



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**SEDE MORONA SANTIAGO**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**

**CARRERA MINAS**

**INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE MAPEO  
FOTOGRAMÉTRICO MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULO  
AÉREO NO TRIPULADO (UAV) EN PIAMONTE.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MINAS**

**AUTORES:**

FELIPE SEBASTIAN JARA ULLOA

EDWIN BRYAN CUNALATA CHAQUINGA

Macas – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE MORONA SANTIAGO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA MINAS**

**INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE MAPEO  
FOTOGRAMÉTRICO MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULO  
AÉREO NO TRIPULADO (UAV) EN PIAMONTE.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MINAS**

**AUTORES:** FELIPE SEBASTIAN JARA ULLOA  
EDWIN BRYAN CUNALATA CHAQUINGA

**DIRECTOR:** Ing. CHRISTIAN ORDONEZ GUAYCHA

Macas – Ecuador

2023

**©2023, Edwin Bryan Cunalata Chaquina & Felipe Sebastián Jara Ulloa**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

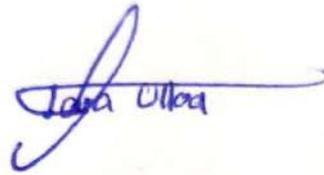
Nosotros Edwin Bryan Cunalata Chaquina & Felipe Sebastián Jara Ulloa, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 27 de noviembre de 2023



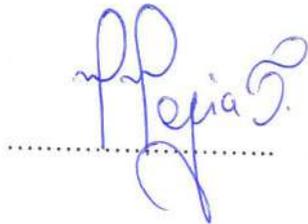
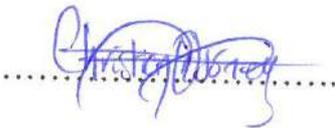
**Edwin Bryan Cunalata Chaquina**  
**C.I: 2200110548**



**Felipe Sebastián Jara Ulloa**  
**C.I: 1450106354**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE MORONA SANTIAGO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA MINAS**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE MAPEO FOTOGRAMÉTRICO MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) EN PIAMONTE** , realizado por los señores: **EDWIN BRAYAN CUNALATA CHAQUINGA** y **FELIPE SEBASTIÁN JARA ULLOA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Marco Antonio Mejía Flores MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023/11/27
Ing. Christian Adrián Ordoñez Guaycha MSc. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023/11/27
Ing. Santiago Nathanael Toapanta MSc. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023/11/27

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mi respetable familia, fuente inagotable de amor y respaldo. A mi madre, Ruth Chaquinga, le rindo homenaje por su incansable dedicación y amor incondicional, que han sido mi guía constante. A mi padre, Olmedo Guapi, agradezco su sabiduría y paciencia, fundamentales en mi travesía académica. A mis queridos hermanos, Anthony Guapi y Amaris Chaquinga, les dedico este logro, agradeciendo su apoyo constante.

Edwin

A mis padres Blanca y Leonardo, que, con su apoyo, amor y sobre todo esfuerzo me dieron la oportunidad de alcanzar este sueño de terminar mi carrera universitaria, a mi hermana Ruth. A mi esposa Catherine y mi hija Monserrat, por brindarme su apoyo, cariño y sobre todo la motivación que me ayudo a no darme por vencido para culminar mis logros.

Felipe

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a Dios por permitirnos culminar nuestra carrera universitaria con salud y vida. Agradecemos a los docentes que, con paciencia y respeto, nos brindaron valiosas enseñanzas que han sido fundamentales en nuestro crecimiento académico y personal, queremos extender nuestro agradecimiento al Ing. Christian Ordoñez, quien ha sido un testimonio viviente de nuestra gratitud. Apreciamos profundamente el privilegio de aprender y crecer bajo su tutela, agradeciendo el tiempo dedicado para guiarnos y ayudarnos a concluir este proyecto con éxito. No podemos dejar de mencionar al Ing. Marco Mejía, no solo como un excelente educador, sino también como un gran amigo y guía por sus conocimientos y experiencias compartidas, las cuales han fortalecido nuestro carácter como futuros profesionales, su motivación y apoyo constante nos han inspirado a seguir con entusiasmo nuestros estudios.

Edwin & Felipe

## INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	x
INDICE DE TABLAS.....	xii
INDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPITULO I

1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1	Planteamiento del problema.....	2
1.2	Antecedentes.....	2
1.3	Justificación.....	3
1.3.1	<i>Objetivo General</i> .....	3
1.3.2	<i>Objetivos Específicos</i> .....	3
1.3.3	<i>Ubicación y acceso</i> .....	3
1.3.4	<i>Clima y temperatura</i> .....	5

### CAPITULO II

2	MARCO TEÓRICO.....	7
2.1	Fotogrametría.....	7
2.1.1	<i>Fotogrametría terrestre</i> .....	7
2.1.2	<i>Fotogrametría aérea</i> .....	7
2.1.3	<i>Ciclos de la fotogrametría</i> .....	7
2.1.4	<i>Aplicación de la Fotogrametría</i> .....	7
2.2	Aspectos Generales.....	8
2.2.1	<i>Diferencia entre levantamiento tradicional y el fotogramétrico</i> .....	8
2.2.2	<i>Ventajas y desventajas de la fotogrametría</i> .....	9
2.2.2.1	<i>Principales ventajas del uso de los Drones en topografía</i> .....	9
2.2.2.2	<i>Desventajas de la fotogrametría con drones</i> .....	9
2.2.2.3	<i>Levantamiento terrestre, aéreos y por satélite</i> .....	11
2.3	Fundamentos de la Fotogrametría.....	11

2.3.1	<i>Proyección central y ortogonal</i> .....	11
2.3.2	<i>Visión estereoscópica</i> .....	12
2.3.3	<i>Método general de la fotogrametría</i> .....	14
2.3.4	<i>Fotografías y fotogramas</i> .....	15
2.3.4.1	<i>Punto principal</i> .....	15
2.3.4.2	<i>Punto nadiral</i> .....	15
2.3.4.3	<i>Recta principal</i> .....	15
2.3.4.4	<i>Distancia principal</i> .....	16
2.3.4.5	<i>Angulo de inclinación</i> .....	16
2.4	<b>Formación de imágenes y geometría</b> .....	17
2.4.1	<i>Cámaras aéreas</i> .....	17
2.4.2	<i>Proceso de toma fotográfica</i> .....	18
2.4.3	<i>Calibración de cámara</i> .....	19
2.4.4	<i>Adquisición de imágenes</i> .....	20
2.5	<b>Planificación de vuelo</b> .....	20
2.5.1	<i>Modo de pilotaje de una aeronave no tripulada</i> .....	21
2.5.1.1	<i>Modo Autónomo</i> .....	21
2.5.1.2	<i>Modo manual</i> .....	21
2.5.1.3	<i>Modo asistido</i> .....	21
2.6	<b>Procesamiento de datos</b> .....	21
2.6.1	<i>Software para Fotogrametría</i> .....	21
2.6.2	<i>Procesado de imágenes</i> .....	22
2.6.3	<i>Orientación de imágenes</i> .....	23
2.6.4	<i>Reconstrucción 3D</i> .....	23
2.6.5	<i>Productos</i> .....	24
2.7	<b>Integración con otras tecnologías</b> .....	24
2.7.1	<i>Relación de la fotogrametría con LiDAR</i> .....	24
2.7.1.1	<i>Diferencia entre fotogrametría y LiDAR</i> .....	24
2.7.2	<i>Fotogrametría y teledetección</i> .....	25
2.8	<b>Levantamiento Topográfico</b> .....	25
2.9	<b>Vehículo aéreo no tripulado (UAV)</b> .....	25
2.10	<b>Geoposicionamiento</b> .....	25
2.11	<b>Overlap o superposición</b> .....	26
2.12	<b>GSD</b> .....	26
2.13	<b>Rolling Shutter y Global Shutter</b> .....	26

### CAPITULO III

<b>3</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>27</b>
3.1	Tipo de investigación.....	27
3.2	Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos. ....	27
3.2.1	<i>Trabajo preliminar</i> .....	27
3.2.2	<i>Trabajo en campo</i> .....	29
3.2.3	<i>Vuelos de reconocimiento</i> .....	29
3.2.4	<i>Vuelos Planificados</i> .....	30
3.2.5	<i>Toma y procesamiento de datos fotogramétricos</i> .....	32
3.2.5.1	<i>Ejecución de vuelo fotogramétrico</i> .....	34
3.2.5.2	<i>Trabajo de escritorio</i> .....	36

### CAPITULO IV

<b>4</b>	<b>ANALISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
4.1	Datos del levantamiento.....	45
4.1.1	<i>Ortofoto</i> .....	46
4.1.2	<i>Posiciones de Cámara</i> .....	48
4.1.3	<i>Modelo Digital De Elevaciones</i> .....	49
4.1.4	<i>Parámetros de procesamiento</i> .....	50
4.1.5	<i>Medición de áreas</i> .....	54
4.2	Modelo Digital del Terreno de Piamonte .....	56

### CAPITULO V

<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>57</b>
5.1	Conclusiones .....	57
5.2	Recomendaciones .....	58

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>60</b>
--------------------------	-----------

<b>ANEXOS .....</b>	<b>63</b>
---------------------	-----------

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1:</b> Mapa de ubicación del lugar de estudio.....	4
<b>ilustración 1-2:</b> Mapa de accesibilidad al lugar de estudio.....	5
<b>ilustración 2-1:</b> Clasificación de la fotogrametría.....	8
<b>ilustración 2-2:</b> Proyección central y proyección ortogonal.....	12
<b>ilustración 2-3:</b> Modelo estereoscópico.....	13
<b>ilustración 2-4:</b> Paralajes de un plano.....	14
<b>ilustración 2-5:</b> Ejemplo de modelo estereoscópico.....	15
<b>ilustración 2-6:</b> Tipos de fotografías aéreas según la inclinación de toma.....	16
<b>ilustración 2-7:</b> Método general de fotogrametría.....	18
<b>ilustración 2-8:</b> Diferentes tipos de distorsión de imágenes.....	19
<b>ilustración 3-1:</b> Fases de trabajo a aplicar.....	27
<b>ilustración 3-2:</b> Dron dji phantom 4 pro v2.0.....	28
<b>ilustración 3-3:</b> División de la zona para el levantamiento topográfico.....	31
<b>ilustración 3-4:</b> Ventana principal de map pilot.....	32
<b>ilustración 3-5:</b> Grilla exportada de acuerdo con la división de área de estudio.....	33
<b>ilustración 3-6:</b> Polígono creado a partir de la malla con sus parámetros correspondientes.....	33
<b>ilustración 3-7:</b> Perfil de vuelo y su relación con respecto al suelo.....	34
<b>ilustración 3-8:</b> Dron dji phantom 4 pro v2.0.....	35
<b>ilustración 3-9:</b> Perfil de vuelo con respecto al suelo.....	35
<b>ilustración 3-10:</b> Flujo de trabajo realizado en el software agisoft metashape.....	36
<b>ilustración 3-11:</b> Modelo digital de terreno.....	37
<b>ilustración 3-12:</b> Proceso para añadir imágenes en metashape.....	37
<b>ilustración 3-13:</b> Herramienta para la calibración de cámaras.....	38
<b>ilustración 3-14:</b> Apartado para la orientación de las fotos.....	38
<b>ilustración 3-15:</b> Apartado para la creación de nube de puntos.....	39
<b>ilustración 3-16:</b> Pestaña de activado o desactivado de cámaras.....	39
<b>ilustración 3-17:</b> Herramienta de clasificado de puntos del terreno.....	40
<b>ilustración 3-18:</b> Herramienta para crear malla.....	40
<b>ilustración 3-19:</b> Herramienta para la optimización de texturas.....	41
<b>ilustración 3-20:</b> Apartado para la creación del mdt.....	41
<b>ilustración 3-21:</b> Generación de curvas de nivel con respecto al mdt.....	42
<b>ilustración 3-22:</b> Curvas de nivel creadas a partir del mdt.....	42
<b>ilustración 3-23:</b> Medición del área de estudio.....	43
<b>ilustración 3-24:</b> Herramienta para la generación de ortofoto.....	44

<b>ilustración 4-1:</b> Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.....	45
<b>ilustración 4-2:</b> Ortofoto correspondiente a piamonte.....	46
<b>ilustración 4-3:</b> Posiciones de cámaras y estimadores de error.....	48
<b>ilustración 4-4:</b> Modelo digital de elevaciones.....	49
<b>ilustración 4-5:</b> Area tomada en cuenta para obtención de medidas de terreno.....	54
<b>ilustración 4-6:</b> Perfil del terreno real.....	55
<b>Ilustración 4-7:</b> Modelo digital de terreno "piamonte".....	56

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Tipos de levantamientos fotogramétricos.....	11
<b>tabla 2-2:</b> Parámetros de las cámaras .....	17
<b>tabla 2-3:</b> Aspectos geométricos de la fotografía aérea .....	18
<b>tabla 2-4:</b> Secuencia para calibración de cámara .....	19
<b>tabla 2-5:</b> Etapas en el procesamiento de datos.....	22
<b>tabla 2-6:</b> Métodos de orientación de imágenes.....	23
<b>tabla 4-1:</b> Especificaciones de la cámara fc310s.....	47
<b>tabla 4-3:</b> Errores medios de las posiciones de cámaras. ....	48
<b>tabla 4-4:</b> Parámetros generales de cámara. ....	50
<b>tabla 4-5:</b> Parámetros correspondientes a la nube de puntos.....	50
<b>tabla 4-6:</b> Parámetros de orientación.....	51
<b>tabla 4-7:</b> Parámetros de optimización.....	51
<b>tabla 4-8:</b> Mapas de profundidad .....	51
<b>tabla 4-9:</b> Parámetros de obtención de mapas de profundidad.....	52
<b>tabla 4-10:</b> Nube de puntos densa .....	52
<b>tabla 4-11:</b> Parámetros de obtención de mapas de profundidad.....	52
<b>tabla 4-12:</b> Parámetros de generación de la nube densa.....	53
<b>tabla 4-13:</b> Modelo digital de elevaciones .....	53
<b>tabla 4-14:</b> Parámetros de reconstrucción .....	53
<b>tabla 4-15:</b> Datos generales acerca del software utilizado para procesamiento de datos.....	53
<b>tabla 4-16:</b> Datos correspondientes al ortomosaico .....	53
<b>tabla 4-17:</b> Parámetros de reconstrucción .....	54
<b>tabla 4-18:</b> Medidas totales del área de Piamonte.....	55

## **INDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXO 1: CONVERSATORIO CON LA COMUNIDAD DE PIAMONTE.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO 2: ÁREA DE ESTUDIO CORRESPONDIENTE A PIAMONTE.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO 3: ADECUACIÓN DEL VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO.....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO 4: PLANIFICACIÓN DE VUELO CON MAP PILOT .....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO 5: TOMA DE DATOS MEDIANTE MAP PILOT .....</b>	<b>81</b>

## RESUMEN

El proceso de levantamiento de información espacial de la zona de estudio ubicada entre San Juan Bosco y Limón Indaza ha presentado un desafío significativo debido a su exuberante vegetación, topografía variada y la presencia de fauna salvaje, por ende, la toma de datos ha requerido de tiempo y recursos considerables para que la información sea la correcta y precisa, por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue desarrollar el mapeo fotogramétrico del área de Piamonte para el levantamiento topográfico mediante el uso de vehículo aéreo no tripulado (UAV). La metodología se realizó de manera aplicada, con el propósito de alcanzar los objetivos planteados, se han definido tres fases distintas, que comprenden la fase de trabajo preliminar donde se realizó una búsqueda bibliográfica acerca de la fotogrametría, prácticas de vuelo y la identificación de la zona de estudio, fase de Campo donde se realizaron vuelos planificados y de reconocimiento, utilizando software móvil para la toma de datos correctos y por último la fase de escritorio, en esta parte se realizó el procesamiento de datos para lo cual usamos software de procesamiento de información fotogramétrica. Mediante esta metodología se ha logrado determinar un modelo digital de tipo ráster tras obtener un conjunto de datos para la distribución espacial de la zona de Piamonte, donde no se contaba con datos topográficos previos, un área que es muy extensa, ideal para este tipo de levantamiento de información topográfica también se logró obtener las curvas de nivel que son de vital importancia para conocer el relieve del lugar de manera efectiva. Se concluye que en este trabajo se ha determinado diferentes parámetros que han sido analizados con la fotogrametría, tales como: medidas del terreno, curvas de nivel, modelo digital del terreno y la ortofoto por lo cual fue importante determinar las condiciones generales del terreno.

**Palabras clave:** < VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) >, <FOTOGRAMETRÍA>, <MODELO DIGITAL DEL TERRENO >, <SOFTWARE >, <PROCESAMIENTO>.

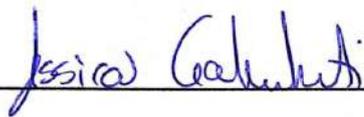
2232-DBRA-UPT-2023



## ABSTRACT

The process of collecting spatial data in the area located between San Juan Bosco and Limón Indanza has presented a significant challenge due to its lush vegetation, varied topography and the presence of wild fauna. Thus, data collection has required considerable time and resources for the information to be correct and accurate. Hence, this research aimed to develop the photogrammetric mapping of Piamonte area due to the topographic survey via drone or unmanned aerial vehicle (UAV). A method of application was applied to achieve the proposed objectives; three different phases have been defined; the preliminary one implies literature research about photogrammetry, drone flying practices and the identification of the area; the field research phase based on planned and aerial surveys were conducted, using mobile software for the correct data collection and finally the office work stage, which includes data processing through a photogrammetric information processing software. Applying that methodology, it has been possible to generate a raster digital model after obtaining a data set for the spatial distribution in Piamonte area, where there was no previous topographic data. It is a very extensive area, ideal for topographic information surveys. In addition, level curves which are vitally important to know the relief of the place effectively were obtained. In conclusion, through photogrammetry have been determined many parameters analyzed, such as: land measurements, level curves, digital terrain model and the orthophoto, so it was important to determine the general conditions of the terrain.

**Keywords:** <UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)>, <PHOTOGRAMMETRY>, <DIGITAL TERRAIN MODEL>, <SOFTWARE>, <PROCESSING>.



---

Lic. Jessica Galimberti

CI. 175646848-2

## INTRODUCCIÓN

La fotogrametría digital empieza desde el año 1990 como inicio de la fotogrametría aérea, para ello se implementaba el uso de cámaras, las cuales eran manipuladas por un individuo que se localizaba al costado de un avión, después el camarógrafo operaba desde el interior del vehículo aéreo; como parte de la evolución de los dispositivos de captura de imágenes, se pasó de monocámaras a multicámaras y escanners fotogramétricos para llegar a con la tecnología de la Fotogrametría inteligente que implementa el uso de drones o vehículos aéreo no tripulados conocidos por sus siglas en inglés UAV (Cheli, 2011, pp. 36-42).

