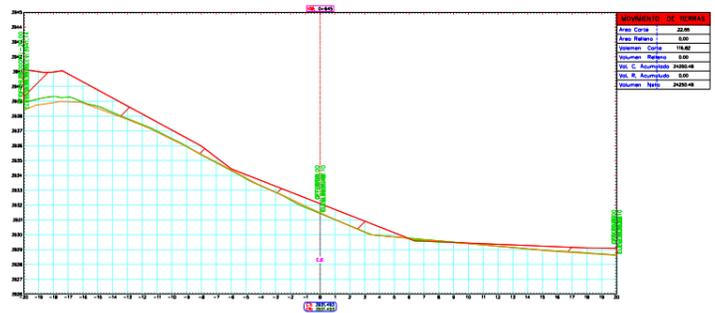
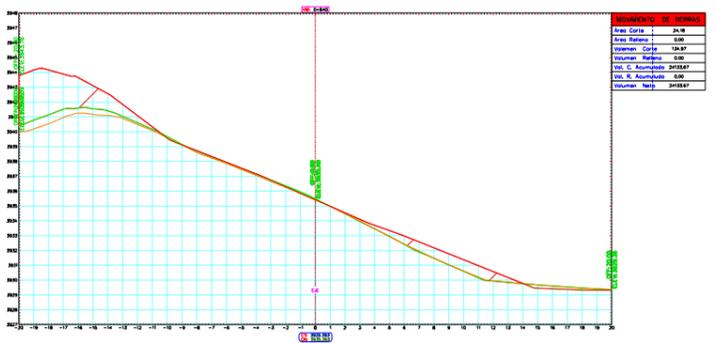
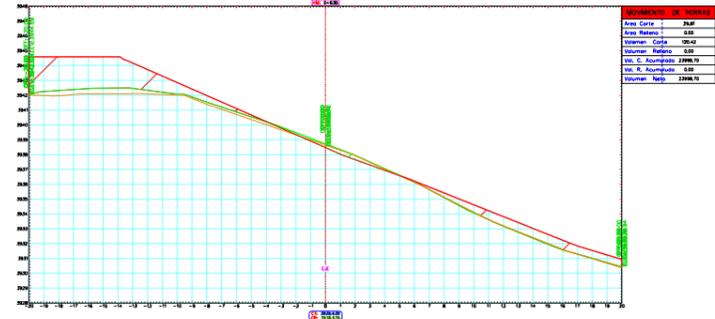
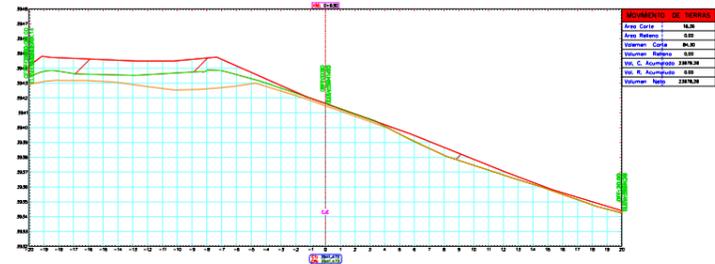
<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS</p>		
<p>UTILIZACIÓN DEL DRON MATRICE 350 RTK PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES EN LA ZONA MINERA DE HUALGAYOC</p>		
<p>PERFILES, ÁREAS Y VOLUMES DE YACIMIENTOS MINERALES</p>		
Asesor: M. Cs. Ing. Robert Severino Gonzales Yana	Provincia: Hualgayoc	N° de Plano: 5
Tesista: Bach. Segundo Roger Yopla Huaman	Departamento: Cajamarca	
Escala: 1:5000	Fecha: Mayo 2024	

ALTIMETRÍA DE YACIMIENTO DE MINERAL YM2 - GPS Diferencial, PIX 4D y Agisoft -V 5m



LEYENDA	
Curvas de Agisoft	
Curvas de Pix4D	
Curvas de GPS Diferencial	
Rasante	
Curvas del Yacimiento de Mineral: YM2	
Volumen	

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS</p>		
<p>UTILIZACIÓN DEL DRON MATRICE 350 RTK PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES EN LA ZONA MINERA DE HUALGAYOC</p>		
<p>Plano: PERFILES, ÁREAS Y VOLUMENES DE YACIMIENTO DE MINERAL YM2 - GPS DIFERENCIAL, PIX4D Y AGISOFT</p>		
Asesor: M. Cs. Roberto Severino Gonzales Yana	Provincia: Hualgayoc	N° de Plano: 6
Tesista: Bach. Segundo Roger Yopla Huaman	Departamento: Cajamarca	
Escala: 1:5000	Fecha: Mayo 2024	Datum: PSAD 1956 ZONA 17 SUR



LEYENDA	
Curvas de Agisoft	
Curvas de Pix4D	
Curvas de GPS Diferencial	
Rasante	
Curvas del Yacimientos de Mineral	
Corte	
Relleno	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS		
UTILIZACIÓN DEL DRON MATRICE 350 RTK PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES EN LA ZONA MINERA DE HUALGAYOC		
PERFILES, ÁREAS Y VOLUMES DE YACIMIENTOS DE MINERALES		
Asesor: M. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana	Provincia: Hualgayoc	N° de Plano: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">7</div>
Tesista: Bach. Segundo Roger Yopla Huaman	Departamento: Cajamarca	
Escala: 1:5000	Fecha: Mayo 2024	Datum: PSAD 1956 ZONA 17 SUR