Actualmente, los UAV son inspeccionadas por pilotos en tierra o de forma independiente siguiendo una planificación preprogramada lo que demanda de un control, una base en tierra, y de un guía que cumpla un protocolo de vuelo. Debido a la característica mencionada los drones pueden ser controlados para diversas tareas, sin arriesgar vidas humanas y empleando menos energía que los aviones.

Las aplicaciones dependen del tipo de accesorio que incorpore o transporte el dron. Existen accesorio como cámaras digitales, multiespectrales, térmicas, escáner LiDAR entre otros. Una aplicación es la toma de fotografías aéreas georeferenciadas que después de un proceso, me permite obtener la información espacial del área de estudio a través de modelos digital de terreno (MDT), topografía y ortofotos. Con estos resultados, se presenta mapas detallados para un mayor conocimiento del terreno sin la necesidad de recorrer el área de estudio.

El UAV es ideal para lugares de dificultoso acceso, obviando el ingreso a zonas dificultosas por su pendiente, flora y fauna. La zona de estudio ubicada cerca del cantón San Juan Bosco, parroquia Pan de azúcar, comunidad Piamonte al estar en el oriente ecuatoriano, presenta dificultada de acceso, exuberante vegetación y una fauna salvaje. Por lo expuesto anteriormente, los drones son una opción factible para el mapeo fotogramétrico del área estudio, como se presenta en este trabajo de integración curricular.

## **CAPITULO I**

### **1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

El proceso de levantamiento de información espacial de una zona determinada se encuentra influenciado por diversos factores de relevancia. Entre estos factores destacan la extensión del área de estudio, la presencia de densa vegetación, el acceso dificultoso y otras condiciones particulares. De manera específica, la zona de estudio ubicada entre San Juan Bosco y Limón Indaza presenta un desafío significativo debido a su exuberante vegetación, topografía variada y la presencia de fauna salvaje.

La extensa área geográfica para investigar demanda una meticulosa cobertura de datos topográficos, lo que requiere de tiempo y recursos considerables para llevar a cabo un levantamiento completo y preciso. A ello se añade la complicación que representa la densa vegetación presente en la zona, la cual puede obstruir la visibilidad y dificultar el acceso a puntos de interés, obstaculizando la toma adecuada de datos.

El acceso difícil y restringido debido a la complejidad del terreno y la presencia de vegetación implica riesgos considerables para el personal y los equipos involucrados en el levantamiento topográfico. Los trabajadores enfrentan posibles situaciones de peligro, como accidentes y dificultades para evacuar en caso de emergencia. Asimismo, los equipos empleados para llevar a cabo el levantamiento podrían sufrir daños o deterioro debido a las condiciones extremas de la zona.

#### **1.2 Antecedentes**

La Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Sede Morona Santiago, en su compromiso con el avance científico y como parte de su programa de Integración de Capacidades Investigativas y Docencia para la institución, se encuentra actualmente ejecutando un proyecto de investigación titulado "Caracterización y Gestión de los Sistemas Biofísicos de las Comunidades Warints y Yawi para la Generación de Cadenas Productivas Resilientes para el Desarrollo Sostenible."

Dentro del marco de este proyecto, y como parte del componente "Análisis del Potencial de los Recursos y Procesos Geológicos Mineros Proyecto al Desarrollo Sostenible", surge la necesidad de evaluar el potencial mineral de la zona de estudio. Con este propósito, se presenta el siguiente trabajo de integración curricular para adquirir, en primera instancia, la información espacial detallada de la región.

### **1.3 Justificación**

Con base en lo expuesto previamente, el propósito fundamental de la presente investigación radica en abordar la problemática asociada a las dificultades inherentes al levantamiento de información espacial en la zona de estudio, mediante la utilización de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) y programas de postproceso para la visualización y análisis de dichos datos. Esta información resulta de gran relevancia para la investigación de recursos minerales en una región desprovista de datos cartográficos detallados, como es el caso de Piamonte.

En consecuencia, se plantea como alternativa el empleo de la fotogrametría mediante el uso de drones, debido a que representa la opción más eficiente y adecuada para adquirir los datos requeridos en extensas áreas de terrenos irregulares. La fotogrametría aérea realizada con UAV permite capturar imágenes de alta resolución y cobertura, facilitando la generación de modelos digitales de elevación y ortofotos que proporcionan información topográfica detallada y precisa.

### **1.4 Objetivos**

#### ***1.4.1 Objetivo General***

Desarrollar el Mapeo Fotogramétrico del área de Piamonte para el levantamiento topográfico mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado.

#### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

Investigar sobre los fundamentos de la fotogrametría.

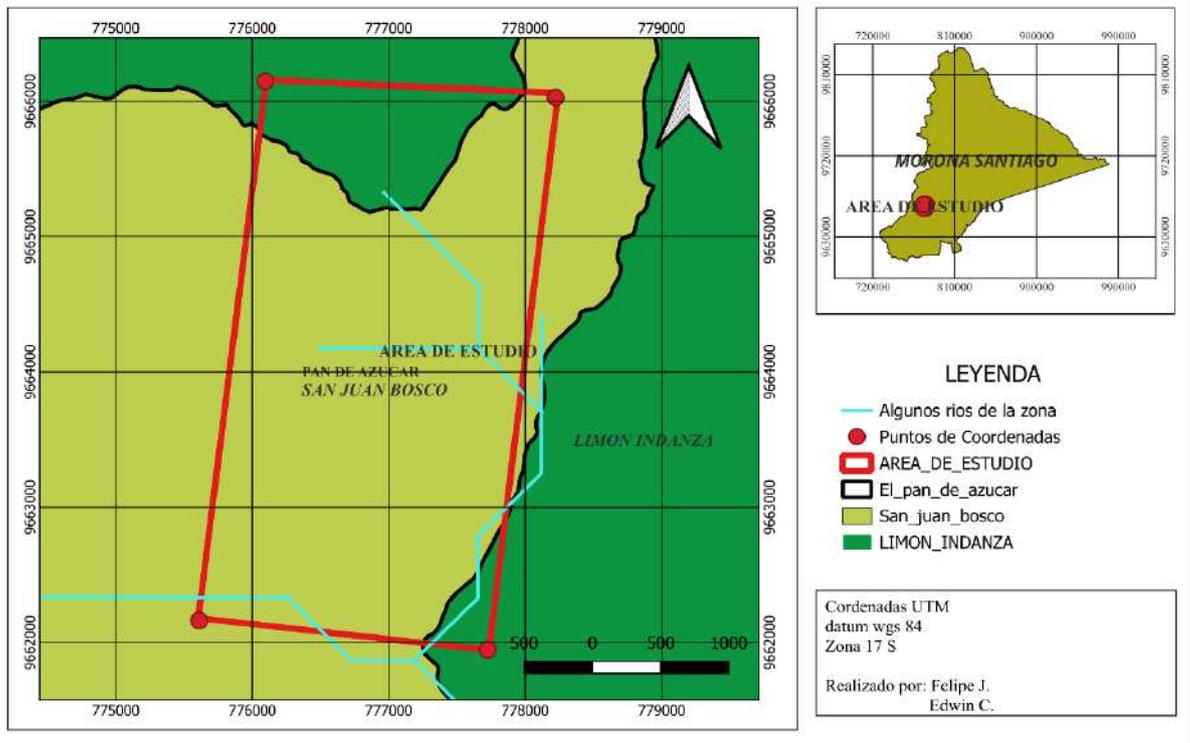
Definir los parámetros óptimos para realizar el Mapeo del área de estudio.

Realizar el postproceso de las imágenes para la obtención del modelo digital del terreno.

#### ***1.4.3 Ubicación y acceso***

La zona de estudio pertenece a la comunidad de Piamonte y se encuentra entre la parroquia Pan de azúcar y en el cantón San Juan Bosco de la provincia de Morona Santiago. Para acceder al lugar se traslada por vía terrestre en una vía de primer orden hasta la entrada de la comunidad, desde ese punto empieza el área que se tomará en cuenta para el Mapeo fotogramétrico, para llegar a Piamonte se debe trasladar mediante un vehículo particular con una duración de 10 min en una vía de 2 orden, el acceso hacia otras partes estratégicas para la toma de datos es mediante caminatas.

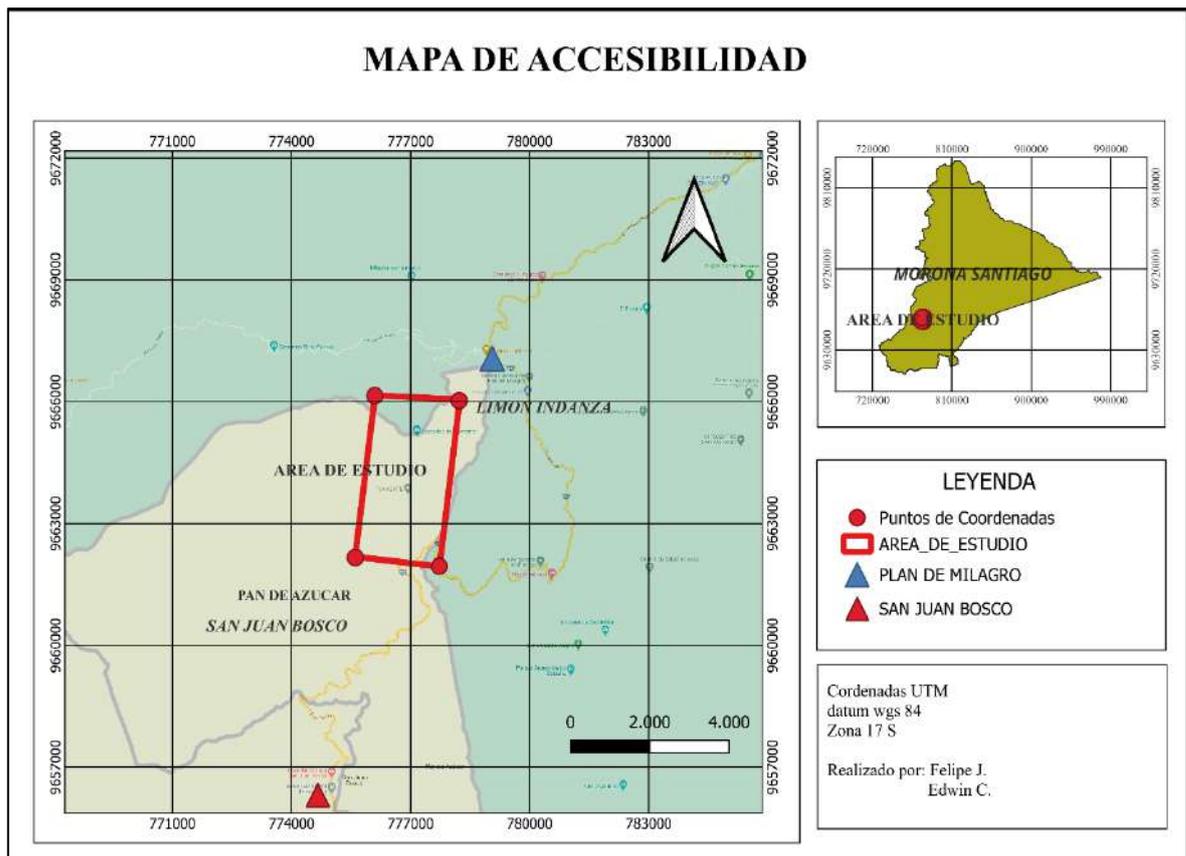
## MAPA DE UBICACIÓN



**Ilustración 1-1:** Mapa de ubicación del lugar de estudio

Fuente: Software QGIS, 2023

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023



**Ilustración 1-2:** Mapa de accesibilidad al lugar de estudio

Fuente: Software QGIS, 2023

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

#### **1.4.4 Clima y temperatura**

El clima y temperatura en el Ecuador es variable, dependiendo a la región que corresponda, en la Amazonía se representa por una media de 3300 mm en precipitaciones de manera anual y una temperatura de 23 ° C como promedio general. Específicamente en Piamonte, ubicado en San Juan Bosco el tipo de clima presente se presenta de dos tipos, los cuales son; Ecuatorial Meso térmico Semi Húmedo y el Tropical Húmedo. Las temperaturas medias anuales varían entre los 8°C y los 22°C, con precipitaciones medias anuales se encuentran entre los 2.000 mm y 3.000 mm (GAD Municipal del cantón San Juan Bosco, 2015, p. 24)

#### **1.4.5 Planteamiento del problema.**

El proceso de levantamiento de una zona determinada conlleva varios factores como la extensión, la vegetación, el acceso, entre otros. Para realizar el levantamiento del área de Piamonte no se puede emplear métodos tradicionales, dado que al hacerlo sería un proceso de empleo de mucho tiempo, traslado en zonas que son de difícil acceso, exponiendo a peligros a los trabajadores y los equipos topográficos.

Una buena opción es la fotogrametría empleada mediante el uso del UAV, siendo la más óptima para obtener los datos que se necesitan en este tipo de terrenos irregulares, pero también conlleva ciertos percances al momento de realizar la toma de datos, el inicio y continuidad depende mucho del clima, el viento, la iluminación, la vegetación, incluso la presencia de especies voladoras, es decir que existirán días que no se podrá realizar el levantamiento y en otras ocasiones cuando se encuentre en etapa de vuelo puede llegar a zonas que por su vegetación influya en la señal satelital obteniendo imágenes con distorsión, hay que tomar en cuenta que para este tipo de trabajos la persona encargada siempre debe estar en un punto estratégico ya que se corre el riesgo que el dron se pierda de vista.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Fotogrametría

La fotogrametría es considerada una técnica que permite realizar mediciones 3D a partir de fotografías, utilizada para crear mapas y su respectivo levantamiento usando modelos digitales del terreno. En la actualidad se ha mejorado de manera significativa con nuevos algoritmos de reconocimiento de patrones de imágenes digitales, es por esta razón que se ha convertido en una potencia para la obtención de modelos tridimensionales (Caro, 2012, p. 3).

##### 2.1.1 *Fotogrametría terrestre*

Se aplica en la arquitectura y la arqueología basado en la toma de fotografías desde la superficie terrestre (Claros Zelaya et al., 2016, p. 11)

##### 2.1.2 *Fotogrametría aérea*

Se utiliza especialmente equipos aéreos que emplean cámaras que se encargan de capturar la corteza terrestre de manera perpendicular (Claros Zelaya et al., 2016, p. 11)

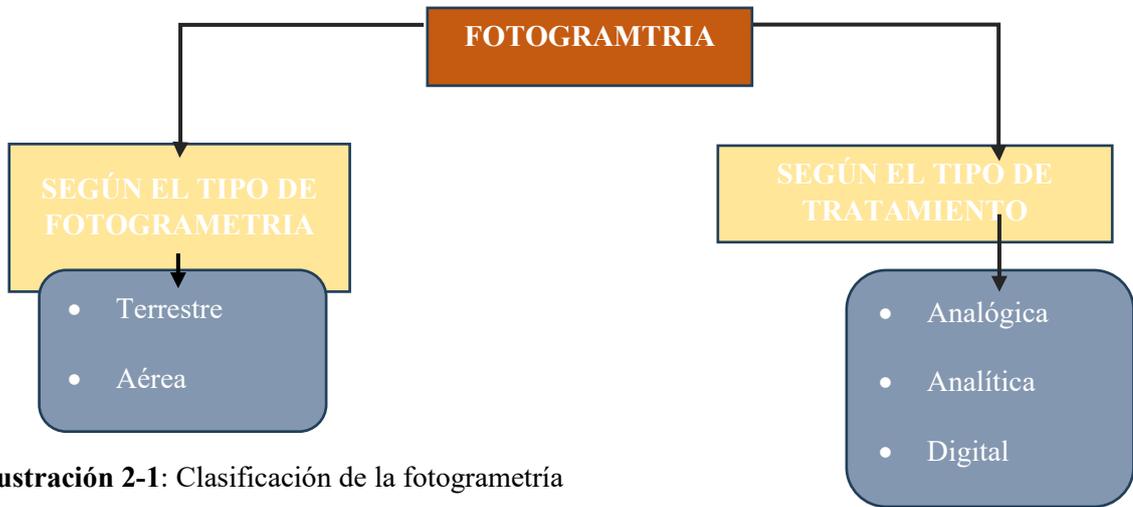
##### 2.1.3 *Ciclos de la fotogrametría*

Con la fotogrametría plana su inicio se da con el invento de la fotografía a finales de 1830, luego se han dado eventos importantes como es la fotogrametría terrestre que se empieza a desarrollar en 1870, luego evoluciona la fotogrametría plana hacia la analógica con el invento del aeroplano, el estereocomparador de Pulfrich en 1900, luego como implementación se desarrolla la fotogrametría aérea donde se obtienen las primeras ortofotos, para la continuidad se tiene el primer ordenador en 1941 dando paso a la fotogrametría digital (Cheli, 2011, p. 36-42).

##### 2.1.4 *Aplicación de la Fotogrametría*

En el campo de la cartografía la fotogrametría ha resultado una herramienta muy importante, ya que se ve la necesidad de tener planos o mapas para diferentes ámbitos, tales como civiles, administrativos y privados, así como también en el campo militar. En la topografía ha llevado a tener resultados eficaces, se puede decir que conlleva varias disciplinas con respecto a las ciencias de la Tierra y Geodesia, se aplica en diferentes ingenierías, arqueología, hidráulica, arquitectura, entre otros. Esta técnica también se utiliza en diferentes fenómenos dinámicos que presentan transformaciones al pasar el tiempo o espacio, estudios de corrientes sólidas o líquidas, deformaciones, en este campo entran los estudios de movimiento satelital y astronómico, aunque

no es común también se aplica en el campo de la medicina legal y criminalística (Bustillos Cuellar, 2014, pp. 34-55).



**Ilustración 2-1:** Clasificación de la fotogrametría

**Fuente:** Cárdenas, 2018

**Realizado por:** Cunalata, E.; Jara, F.2023.

## 2.2 Aspectos Generales

La fotogrametría es una herramienta que permite adquirir información topográfica de un área de interés para diferentes fines, mediante la fotogrametría digital o inteligente (aérea) a la cual pertenece el uso de los drones, se lleva a cabo la obtención de datos topográficos de alta precisión en cuanto al relieve de la zona de estudio, para que dichos datos sean procesados permitiendo tener imágenes de buena calidad y georreferenciadas en 3D, dando como resultado un modelo digital de un terreno determinado (Del Luis Ruiz, 2010, p. 24).

Se requiere realizar un Mapeo fotogramétrico de Piamonte, pero se trata de una zona de difícil acceso y tomando en cuenta que se encuentra en una parte altamente vegetativa y por la gran extensión, se ha investigado el proceso para realizar este Mapeo mediante el uso de un dron, esto mediante la realización de los procesos que se necesitan tales como la planificación, georreferenciación, vuelo y procesamiento de datos (Del Luis Ruiz, 2010, p. 24).

### 2.2.1 Diferencia entre levantamiento tradicional y el fotogramétrico

Por un largo periodo de tiempo los levantamientos de terreno han representado una proceso extenso y riguroso, con la aplicación de nuevas tecnologías se ha llegado a la utilización de la fotogrametría como una herramienta para la topografía (Hobbi Tuxtla, 2023, párr. 1).

- El tiempo de ejecución para el levantamiento: el levantamiento con fotogrametría se realiza en poco tiempo, dependiendo de área, lo que con una estación total se demora días con el uso del UAV este proceso podría durar unas cuantas horas.
- Diferencia en calidad de imágenes y detalles: La calidad de las imágenes tiene una notoria diferencia a la adquirida con una estación total, es decir que mediante fotogrametría las imágenes tienen una mejor resolución y es más detallada.
- Puntos obtenidos en el levantamiento: Mediante fotogrametría se puede obtener una variedad y un número alto de puntos referenciales, mientras que con una estación total estos puntos serán limitados dados por la influencia del tiempo y la extensión del terreno que se tenga.
- La seguridad: al trasladar los equipos convencionales y personas para realizar el levantamiento surgen ciertos peligros tanto para los equipos como para el personal, aun más si se trata de lugares boscosos o de alta pendiente, con la fotogrametría se puede evitar largos traslados.

## ***2.2.2 Ventajas y desventajas de la fotogrametría***

### *2.2.2.1 Principales ventajas del uso de los Drones en topografía*

Una de las ventajas principales es el tema de la seguridad, el personal no requiere transportar los equipos a lugares peligrosos, por los riesgos disminuyen. Permite la obtención de una base de datos para tener conocimiento de un lugar ya sea este una zona inaccesible o con mucha vegetación. Entre las ventajas se encuentra la adquisición de una gran cantidad de puntos para crear planimetrías, el levantamiento con los UAV con cámaras de última generación aporta mucha información gráfica y completa, generando una alta resolución y realismo de la superficie y finalmente la reducción de costos, al disminuir el tiempo de empleo para un levantamiento también se reducen los costos, tanto en el equipo como también en mano de obra (del Río Santana et al., 2020, pp. 13-15).

### *2.2.2.2 Desventajas de la fotogrametría con drones*

El tiempo de vuelo debe ser acorde a la duración de la batería, ya que por esta razón es limitado, para poder realizar levantamientos en zonas extensas se debe tener provisionamiento de baterías cargadas, el inconveniente está en que para cambiar de batería se debe interrumpir el levantamiento para luego continuar. La altura también juega un papel importante ya que a mayor altura se puede tener imágenes en corto tiempo, pero la resolución y calidad puede disminuir y al aplicar una altura mínima se requieren demasiadas imágenes por lo que pueden superponerse unas encima de otras generando una deformación en las mismas (Topoingra, 2023, párr. 1).

Entre otras desventajas se pueden mencionar:

- El estado climatológico del lugar, es decir esta influenciado por la presencia de lluvia, vientos, luminosidad.
- La presencia de especies voladoras, ya que existen aves que son muy territoriales implicando un peligro para el Dron.
- La conexión con el GNSS, para poder iniciar se debe tener una correcta conexión la misma que puede estar afectada por el clima.
- Nube de puntos no precisa, esto dado que existen lugares donde existe mucha vegetación, interfiriendo con la toma precisa.
- Una de las mayores desventajas es que suelen existir deformaciones en los bordes de las imágenes.
- El dron debe estar dentro de un radio determinado que generalmente es de 500m con respecto al punto de partida.
- El peso para un dron se debe encontrar entre 2 y 2.5 kg.

También se podría tener como desventaja el costo de los equipos, aunque estos varían de acuerdo con el tipo de herramientas que se quieran aplicar.

### 2.2.2.3 Levantamiento terrestre, aéreos y por satélite

**Tabla 2-1:** Tipos de levantamientos fotogramétricos

<b>Levantamiento aéreo</b>	Las mediciones para lograr los levantamientos aéreos generalmente utilizan equipos que cumplan con dicha función como la fotogrametría que se lo realiza con equipos UAV equipados con cámaras y el sistema global de posicionamiento.
<b>Levantamiento por satélites</b>	Estos levantamientos se lo realizan por medio de receptores GPS o de imágenes satelitales para realizar Mapas u observaciones según la utilidad deseada.

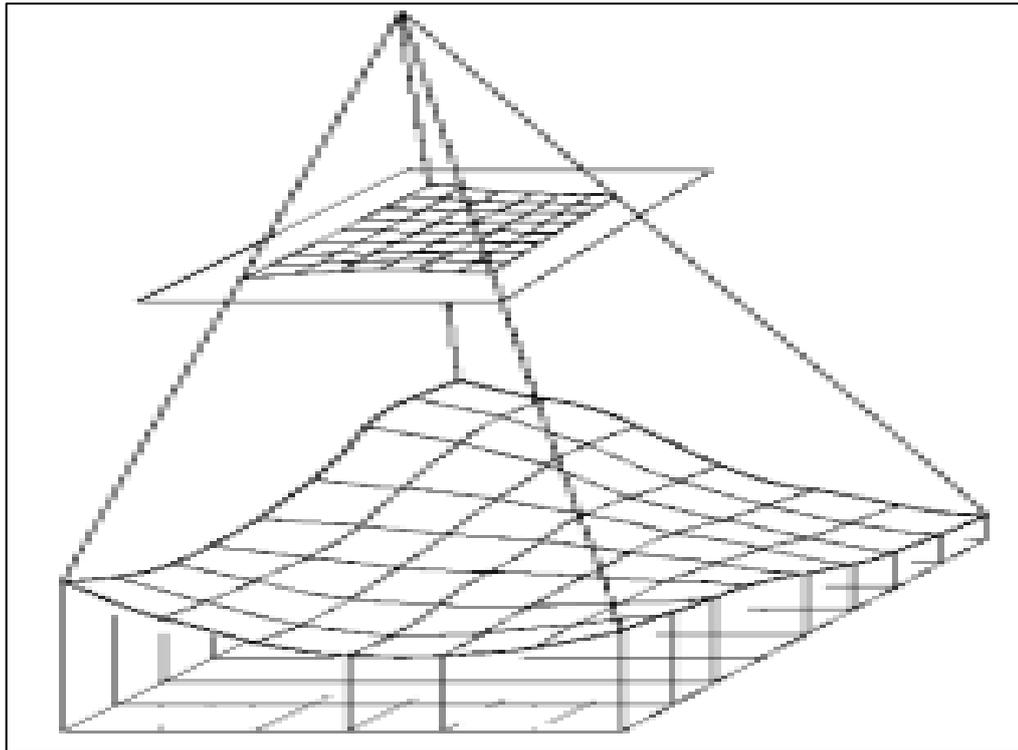
Fuente: Claros Zelaya et al., 2016

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

## 2.3 Fundamentos de la Fotogrametría

### 2.3.1 Proyección central y ortogonal

Del terreno u objeto que se desea analizar se requiere obtener un plano, en otras palabras, una proyección ortogonal, sin embargo, la fotografía es una proyección central, entonces, la fotogrametría consiste en transformar esta proyección central en una proyección ortogonal en esta segunda las posiciones planimétricas de los puntos de imagen son las mismas que los de las que corresponden al terreno original por su proyección perpendicular al plano referencial (Bustillos Cuellar , 2014, pp. 34-55).



**Ilustración 2-2:** Proyección central y proyección ortogonal

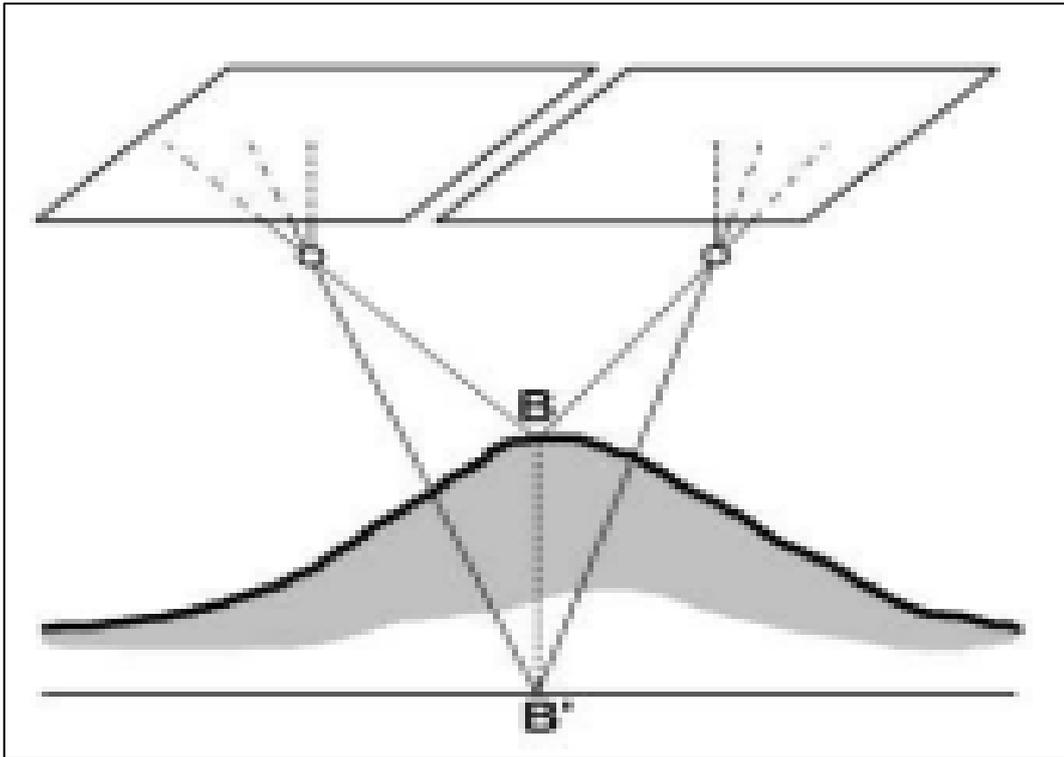
Fuente: Bustillos Cuellar , 2014

En la figura anterior se puede observar que la proyección central todos los rayos de proyectivos pasan por la mitad de la proyección lo que es muy diferente a una proyección ortogonal.

### **2.3.2 *Visión estereoscópica***

Este término es una de las propiedades que posee nuestra vista, permitiendo la determinación de posiciones relativas aproximadas de los objetos que se visualizan, esto se da a través de la combinación de imágenes en diferentes posiciones.

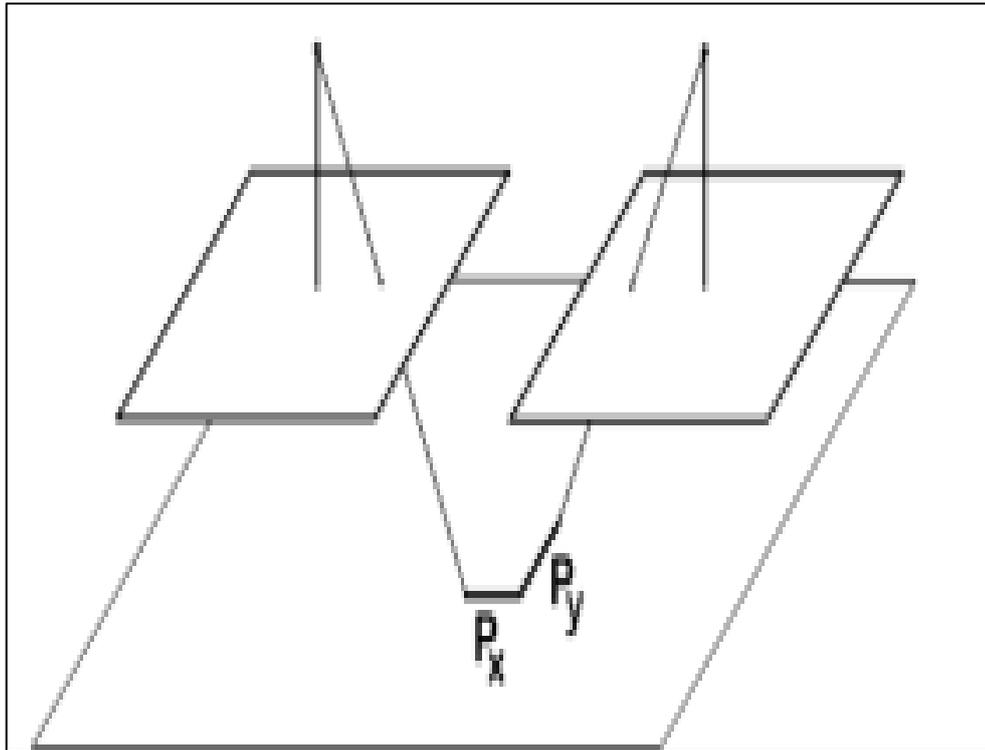
Si se visualiza dos fotografías de una misma área, pero capturadas de diferentes puntos, se puede obtener una imagen tridimensional de la zona, siempre y cuando se hayan situado en posiciones geométricas similares a las que ocupan los negativos al instante de la captura, para facilitar esta visión se usan luz polarizada, estereoscopios o anaglifos (Bustillos Cuellar , 2014, pp. 34-55).



**Ilustración 2-3:** Modelo Estereoscópico

**Fuente:** Bustillos Cuellar , 2014

Durante un vuelo fotogramétrico, donde se toma las imágenes del terreno sobrevolado a medida que el Dron se desplaza, se denomina X al paralelo a la dirección de vuelo y Y al eje perpendicular. La paralaje en Y impide la visión estereoscópica salvo que se elimine situando las fotografías de manera adecuada, mientras que en X permitirá obtener las altitudes de los puntos (Bustillos Cuellar , 2014, pp. 55).



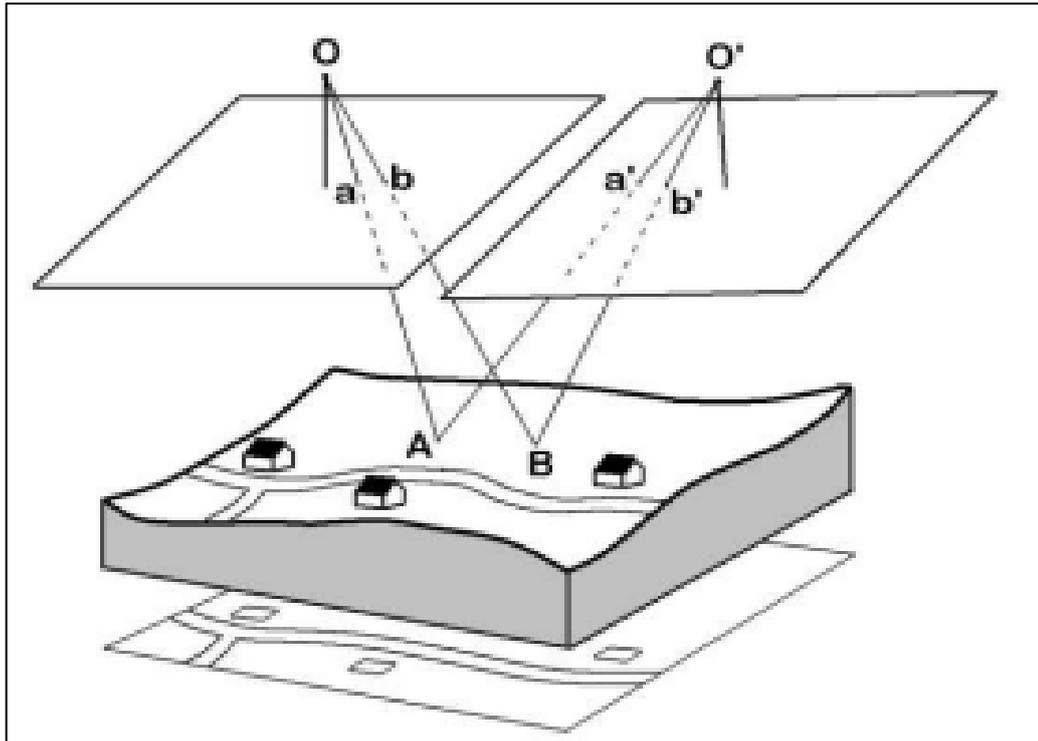
**Ilustración 2-4:** Paralajes de un plano

Fuente: Bustillos Cuellar , 2014

### 2.3.3 *Método general de la fotogrametría*

Los problemas dados por una proyección central se solucionan conociendo la posición de un punto central de la proyección del objetivo y del plano de proyección (negativo) durante la toma, se puede reconstruir el haz de los rayos proyectivos uniendo el punto central con los diferentes puntos de la fotografía, sin embargo, no es posible saber la posición de los puntos originales (Bustillos Cuellar , 2014, pp. 34-55).

Lo anteriormente mencionado es un problema que tiene solución a través del empleo de fotogramas captados de distintos puntos pero que cubre la zona común. Situando de forma correcta los fotogramas que componen en totalidad, los rayos proyectivos se cortaran en una parte del espacio, justo donde se formara una imagen, aquellos rayos proyectivos se crean uniendo cada centro de influencia con el punto equivalente del fotograma respectivo (Bustillos Cuellar , 2014, pp. 34-55).



**Ilustración 2-5:** Ejemplo de modelo estereoscópico

Fuente: Bustillos Cuellar , 2014

### 2.3.4 *Fotografías y fotogramas*

Se emplan las siguientes definiciones geométricas:

#### 2.3.4.1 *Punto principal*

Se trata de la proyección ortogonal del medio de proyección sobre el plano proyectivo o negativo, este punto ocupará la posición central en la fotografía o imagen (Bustillos Cuellar , 2014, pp. 34-55).

#### 2.3.4.2 *Punto nadiral*

Es la intersección de la recta ordenada (vertical) que va por el centro de proyección en conjunto con el plano de proyección, lo que se refiere a punto nadiral corresponde a un punto de fuga de las rectas verticales en una proyección (Bustillos Cuellar , 2014, pp. 34-55).

#### 2.3.4.3 *Recta principal*

Es aquella recta que acopla el punto transcendental y el nadiral (Bustillos Cuellar , 2014, pp. 34-55).

#### 2.3.4.4 Distancia principal

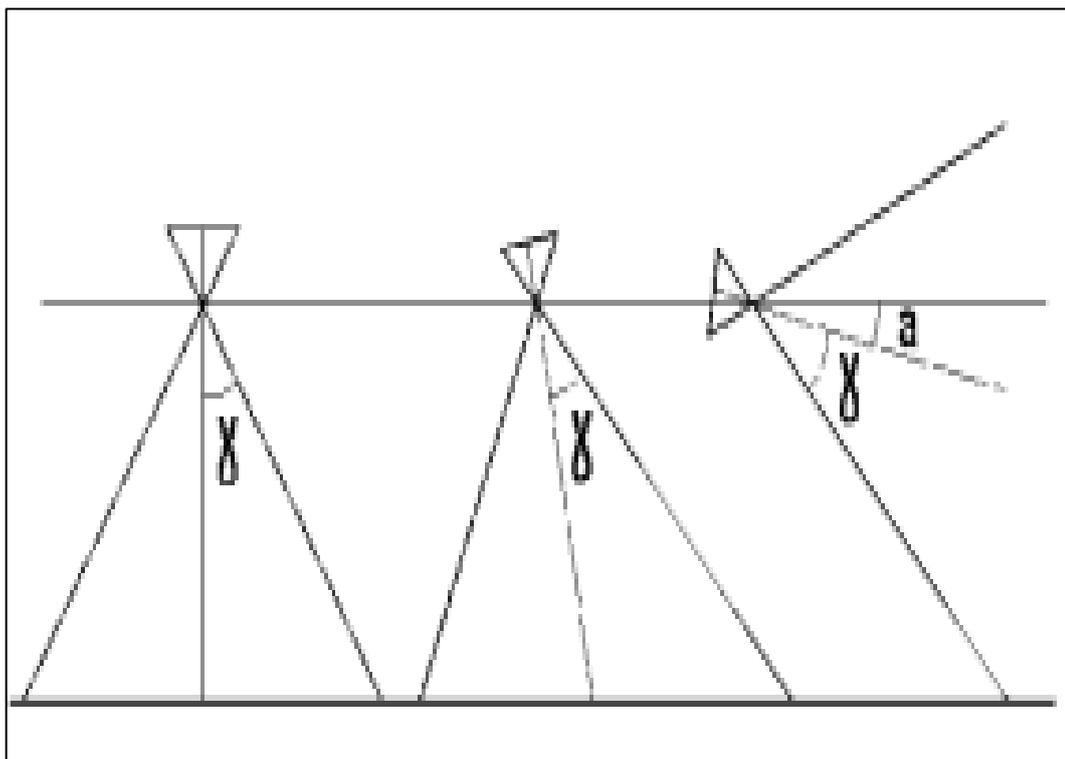
Es la distancia que converge el centro de proyección y el punto principal. Es similar a la distancia focal de la cámara (Bustillos Cuellar , 2014, pp. 34-55).

#### 2.3.4.5 Angulo de inclinación

En las fotografías aéreas, el ángulo que conforma la dirección de la captura con la vertical (Bustillos Cuellar , 2014, pp. 34-55).

Basándose con el ángulo de inclinación se presentan tres tipologías de fotografías aéreas:

- Tipo vertical: Presentan una inclinación respecto a la vertical menor que  $3^\circ$ .
- Tipo oblicua: Inclinación mayor que  $3^\circ$  pero sin que en la fotografía aparezca el horizonte.
- Tipo panorámica: Fotografía en la que aparece el horizonte ( $\alpha < \gamma$ ).



**Ilustración 2-6:** Tipos de fotografías aéreas según la inclinación de toma

Fuente: Bustillos Cuellar , 2014

## 2.4 Formación de imágenes y geometría

### 2.4.1 Cámaras aéreas

Para cumplir con los estándares de la fotogrametría la cámara tiene la finalidad de estar conformada por un sistema óptico de forma centrada en lentes, siendo la misma una convergencia que une rayos que implican en el plano focal.

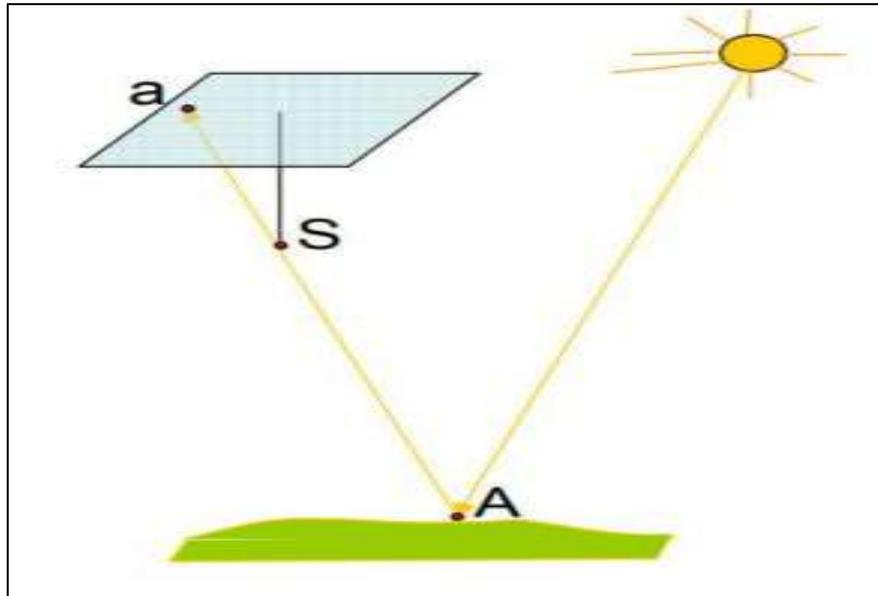
Tabla 2-2: Parámetros de las cámaras

<b>Parámetros importantes</b>	<b>Conceptos</b>
<b>Abertura útil</b>	El diámetro en mm del haz de rayos que inciden y son paralelos al eje óptico del objetivo.
<b>Profundidad de foco</b>	La separación de las posiciones extremas del plano focal.
<b>Profundidad de campo</b>	Es aquella separación entre los planos extremos en profundidad en el campo para que la imagen sea nítida.
<b>Ángulo de campo</b>	Las líneas que adjuntan el centro visual con dos extremos del diámetro del diafragma.
<b>Luminosidad</b>	Se trata de la capacidad que tiene el objetivo de recoger luz.
<b>Geometría de las fotografías</b>	Hace referencia al ángulo de toma oblicua o vertical generando una geometría adecuada dependiendo de la forma que se emplee la captura o toma.

Fuente: Cepeda, 2017, p. 11

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

### 2.4.2 Proceso de toma fotográfica



**Ilustración 2-7:** Método general de fotogrametría

Fuente: Gómez, 2008

El haz correspondiente queda asentado en la imagen fotográfica: en este sumario, cada rayo de luz originario del objeto A cruza el lente de la cámara que es el punto de vista, S y conforma una imagen o fotografía ya con la exploración del haz sobre la película o cámara de tipología Charged Coupled Decive (CCD) que están impregnados en el plano focal (a) (Cárdenas, 2018, p. 40).

**Tabla 2-3:** Aspectos geométricos de la fotografía aérea

Certificado de calibración de la cámara: nos dará los parámetros de orientación interna
Escala de la fotografía.
Recubrimientos longitudinales y laterales.
Seguridad de un recubrimiento total en toda la zona
Arrastre de la imagen sobre la fotografía
Horas útiles de tomas fotográficas.
La calidad de la imagen.
La homogeneidad de tonalidad.
La ausencia de nubes.
Longitud e intensidad de las sombras.

Fuente: Cárdenas, 2018

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

### 2.4.3 Calibración de cámara

Se describe en tres pasos:

**Tabla 2-4:** Secuencia para calibración de cámara



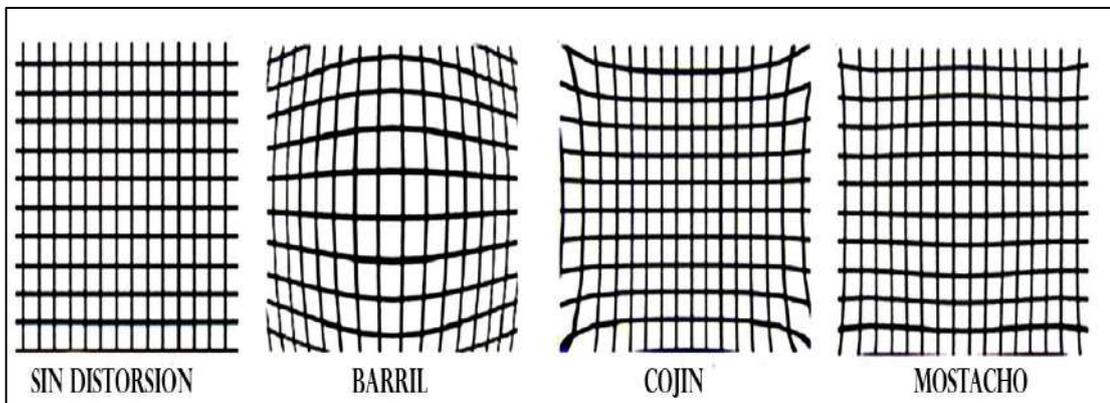
**Fuente:** Gómez, 2008

**Realizado por:** Cunalata, E; Jara, F., 2023

También se toman en cuenta los parámetros intrínsecos desconocidos que dan origen a una cámara no calibrada:

- Como primer punto los parámetros intrínsecos distinguidos por dar principio a una cámara calibrada.
- Po otra parte los parámetros intrínsecos que se conocen porque no sufren cambios que puedan producir las cámaras métricas.

Conociendo y considerando que las cámaras de UAS y drones son por lo general comerciales y no métricas, es de mayor importancia saber los parámetros ópticos calibrados para así permitimos controlar y generar productos fotogramétricos de buena calidad (Alvarez, 2019, párr. 1).



**Ilustración 2-8:** Diferentes tipos de distorsión de imágenes

**Fuente:** Alvarez, 2019

Para la determinación de los parámetros de cámara se toma en cuenta lo siguiente:

- La distancia principal
- El punto principal
- La distorsión radial
- La tangencial del lente

#### **2.4.4 Adquisición de imágenes**

La calidad de los datos iniciales influye directamente en la calidad de los resultados que son las imágenes, para ello se toma en cuenta:

- Resolución y escala
- Nitidez
- Profundidad de campo
- Calidad radiométrica

Este último es importante si se requiere obtener resultados con texturas fotográficas. La iluminación es primordial y emplear una ISO baja para evitar sobreexposición, hay que destacar que es posible emplear opciones para crear imágenes HDR que consiste en tomar varias imágenes de la misma escena con diferentes exposiciones para que cualquier zona del objeto salga correctamente expuesta en alguna de las imágenes para combinar y formar una imagen general con un rango dinámico mayor, estas imágenes se utilizan para las ortofotos (Santana Quintero, 2013, p. 24).

#### **2.5 Planificación de vuelo**

Es el inicio para el desarrollo de un levantamiento fotogramétrico, hace referencia a parámetros previos al vuelo que sirven para la organización de las operaciones para alcanzar el objetivo propuesto con las condiciones que se han establecido.

La planificación de vuelo tiene la finalidad de:

- Sobrevolar el terreno a una altura que debe conocerse en función de la escala óptima y de la distancia primordial de la cámara.
- Es fundamental que cada fotograma tenga una zona común con las adyacente para que las imágenes cubran un área de terreno determinada.

### ***2.5.1 Modo de pilotaje de una aeronave no tripulada***

El modo de pilotaje depende de los modelos y marcas, se puede decir que influye en los precios ya que al tener más capacidades y mayor cantidad de características se trataría de un software complejo, se pueden considerar un modo autónomo, manual y asistido (Bautista, 2021, p. 16).

#### ***2.5.1.1 Modo Autónomo***

Para que el dispositivo no se estrelle y pueda reconocer obstáculos se debe realizar un plan de vuelo con una programación previa requiriendo exactitud al momento de escoger los puntos importantes (Bautista, 2021, p. 17)

#### ***2.5.1.2 Modo manual***

Para este modo se necesita que el dispositivo se encuentre a la vista del piloto o al menos que se tenga conocimiento de su ubicación y la situación que se presente para tomar decisiones (Bautista, 2021, p. 17).

#### ***2.5.1.3 Modo asistido***

El piloto no interfiere en su totalidad al instante del aterrizaje o despegue del equipo, esto se puede realizar gracias a la ayuda de la programación instalada y de un control remoto (Bautista, 2021, p. 18).

## **2.6 Procesamiento de datos**

### ***2.6.1 Software para Fotogrametría***

El escaneo mediante fotogrametría se lo puede realizar tanto en software pagado como gratuito con la única diferencia que el pagado tiene mejores prestaciones en cuanto funcionalidades, pero ambos cumplen con la finalidad de manejar objetos del mundo real mediante la creación de modelos 3D a partir de fotografías.

Una vez obtenidos todos los datos necesarios, el siguiente paso será el procesamiento de las imágenes y la reconstrucción 3D.

**Tabla 2-5:** Etapas en el procesamiento de datos

PROCESAMIENTO DE DATOS	
<b>Procesamiento de imágenes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formatos de imágenes</li> <li>- Ajustes de brillo y contraste</li> <li>- Pirámides de imagen</li> </ul>
<b>Orientación de imágenes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Marcado de elementos en las imágenes</li> <li>- Identificación de elementos homólogos</li> <li>- Cálculo de valores aproximados para parámetros desconocidos</li> <li>- Ajuste de haces y parámetros de orientación</li> <li>- Eliminación de outliers</li> <li>- Definición del sistema de referencia</li> </ul>
<b>Reconstrucción de objetos 3D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medición de puntos de objeto</li> <li>- Definición de elementos geométricos</li> <li>- Contraseñamiento geométrico</li> </ul>
<b>Productos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gráficos vectoriales 2D/3D</li> <li>- Modelos tridimensionales DEM</li> <li>- Ortofotos</li> <li>- Nubes densas de puntos</li> </ul>

Fuente: Balaguer, M., 2023

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

### 2.6.2 *Procesado de imágenes*

Existen varias operaciones previas que son importantes sobre las imágenes para ajustarlas a un formato o resolución solicitado por el software que se está utilizando o también se implementa para la mejora de la gráfica, estas operaciones son:

- Los cambios de resolución
- Los ajustes de brillo y contraste
- La creación de pirámides de imagen, si así lo requiere el software
- El cambio de formato para acomodarse al formato pedido por el programa

### 2.6.3 Orientación de imágenes

La orientación de imágenes se puede realizar a partir de puntos homólogos marcados y emparejados en las imágenes, lo general aplicado a la orientación de imágenes que en mayoría de los softwares se utiliza es la combinación de procedimientos de orientación relativa de pares de imágenes, esto partiendo de un número mínimo de puntos, resección espacial para orientar una imagen cuando ya se dispone de puntos objeto conocidos, se realiza el ajuste de haces de todo el bloque para ya refinar orientaciones y transformar las coordenadas al sistema objeto (Balaguer, M., 2023, pp- 10-14).

**Tabla 2-6:** Métodos de orientación de imágenes

MÉTODOS DE ORIENTACIÓN DE IMÁGENES	
1 imagen: resección espacial; 3 puntos de apoyo	Para orientar una imagen respecto a otras ya orientadas:
2 imágenes: orientación relativa 6 puntos de referencia comunes	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se realiza la orientación relativa de cada una de las restantes con respecto a la inicial.</li></ul>
2 o más imágenes: resección espacial; orientación relativa; ajuste de haces.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se realiza un ajuste de haces de todo el bloque para refinar la orientación.</li></ul>

Fuente: Balaguer, M., 2023

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

### 2.6.4 Reconstrucción 3D

Cuando ya se encuentren las imágenes orientadas, la obtención de coordenadas 3D de los puntos del objeto se realiza midiendo las coordenadas imagen del punto del objeto en un mínimo de dos imágenes en las que aparezca. A partir de los puntos objeto se pueden definir todos los elementos geométricos necesarios para definir la superficie del objeto: rectas, curvas, planos, superficies curvas<sup>4</sup> Una opción que ofrecen los programas fotogramétricos es la inclusión de “constreñimientos” o condiciones geométricas, es decir, se definen condiciones que han de cumplir los puntos y elementos objeto seleccionados (por ejemplo, “estos puntos son coplanares”, “estas líneas son paralelas”); las coordenadas objeto de estos elementos se recalculan teniendo en cuenta estas condiciones (Balaguer, M., 2023, pp. 10-14).

Se trata de un instrumento que nos permite obtener modelizaciones. Es significativo apreciar la precisión conseguida en las coordenadas objeto calculadas, para certificar que se obtiene el objetivo inicial concreto. Se comparan mediciones sobre el modelo 3D con los valores de referencia previamente conocidos, viendo cuál es la diferencia (Balaguer, M., 2023, pp. 10-14).

### **2.6.5 Productos**

Los productos para el presente trabajo se consiguen a partir de la reconstrucción 3D, los cuales son:

- Archivos vectoriales en 2D y también en 3D, escogiendo las capas o compendios que se quiere contener en ellos.
- Las nubes de puntos se pueden obtener en 3D.
- Modelados en 3D.
- Ortofotos, elaboradas proyectando las representaciones sobre diferentes planos de referencia o sobre superficies del objeto.

## **2.7 Integración con otras tecnologías**

### **2.7.1 Relación de la fotogrametría con LiDAR**

LiDAR se encarga de enviar pulsos de luz láser y a la vez mide el tiempo preciso que estos pulsos tardan en regresar al rebotar en el suelo, midiendo la intensidad de ese reflejo, su transporte se da mediante drones (Wingtra, 2023, párr. 2).

La fotogrametría y LiDAR se pueden utilizar en tareas similares reforzando los resultados, es decir que, si al aplicar fotogrametría existe omisión, el escaneo de LiDAR puede complementar detalladamente lo que se pudo pasar por alto, por lo tanto, si se trabaja de manera combinada se obtienen resultados que por separado no se puede conseguir (PIXAD, 2021, párr. 3).

#### **2.7.1.1 Diferencia entre fotogrametría y LiDAR**

La fotogrametría es afectada por condiciones climáticas, la nubosidad, los cambios de iluminación que en ocasiones interfieren en la recolección de datos, caso contrario con LiDAR que produce su propia luz realizando escaneos, es decir no se ve afectada por los factores antes mencionados.

LiDAR puede penetrar en los espacios entre las piezas de follaje y captar hasta pequeños detalles gracias a su pulso láser, mientras que la fotogrametría depende de las fotos reconstruyendo sólo lo que es visible en la superficie.

La fotogrametría produce varios resultados como mallas, ortofotos, nubes de puntos; tiene distintos grados de precisión y cámaras accesibles, mientras que LiDAR suele ser caro ya que se

utilizan herramientas exclusivas de alto nivel y sólo produce una nube de puntos (PIXAD, 2021, párr. 3).

### **2.7.2 Fotogrametría y teledetección**

La fotogrametría es una técnica por la cual se obtienen y determinan las propiedades geométricas de los objetos a partir de imágenes fotográficas que permite obtener información relevante de numerosos objetos físicos de la superficie terrestre y del medio ambiente, a través de tecnologías de medición y exégesis de imágenes fotográficas y de esquemas de energía electromagnética radiante, por su parte la teledetección consiste en alcanzar información de los objetos sin estar en empalme directo con ellos, uno de los usos más habituales es la producción de mapas topográficos y es una forma de obtener información acerca de los objetos que se necesiten, esto tomando y examinando datos sin que los instrumentales usados estén en contacto con este objeto.

La teledetección y la fotogrametría en conjunto permiten obtener Modelos digitales del terreno, mapas de pendiente, curvas de nivel, mapas de usos del suelo, mapas de erosión, etc., son una herramienta potente que combinada con los sistemas de información geográfica y sus innumerables funcionalidades hacen de estas técnicas imprescindibles en muchos sectores. (Utiltech, 2018, párr. 1).

## **2.8 Levantamiento Topográfico**

Un levantamiento topográfico es un conjunto de actividades que son empleadas en el campo, con la finalidad de obtener información necesaria para adquirir una representación gráfica del terreno o relieve, dicho proceso también permite conocer el área de la zona de estudio (Pachas, 2009, p. 30).

## **2.9 Vehículo aéreo no tripulado (UAV)**

Un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) es un vehículo que es controlado autónomamente o desde tierra, se enfatiza en los planes de vuelo programados. La aplicación de estos vehículos es hoy en día una de las más utilizadas en tareas que abarcan situaciones de dificultad para vehículos tradicionales (Garijo et al., 2009, p. 3).

## **2.10 Geoposicionamiento**

Es importante tener una determinación de la información que se ha de extraer de campo, buscando buena calidad, para la fotogrametría se debe tener una georreferencia factible. El UAV registra en tiempo real su ubicación durante el vuelo mediante el sistema de coordenadas geográficas (WGS84), la posición se apoya en una secuencia matemática de tres dimensiones (Cepeda, 2017, p. 7).

### **2.11 Overlap o superposición**

Que indica el área idéntica de terreno, cuanto se superponen imágenes unas encima de las otras generando puntos de repercusión en los enlaces y puntos clave, de manera general se utiliza es del 70% pero en este caso dado a la forma del terreno se toma en cuenta un overlap del 75% tanto frontal como lateral, un nivel muy elevado de superposición causa que el vuelo tenga un tiempo amplio ya que requiere más imágenes (canada.ca, 2016, párr. 1).

### **2.12 GSD**

Hace referencia a la distancia tomada en cuenta desde la superficie del terreno esto con relación a los pixeles, en el presente caso se toma una distancia de 150 m, al tener una distancia muy alta se necesitan menos imágenes, pero puede afectar a la calidad, a baja altura y al tratarse de un terreno de gran extensión se necesitaría muchas imágenes implicando mayor inversión de tiempo (canada.ca, 2016, párr. 1).

### **2.13 Rolling Shutter y Global Shutter**

Utilizado como método de captura de los sensores, captando la luz de forma barrida, si la relación entre la cámara y la imagen cambia, existirá una distorsión debido al desplazamiento de los pixeles, es el método utilizado en el Dron de DJI Phantom 4 Pro V2.0 que es el que se ha implementado, en el procesamiento de datos se puede activar totalmente y generar imágenes de alta calidad. En cuanto al Global Shutter hace la captura de la luz de forma simultánea en el sensor (canada.ca, 2016, párr. 1).

## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Tipo de investigación

La presente investigación se enmarca en una investigación aplicada ya que tiene como objetivo resolver un problema práctico y aplicar los resultados de la investigación en situaciones del mundo real.

Con el propósito de alcanzar los objetivos planteados en el presente trabajo, se han definido tres fases distintas, que comprenden la etapa de trabajo preliminar, así como las fases de Campo y de escritorio, tal como se visualiza en la figura 3-1. A continuación, se describen detalladamente cada una de estas fases:

Trabajo Preliminar	•La compilación de información bibliográfica, la identificación de la zona de estudio y las prácticas de vuelo.
Trabajo de Campo	•Vuelos de reconocimiento y vuelos planificados.
Trabajo de Escritorio	•Procesamiento de datos mediante Softwares

**Ilustración 3-1:**Fases de trabajo a aplicar

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

#### 3.2 Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

##### 3.2.1 Trabajo preliminar

En esta etapa se llevó a cabo un proceso metodológico que incluyó tres componentes principales: la compilación de información bibliográfica, la identificación de la zona de estudio y las prácticas de vuelo.

La compilación de información bibliográfica se realizó mediante la revisión exhaustiva de diversas fuentes de información científica. Se utilizaron documentos en formato digital, tales como tesis, artículos científicos y libros, que abordaban temáticas relacionadas con el mapeo fotogramétrico.

Para la identificación de la zona de estudio, se utilizó el sistema de información geográfica Google Earth para delimitar la región de interés. Posteriormente, se empleó el software QGIS para generar los mapas de ubicación correspondientes a la zona seleccionada. Estos mapas, que posteriormente fueron incluidos en los resultados del estudio, permitieron una visualización clara y precisa de la ubicación geográfica de la zona de interés.

En cuanto al manejo del equipo necesario para la recolección de datos, se llevó a cabo un proceso de entrenamiento previo. Para ello, se recibió una capacitación especializada en el curso "Fotogrametría con Drones aplicado al Patrimonio Cultural" por CIODESIA, lo que permitió adquirir las habilidades y conocimientos necesarios para el uso adecuado de los drones.

Además, para familiarizarse con el uso práctico de los drones, se realizaron vuelos de práctica en diversos lugares de la provincia de Morona Santiago utilizando las aplicaciones de vuelo DJI Go 4 Y MAP Pilot. Estos vuelos permitieron adquirir experiencia en el manejo del equipo y en la planificación de las rutas de vuelo para la recolección de datos geoespaciales.

El Equipo se utilizó para el entrenamiento y en la etapa de campo se trata de un DJI Go 4 de la Ilustración 3-2, con una cámara aérea para generar imágenes compactas, está cámara FC310S cuenta con 5472x3648 de resolución, con una distancia focal de 8.8mm y un tamaño de píxel de 2.41x2.41 micras. La tabla 1.1 presenta las especificaciones técnicas del equipo.



**Ilustración 3-2:** Dron DJI Phantom 4 Pro V2.0

**Realizado por:** Cunalata, E.; Jara, F.2023.

**Tabla 3-1.** Especificaciones de DJI Go 4

Tiempo de vuelo estacionario	28 min
Tiempo de vuelo	30 min
Peso de despegue	1373 g
Tamaño	13.75 pulgadas
Velocidad	46.8 km/h
Velocidad máxima de ascenso	16.4 pies por segundo
Velocidad de descenso	9.8 pies por segundo
Límite de viento	36 km/h
+Rango de vuelo	9.65 Km
Límite de altura	6 km snm
Sistema de navegación	GPS

Fuente: prizmadrones, 2020

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

### **3.2.2 Trabajo en campo**

En este segmento del trabajo de integración curricular, se llevó a cabo un proceso metodológico con una duración de un mes, el cual se estructuró en dos componentes fundamentales: vuelos de reconocimiento y vuelos planificados.

### **3.2.3 Vuelos de reconocimiento**

Los vuelos de reconocimiento se realizaron durante un período de dos días, empleando la aplicación DJI Go 4, con el propósito de establecer la altura óptima de vuelo. Se evaluaron tres alturas diferentes: una altura mínima de 100 metros, una altura recomendada de 120 metros y una altura máxima de 150 metros. Estas alturas fueron determinadas teniendo en cuenta las limitaciones técnicas del UAV para definir los parámetros para los vuelos planificados. Previo al vuelo de reconocimiento se realizó lo siguiente:

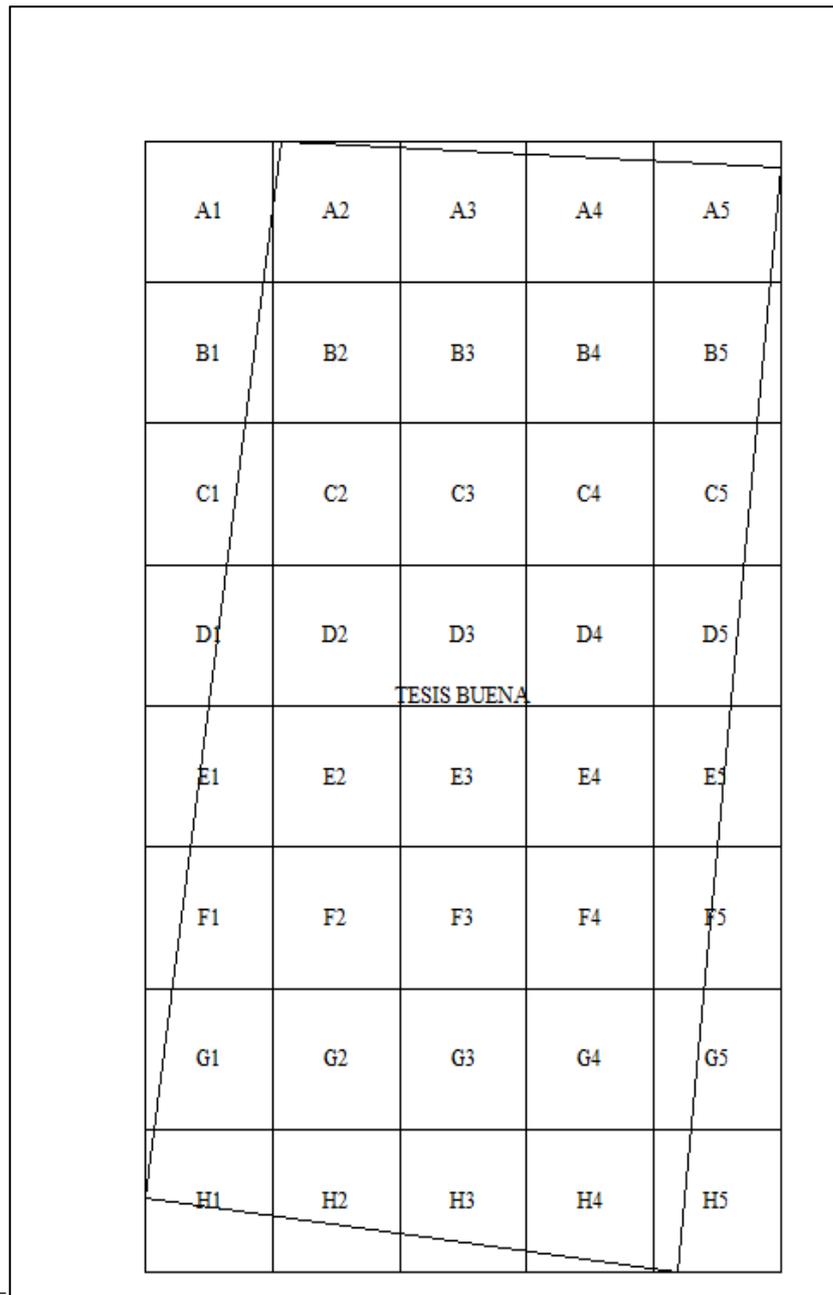
- Revisión de la carga del dispositivo móvil, baterías y control del dron, antes de salir al campo.
- Calibración de la cámara, GPS o brújula desde el punto de referencia ya que el dron se seguía mediante GPS.

- Preparación del dron, soltando los seguros de la cámara para colocar la batería y las hélices.

#### ***3.2.4 Vuelos Planificados***

Los vuelos planificados, por su parte, se llevaron a cabo mediante la aplicación MAP PILOT, manteniendo una altura promedio de 150 metros debido a la extensión del área de estudio. En el proceso de planificación, se consideraron diversas características cruciales para el éxito de los vuelos, tales como la estabilidad del UAV, la duración de vuelo, el alcance de señal y la resolución de la cámara. Asimismo, se tomaron en cuenta factores topográficos, el tamaño del área a cubrir, las condiciones de iluminación, así como la altitud.

Con el fin de garantizar una cobertura adecuada del área de estudio y una visibilidad constante del dron para el piloto, se dividió el terreno en grillas, como se aprecia en la Ilustración 3-3. El solapamiento frontal y lateral entre las imágenes obtenidas se fijó en un 75%, asegurando la obtención de datos geoespaciales que permitan una reconstrucción precisa y completa del área.



**Ilustración 3-3:** División de la zona para el levantamiento topográfico

**Fuente:** Software QGIS

**Realizado por:** Cunalata, E.; Jara, F.2023.

Es importante destacar que, debido a la duración de cada vuelo y con el propósito de cubrir extensas áreas de manera efectiva, se requirió realizar rotaciones con tres baterías, cada una con una duración aproximada de 20 minutos.

El clima y el estado del tiempo han sido factores importantes que considerar, un día nublado, lluvioso o con vientos considerables pueden perjudicar la nitidez de las imágenes lo cual pudiera

repercutir en el procesamiento de la información y tener variaciones en la precisión de las mediciones.

### 3.2.5 Toma y procesamiento de datos fotogramétricos

Los pasos empleados para el plan de vuelo se detallan a continuación:

Para el plan de vuelo se utiliza: Map Pilot pro (**Ilustración 3-4**) que es una herramienta para planificar y procesar fotogramas. Con el cual se debe seguir el siguiente procedimiento.

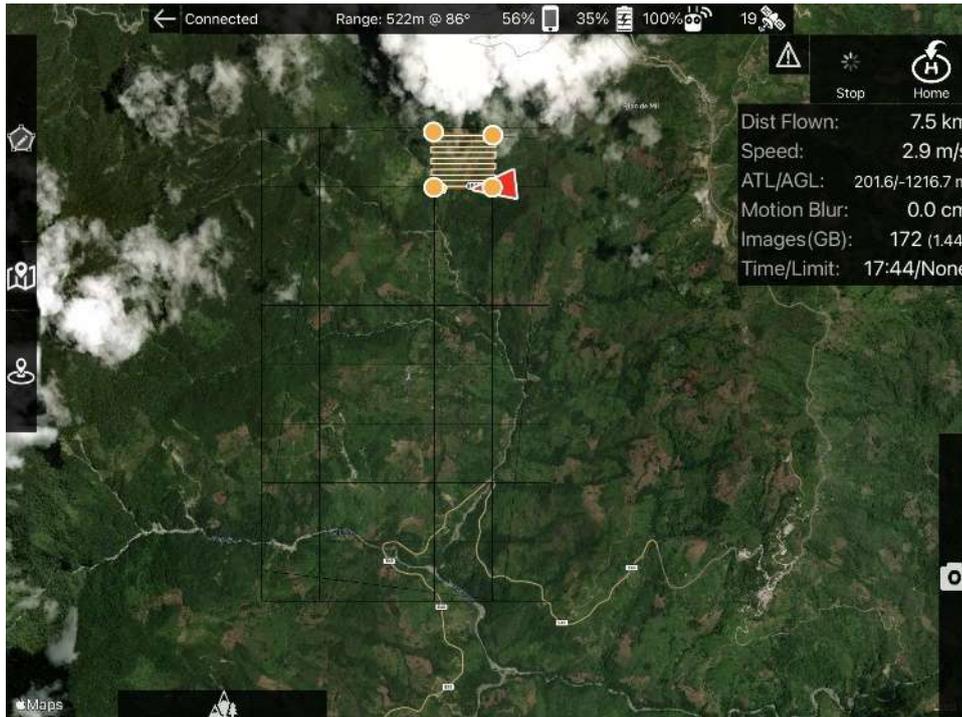


**Ilustración 3-4:** Ventana principal de Map Pilot

Fuente: Map Pilot, 2023

#### 3.2.5.1 Procedimiento para planificar vuelos en Map Pilot:

- Utilizar el apartado Crear una nueva misión de vuelo.
- Identificar la ubicación del área de interés en el mapa que muestra la aplicación cabe recalcar que la aplicación Map Pilot nos permite exportar archivos (Kml) la cual generamos en Qgis de acuerdo con la Ubicación del área de estudio (**Ilustración 3-5**).

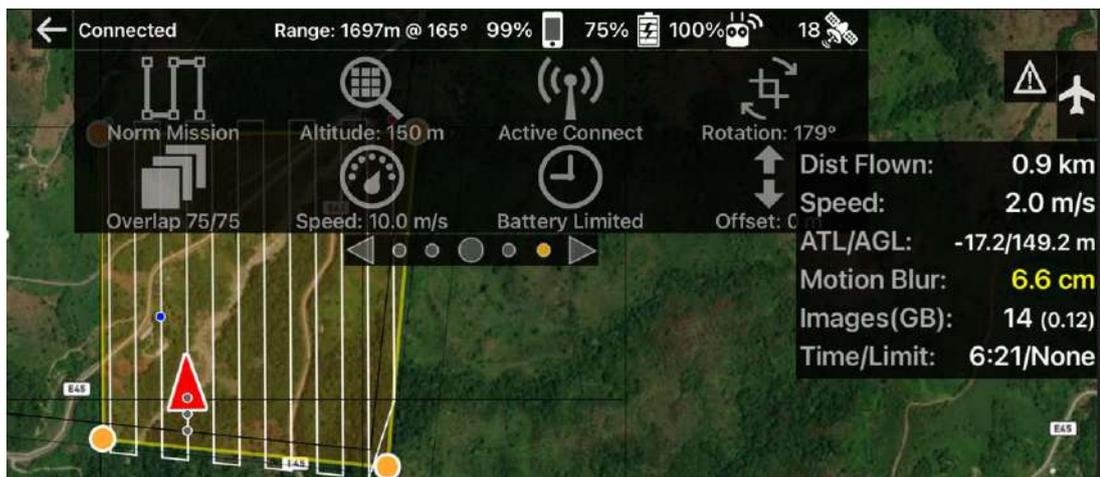


**Ilustración 3-5:** Grilla exportada de acuerdo con la división de Área de estudio

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

- Añadir los puntos y formar un polígono que represente toda el área específica de acuerdo con la malla creada (**Ilustración 3-6**) de estudio con sus respectivos parámetros como altura, velocidad, solape horizontal y vertical y ruta de vuelo.



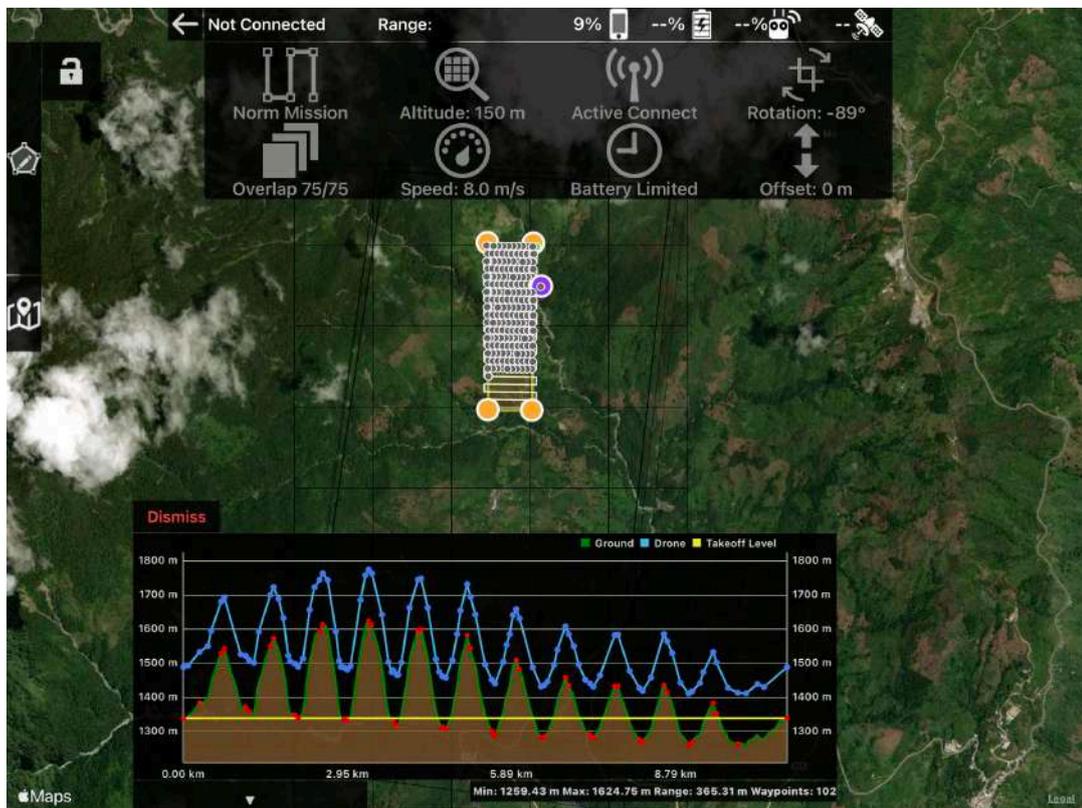
**Ilustración 3-6:** Polígono creado a partir de la malla con sus parámetros correspondientes.

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

- Observar si el área, tiempo de vuelo, cantidad de imágenes, cantidad de batería, relieve, a utilizar es acorde a los resultados esperados.
- Alinear el punto de partida y final de la ruta de vuelo que seguirá el dron.

La Ilustración 3-6 muestra la ruta de vuelo planificada que se utilizó en nuestro estudio.



**Ilustración 3-7:** Perfil de vuelo y su relación con respecto al suelo

**Fuente:** (Map Pilot Pro)

**Realizado por:** Cunalata, E.; Jara, F.2023.

El planeamiento en un vuelo fotogramétrico es una fase que se realiza antes de la ejecución, dentro la cual se genera las instrucciones de vuelo que llevará a cabo la aeronave, se puede tomar en cuenta:

### 3.2.5.2 Ejecución de vuelo fotogramétrico

Una de las ventajas de la ejecución de la misión de vuelo es que el proceso es similar en cualquier plataforma, para ejecutar el vuelo se utiliza Map Pilot, una vez que ya se ha planificado el vuelo se procede a empezar, el dron se va a dirigir al punto de partida para continuar con la trayectoria ya establecida previamente. Se puede visualizar de dos formas el avance; tanto directamente con el enfoque de la cámara como en forma de mapa, en la segunda forma se puede verificar que existe un ícono que indica el avance de acuerdo con lo planificado, esta opción también permite

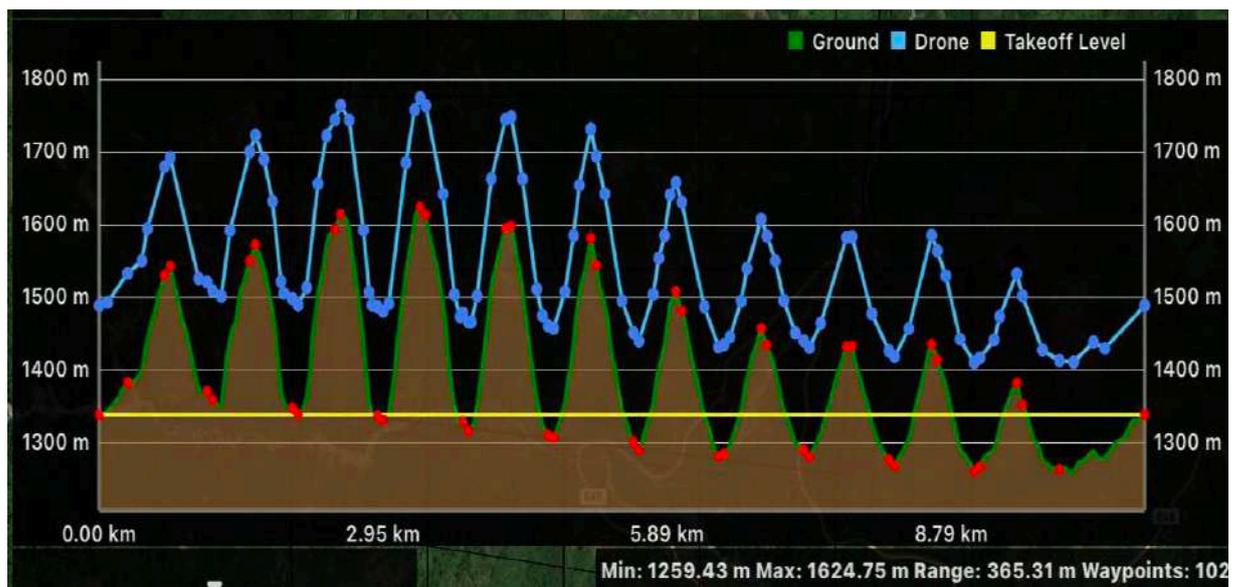
saber hacia dónde debe dirigirse la persona encargada para tener concordancia con el avance del dron.



**Ilustración 3-8:** Dron DJI Phantom 4 Pro V2.0

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

Se puede visualizar que la altura del dron no varía, siempre estará a 150 metros independientemente de la altura del terreno, en cuanto a la velocidad puede variar en concordancia al factor del viento. Mediante esta plataforma se puede controlar el tiempo de llegada, tiempo estimado de batería por ende en caso de tener batería baja se puede regresar al punto de salida con tiempo de antelación y cambiar la batería y seguir con la trayectoria.



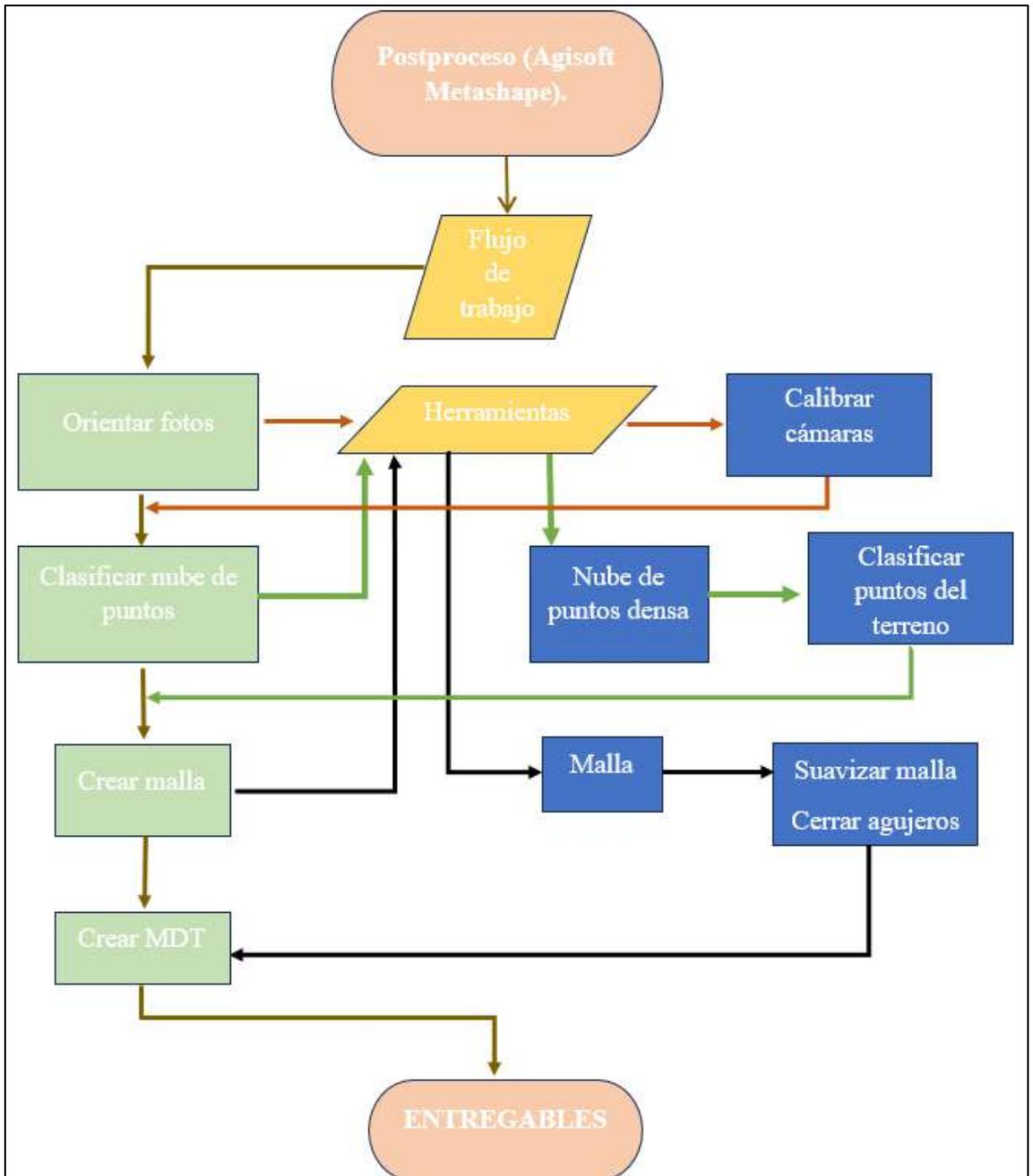
**Ilustración 3-9:** Perfil de vuelo con respecto al suelo

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

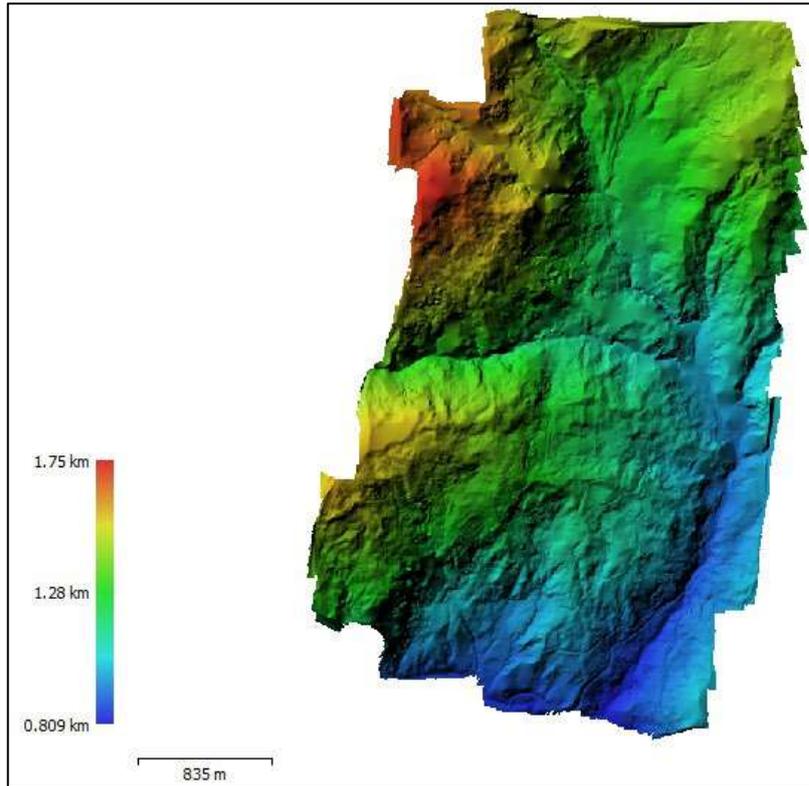
### 3.2.6 Trabajo de escritorio

En esta fase, se llevó a cabo el procesamiento de las 5410 fotografías correspondiente a 905.9 hectáreas obtenidas en la fase anterior. Para el procesamiento fotogramétrico de las imágenes digitales y crear datos espaciales en 3D, se implementa el uso del Software Agisoft Metashape siguiendo el flujo de trabajo de la (Ilustración 3-10).



**Ilustración 3-10:** Flujo de trabajo realizado en el software Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.202



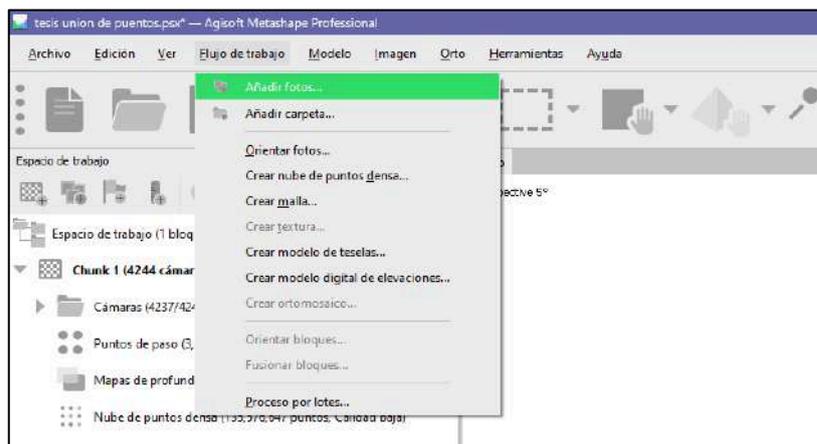
**Ilustración 3-11:** Modelo digital de terreno

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

A continuación, se describe el procedimiento usado en este caso de estudio

1. Añadir todas las fotografías, como señala la ilustración (Ilustración 3-12)

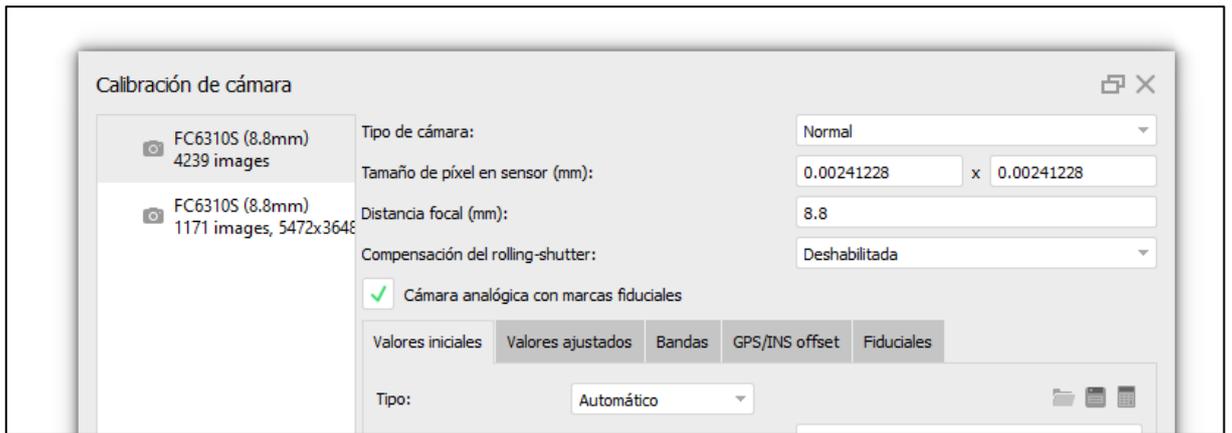


**Ilustración 3-12:** Proceso para añadir imágenes en Metashape

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

2. Ir a herramientas; calibración de cámara y activar completamente la compensación de Rolling Shutter.

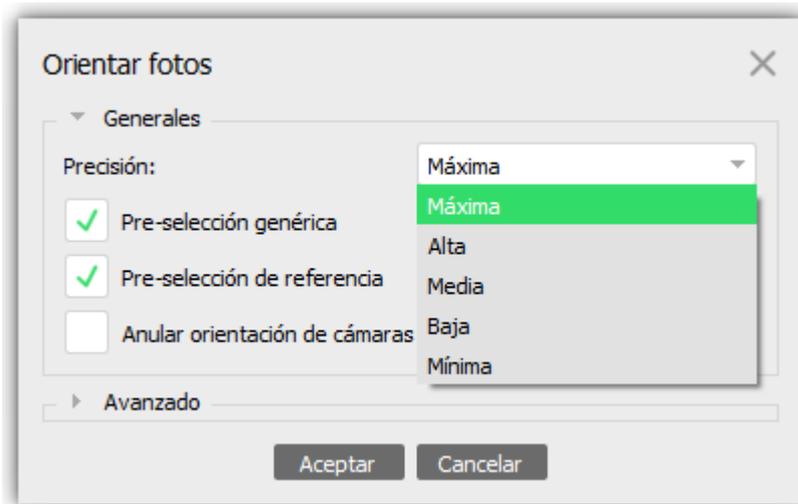


**Ilustración 3-13:** Herramienta para la calibración de cámaras.

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

- Orientar las fotografías, al esperar resultados óptimos se debe elegir la máxima calidad en la orientación de fotografías, como se muestra en la (Ilustración 3-14).

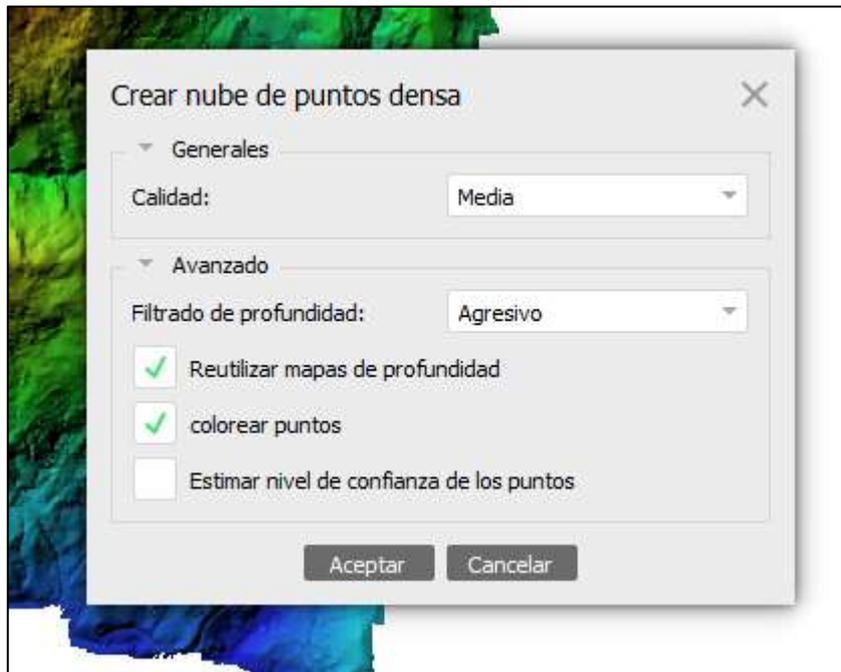


**Ilustración 3-14:** Apartado para la orientación de las fotos

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

- Crear la nube de puntos; considerando calidad media y un filtrado de profundidad agresiva (Ilustración 3-15).

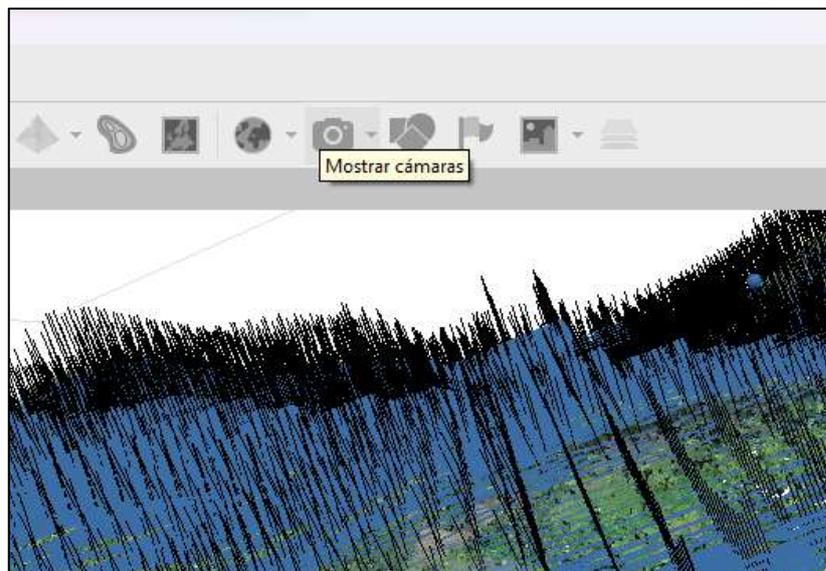


**Ilustración 3-15:** Apartado para la creación de nube de puntos

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

5. Desactivar la vista de la cámara para facilitar la manipulación de los datos, se muestra continuación (**Ilustración 3-16**)

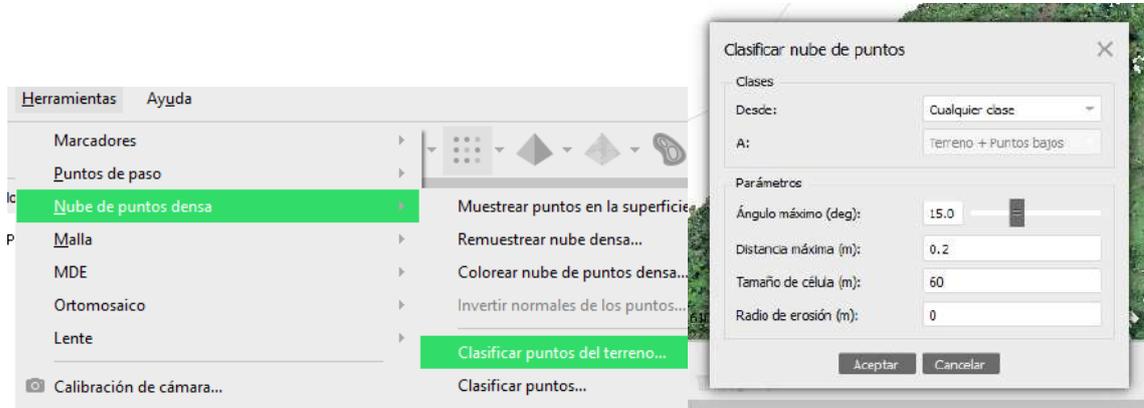


**Ilustración 3-16:**Pestaña de activado o desactivado de cámaras

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

6. Clasificar nube de puntos densa de tal manera que separe los puntos en cuanto a vegetación, terreno, edificaciones en este caso se considera solo terreno y vegetación ya que el área cuenta solo con esas características (**Ilustración 3-17**).

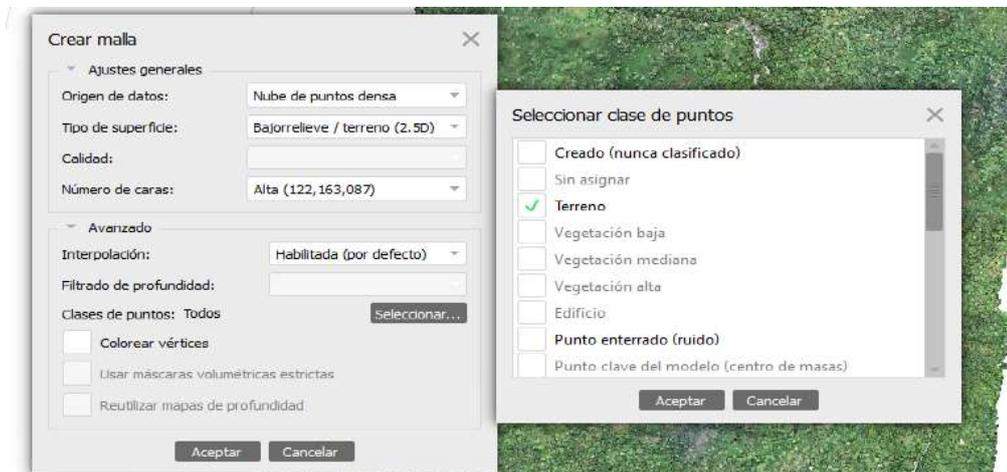


**Ilustración 3-17:** Herramienta de clasificado de puntos del terreno

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

7. Crear malla; considerando origen de datos nube de puntos densa previamente clasificada, tipo de superficie bajo relieve, numero de caras alta y en clase de puntos seleccionamos terreno (**Ilustración 3-18**).

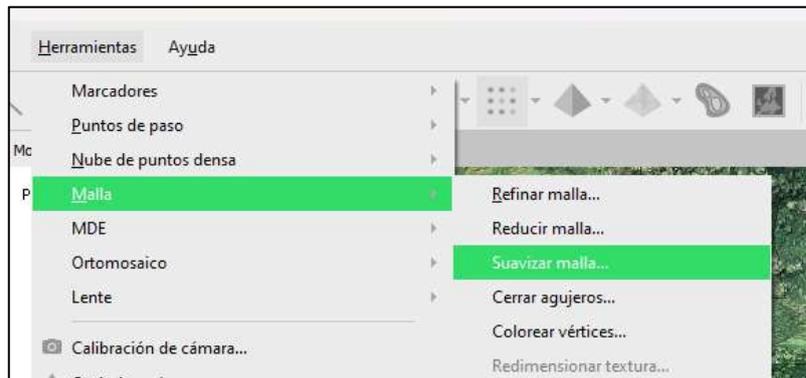


**Ilustración 3-18:** Herramienta para crear malla

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

8. Optimizar texturas con la malla, es necesario realizar correcciones sobre la misma como Suavizar, cerrar agujeros en fin corregir partes de la textura que el proceso fotogramétrico no ha sido capaz de registrar con calidad (**Ilustración 3-19**).

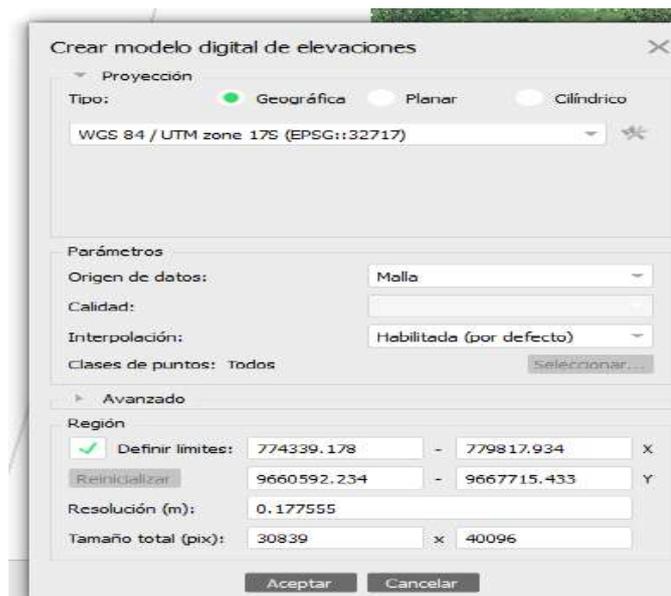


**Ilustración 3-19:** Herramienta para la optimización de texturas

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

9. Crear modelo digital del terreno con el paso realizado previamente considerando en el origen de datos la malla creada, se define los limites ya preestablecidos por el programa (**Ilustración 3-20**).



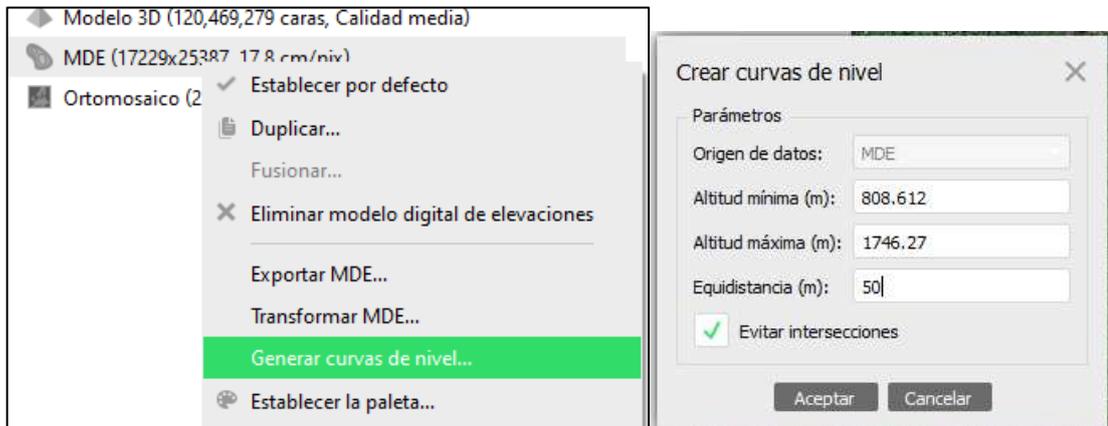
**Ilustración 3-20:** Apartado para la creación del MDT

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

10. Creación de curvas de nivel, con respecto al MDT realizado anteriormente, en este paso se toma en cuenta el MDT generado, en la opción generar curvas de nivel se despliegan y nos

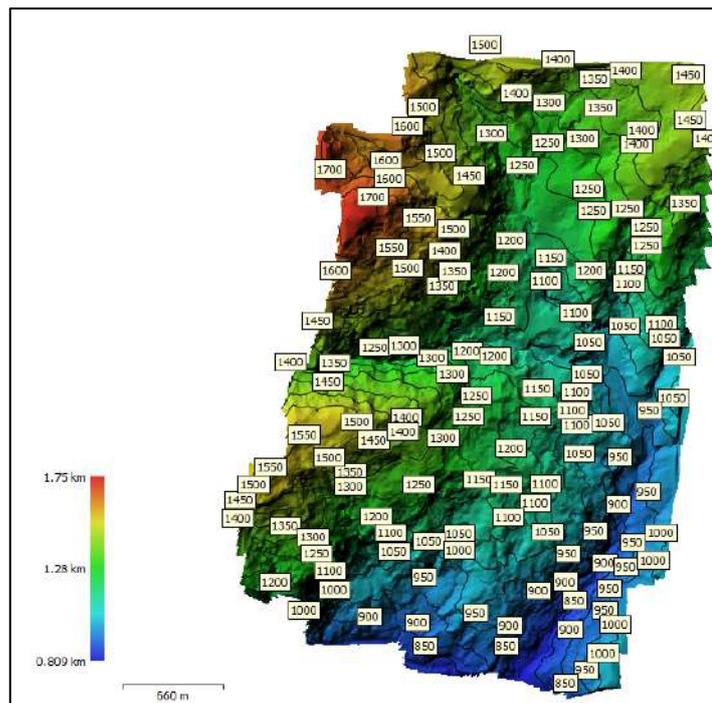
indica tanto la altitud máxima y mínima del terreno, y en equidistancia se considero 50m de equidistancia entre curvas debido a la extensa area de estudio (**Ilustración 3-21**).



**Ilustración 3-21:** Generación de curvas de nivel con respecto al MDT

**Fuente:** Agisoft Metashape

**Realizado por:** Cunalata, E.; Jara, F.2023.



**Ilustración 3-22:** Curvas de nivel creadas a partir del MDT

**Fuente:** Agisoft Metashape

**Realizado por:** Cunalata, E.; Jara, F.2023.

11. Ya se puede realizar mediciones y limpiar o deshacer zonas que pueden ser no necesarias (**Ilustración 3-23**).

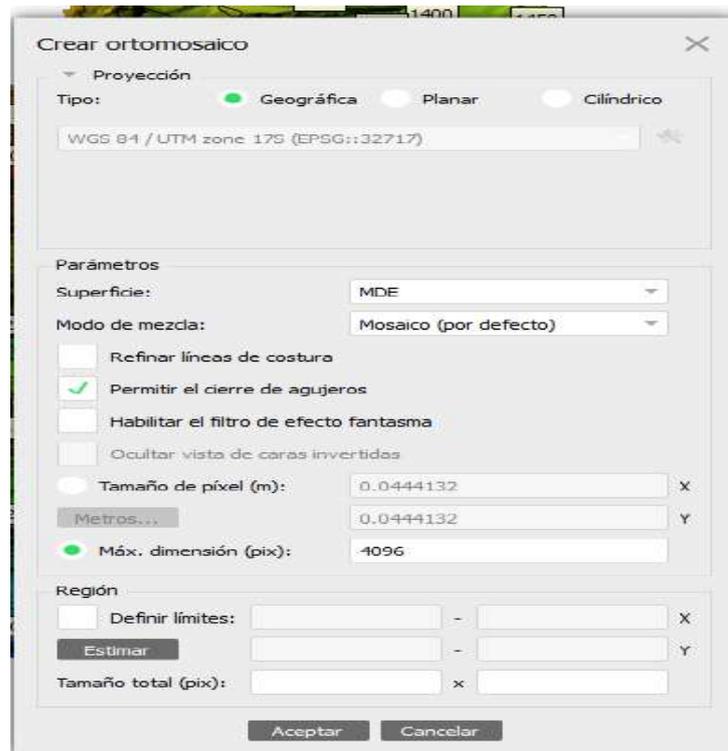


**Ilustración 3-23:** Medición del área de estudio

**Fuente:** Agisoft Metashape

**Realizado por:** Cunalata, E.; Jara, F.2023.

12. Crear ortofoto; en esta sección nos dirigimos a flujo de trabajo a la opción crear ortomosaico considerando en superficie con los datos de la malla y para finalizar elegimos la máxima dimensión de pixeles (**Ilustración 3-24**).



**Ilustración 3-24:** Herramienta para la generación de ortofoto

**Fuente:** Agisoft Metashape

**Realizado por:** Cunalata, E.; Jara, F.2023.

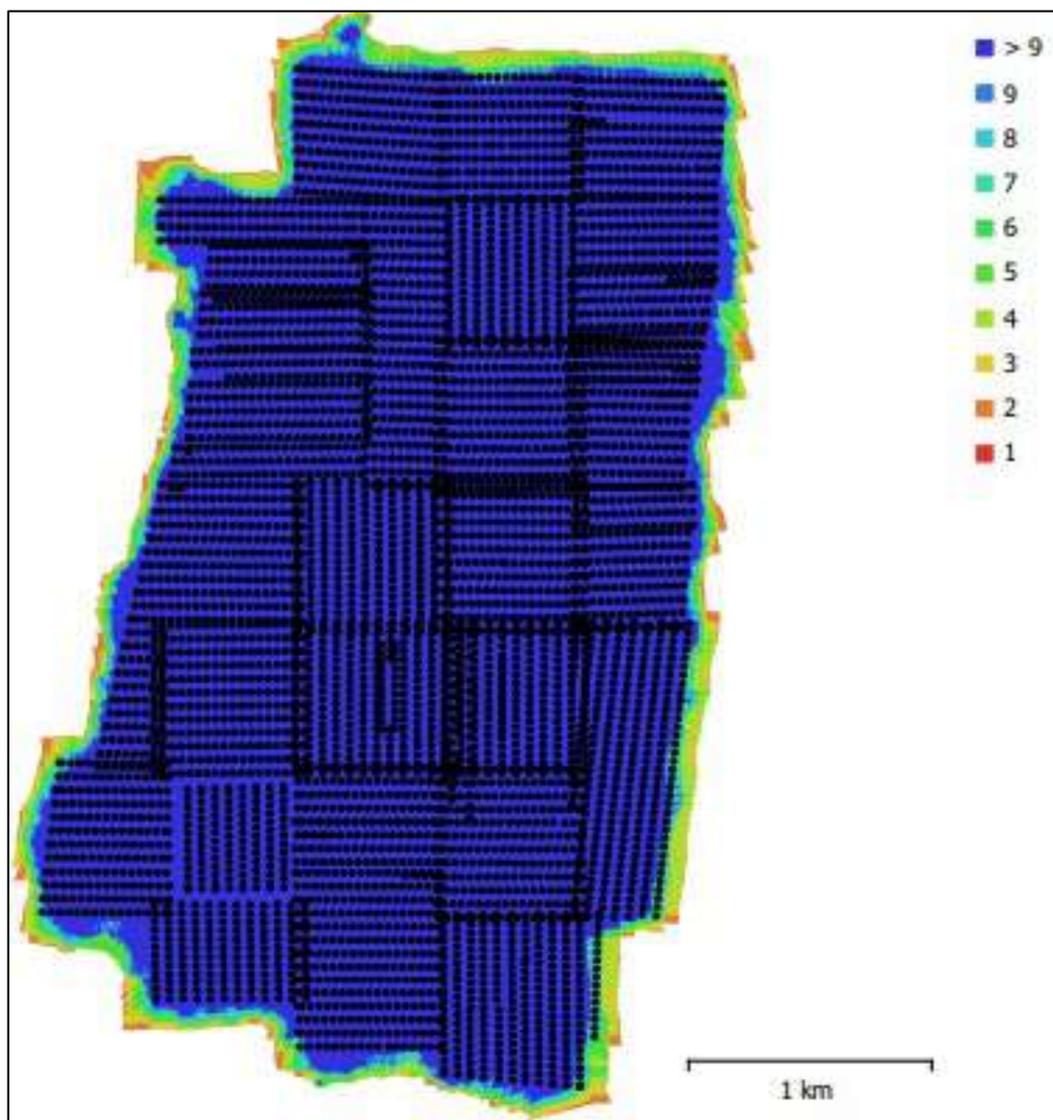
13. Se procede a guardar el proyecto, con el fin de poder exportar los datos obtenidos del postproceso de manera que se pueda realizar mapas a partir de los datos obtenidos como: ortofoto, modelo digital del terreno, curvas de nivel, mediciones longitudinales y volumétricas del área de interés.

En esta fase ya disponemos de resultados entregables, que pueden ser exportados a diferentes medios de software (ArcMap, QGIS entre otros), se procede a combinar los datos adquiridos en el vuelo fotogramétrico a través de la superposición, georreferenciación y otras técnicas, para el procesamiento de datos se implementa el uso del software Agisoft Metashape ya que es uno de los más accesibles y utilizados para fotogrametría.

## CAPITULO IV

### 4. ANALISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Datos del levantamiento



**Ilustración 4-1:** Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes

Fuente: Map Pilot, 2023

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

Las imágenes tomadas en el área de estudio proporcionaron un solapamiento del 75% en general para toda la zona de interés. El 70% de las fotografías se realizaron en líneas de vuelo paralelas a la pendiente de la zona en dirección E-W y el 30% de las fotografías se realizó líneas de vuelo perpendiculares a la pendiente de área en dirección N-S, formando la malla que corresponda a la división creada.

#### 4.1.1 Ortofoto



**Ilustración 4-2:** Ortofoto Correspondiente a Piamonte

**Fuente:** Map Pilot, 2023

**Realizado por:** Cunalata, E.; Jara, F.2023.

La ortofoto que representa la zona de Piamonte se ha obtenido al procesar todas las imágenes tomadas mediante el UAV, donde se alcanza una resolución espacial de 4.41 cm/ píxel abarcando un área total de 10 ha de terreno y se pudo observar que Piamonte se caracteriza por estar ubicada

en un área de extensa vegetación y en algunas partes se observó cultivos, también se logró visualizar la parte hidrográfica que va de Norte a Sur a lo largo del área de estudio.

**Tabla 4-1:** Datos generales para procesamiento

<b>Numero de imágenes</b>	5,410	<b>Panorámica multicámara</b>	5,408
<b>Altitud media de vuelo</b>	195 m	<b>Puntos de paso</b>	4,019,231
<b>Resolución del terreno</b>	4.41 cm/pix	<b>Proyecciones</b>	9,578,72
<b>Área cubierta</b>	10.1 km <sup>2</sup>	<b>Error de proyección</b>	0.344 pix

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F., 2023

### Análisis

Para realizar el levantamiento de Piamonte se han tomado 5410 imágenes a lo largo del terreno con una altitud promedio de 195 m, el número de imágenes es extenso ya que el área de estudio también lo es, correspondiendo a 10.1 Km cuadrados, para proporcionar una vista completa sin desorden de varias cámaras se ha considerado una Panorámica multicámara (5408), con ello se han obtenido 4 019 231 puntos de paso con 9 578 72 proyecciones, la resolución del terreno en este caso es de 4.41 cm/pix, ante el resultado final se tiene un error de 0.344 pixeles.

**Tabla 4-2:** Especificaciones de la cámara FC310S

<b>Modelo de cámara</b>	<b>Resolución</b>	<b>Distancia focal</b>	<b>Tamaños de píxel</b>	<b>Precalibrada</b>
FC310S	5472 x 3648	8.8mm	2.41 x 2.41 micras	Si

Fuente: Map Pilot, 2023

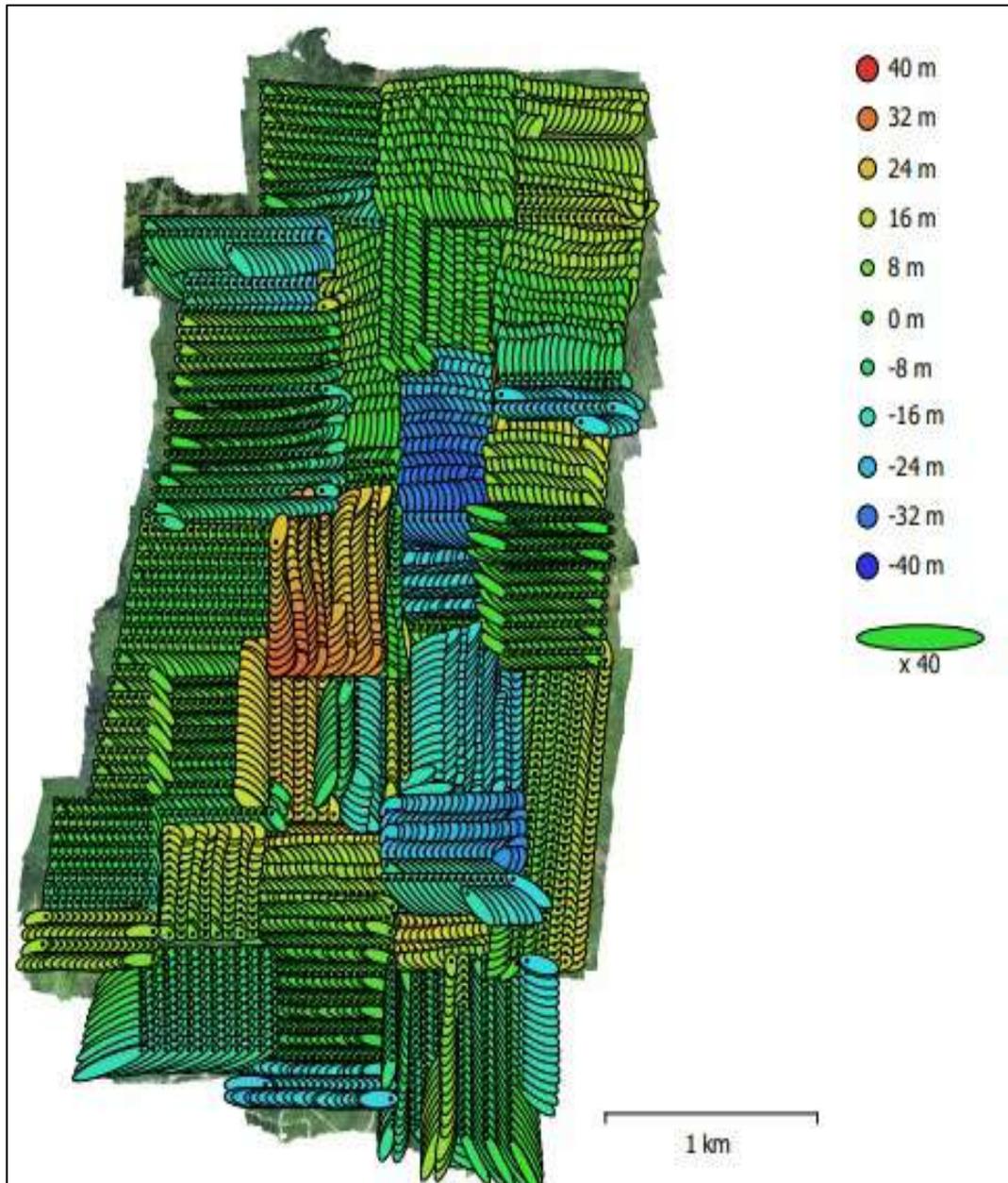
Realizado por: Cunalata, E.; Jara, F.2023.

### Análisis

En la tabla anterior se puede observar los datos correspondientes a la cámara, que se trata de un modelo FC310S que cuenta con un diseño todo en uno para una instalación optimizada, una fácil integración en su sistema de control y una rentabilidad óptima, con una resolución de 5472 x

3648, con un indicativo como el ángulo de visión tal como la distancia focal de 8.8mm y un tamaño de píxel de 2.41 x 2.41 micras para la toma de imágenes de buena calidad.

#### 4.1.2 Posiciones de Cámara



**Ilustración 4-3:** Posiciones de cámaras y estimadores de error

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

**Tabla 4-3:** Errores medios de las posiciones de cámaras.

Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)
----------------	----------------	----------------

2.14442	1.84987	13.5216
---------	---------	---------

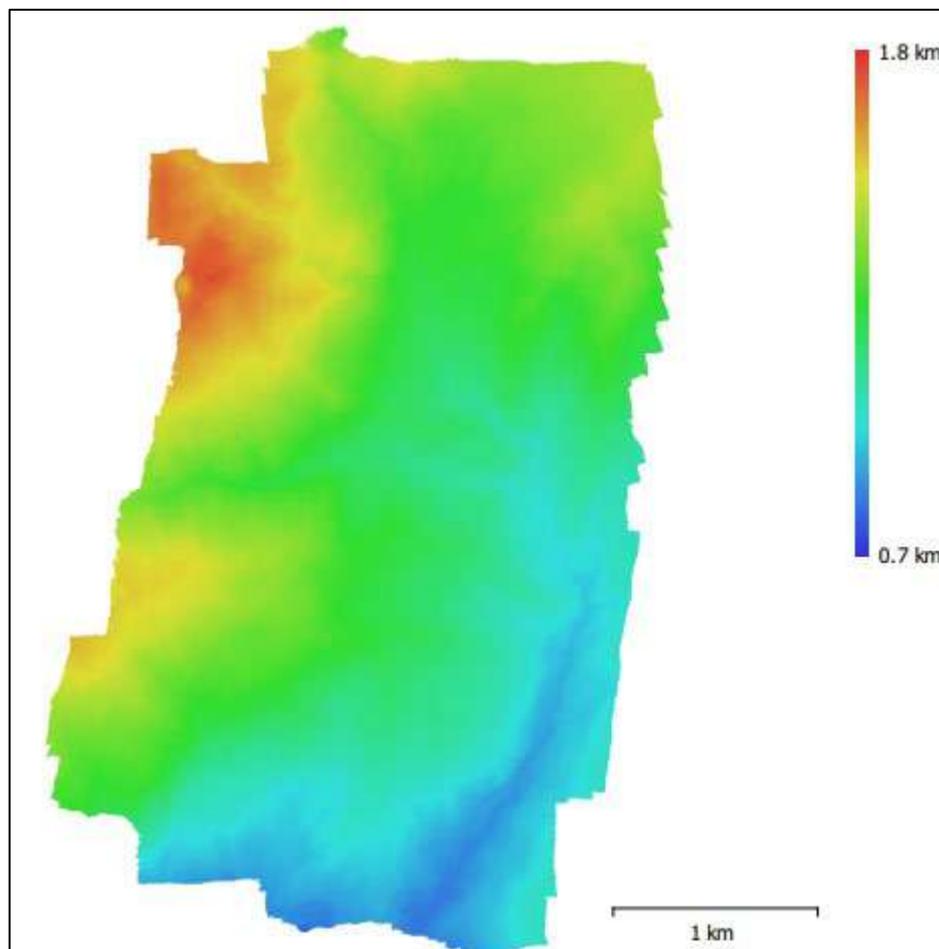
Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

## Análisis

En la ilustración anterior el color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representa el error en XY. Las posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros. Se puede observar las posiciones de la cámara se puede notar que también están de acuerdo con las elevaciones del terreno, se hace referencia a X: Este, Y: Norte, Z: Altitud.

### 4.1.3 Modelo Digital De Elevaciones



**Ilustración 4-4:** Modelo digital de elevaciones

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

## Análisis

El modelo digital de elevación de la zona de Piamonte tiene una resolución de 17.7 cm/pix y una densidad de 32.1 puntos/ m<sup>2</sup>. El modelo digital de elevación representa matemática y visualmente los valores con respecto a la altura con relación al nivel medio del mar, en la ilustración 4-5 se observa una imagen ráster de la superficie continua que hace referencia al terreno correspondiente a Piamonte, se observa la parte más alta corresponde a 1.8km y la parte más baja q de 0.7 km.

### 4.1.4 Parámetros de procesamiento

**Tabla 4-4:** Parámetros generales de cámara.

<b>Cámaras</b>	5410
<b>Cámaras orientadas</b>	5408
<b>Sistema de coordenadas</b>	WGS 84 / UTM zona 17S (EPSG:32717)
<b>Angulo de rotación</b>	Guiñada, cabeceo, alabeo

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

Dentro de los parámetros consta los ángulos de rotación, para este trabajo se utilizó el ángulo de guiñada que es el ángulo Y dado por el movimiento del vehículo cuando se encuentra girando en torno al eje vertical. El ángulo de cabeceo que corresponde al que forma el eje longitudinal del UAV con el plano tendido durante las oscilaciones y finalmente el ángulo de alabeo que es el ángulo F dado por el movimiento del UAV cuando se encuentra girando en torno al eje horizontal.

**Tabla 4-5:** Parámetros correspondientes a la Nube de puntos

<b>Puntos</b>	4,019,231 de 4,171,071
<b>RMS error de reproyección</b>	0.34436 pix
<b>Error de reproyección máximo</b>	22.4016 pix
<b>Tamaño promedio de puntos característicos</b>	2.08091 pix
<b>Colores de puntos</b>	3 bandas, uint8
<b>Puntos clave</b>	No

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

Tras adquirir los datos del levantamiento se ha procedido a obtener una nube de puntos la cual es el resultado de la colección de puntos de los datos mapeados en las tres dimensiones existentes,

cada una de estas tiene sus valores propicios (X, Y, Z), basándose en la ubicación del espacio y poder mostrar lo que hay en un espacio 3D.

**Tabla 4-6:** Parámetros de orientación

<b>Precisión</b>	Máxima
<b>Puntos claves por foto</b>	40,000
<b>Puntos de paso por foto</b>	4,000
<b>Ajuste adaptativo de cámara</b>	Sí
<b>Tiempo búsqueda de emparejamientos</b>	1 hora 38 minutos
<b>Tiempo de orientación</b>	19 minutos 28 segundos

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

Para la orientación se tiene una máxima precisión, obteniendo puntos clave por fotos (40 000) y puntos de paso por foto (4 000) conllevando un ajuste adaptativo de cámara, en total se tuvo un tiempo de búsqueda de emparejamiento de 1 hora con 38 minutos y un tiempo de orientación correspondiente a 19 minutos con 28 segundos.

**Tabla 4-7:** Parámetros de optimización

<b>Parámetros</b>	cx, cy, cz
<b>Ajuste adaptativo de cámara</b>	Si
<b>Tiempo de optimización</b>	33 segundos
<b>Versión del programa</b>	1.5.2.7838

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

En la utilización de la cámara se ha obtenido una optimización de 33 segundos, considerando los parámetros para la toma de imágenes.

**Tabla 4-8:** Mapas de profundidad

<b>Número</b>	5408
---------------	------

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

Se han obtenido mapas de profundidad que se refiere a las imágenes o canales de imágenes, las cuales contienen información con respecto al trayecto de las superficies en cuanto a los objetos de la escena.

**Tabla 4-9:** Parámetros de obtención de mapas de profundidad

<b>Calidad</b>	Media
<b>Nivel de filtrado</b>	Agresivo
<b>Tiempo de procesamiento</b>	2 horas 11 minutos
<b>Versión del programa</b>	1.5.2.7838

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

Para obtener los mapas de profundidad mencionados en la tabla 4-8, en la tabla 4-9 hace referencia los parámetros correspondientes tales como, la calidad que es media con un nivel de filtrado agresivo, un tiempo de procesamiento de 2 horas con 11 minutos en conjunto con el programa cuya versión es 2.0.2. 16404.

**Tabla 4-10:** Nube de puntos densa

<b>Puntos</b>	670,498,090
<b>Colores de puntos</b>	3 bandas, uint8

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

Luego de obtener la nube de puntos relativa se procede a obtener la nube de puntos densa la cual nos brinda una información más precisa y real para esto se han utilizado 670,489,090 puntos en conjunto con 3 bandas.

**Tabla 4-11:** Parámetros de obtención de mapas de profundidad

<b>Calidad</b>	Media
<b>Nivel de filtrado</b>	Agresivo
<b>Tiempo de procesamiento</b>	2 horas 11 minutos

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

Para obtener los mapas de profundidad se hace referencia los parámetros correspondientes tales como, la calidad que es media con un nivel de filtrado agresivo, un tiempo de procesamiento de 2 horas con 11.

**Tabla 4-12:** Parámetros de generación de la nube densa

<b>Tiempo de procesamiento</b>	5 horas 18 minutos
<b>Versión del programa</b>	1.5.2.7838

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

Para tener una nube de puntos densa se ha empleado un tiempo de procesamiento de 5 horas con 18 minutos con la versión del programa Agisoft Metashape 2.0.2 build 16404.

**Tabla 4-13:** Modelo digital de elevaciones

<b>Tamaño</b>	24,996 x 33,551
<b>Sistema de coordenadas</b>	WGS 84 / UTM zona 17S (EPSG:32717)

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

El modelo digital de elevaciones que es la relación con el nivel medio del mar tiene un tamaño de 24,996 x 33,551 utilizando el sistema de coordenadas WGS 84/UTM.

**Tabla 4-14:** Parámetros de reconstrucción

<b>Datos fuente</b>	Nube de puntos densa
<b>Interpolación</b>	Habilitado

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

Para la reconstrucción del producto final se realiza una interpolación que toman como datos fuente la nube de puntos densa.

**Tabla 4-15:** Datos generales acerca del software utilizado para procesamiento de datos.

<b>Tiempo de procesamiento</b>	5 minutos 57 segundos
<b>Versión de programa</b>	2.0.2 build 16404
<b>Plataforma</b>	Windows 64 Bits

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

Para el procesamiento de datos se ha implementado el uso del software Agisoft Metashape versión 2.0.2 build 16404 que durante el procesamiento ha empleado un tiempo de 5 minutos con 57 segundos, el uso de este se realizó en la plataforma Windows 64 de bits.

**Tabla 4-16:** Datos correspondientes al ortomosaico

<b>Tamaño</b>	69,463 x 104,439
---------------	------------------

<b>Sistema de coordenadas</b>	WGS 84 / UTM zona 17S (EPSG:32717)
<b>Colores</b>	3 bandas, uint8

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

El ortomosaico que es el resultado de la combinación de varias imágenes tiene un tamaño de 64,463 x 104,439 utilizando para sus colores 3 bandas.

**Tabla 4-17:** Parámetros de reconstrucción

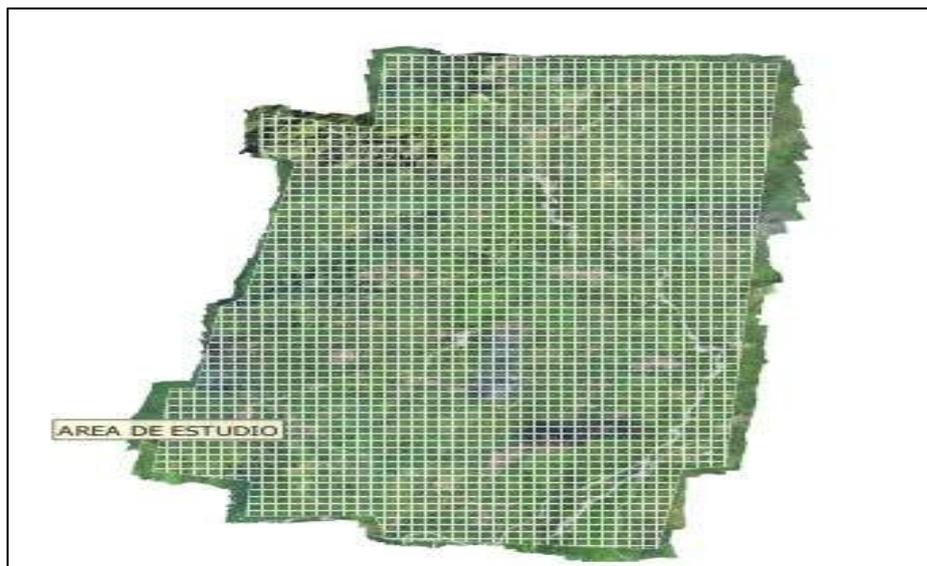
<b>Modo de mezcla</b>	Mosaico
<b>Superficie</b>	Modelo digital de elevaciones
<b>Permitir el cierre de agujeros</b>	Sí
<b>Tiempo de procesamiento</b>	1 hora 10 minutos
<b>Versión del programa</b>	2.0.2. 16404

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

En cuanto a los parámetros de reconstrucción se tiene un modo de mezcla mosaico con una superficie representada en un Modelos digital de elevaciones y un tiempo de procesamiento de 1 hora con 10 minutos.

#### 4.1.5 *Medición de áreas*



**Ilustración 4-5:** Área tomada en cuenta para obtención de medidas de terreno

Fuente: Agisoft Metashape

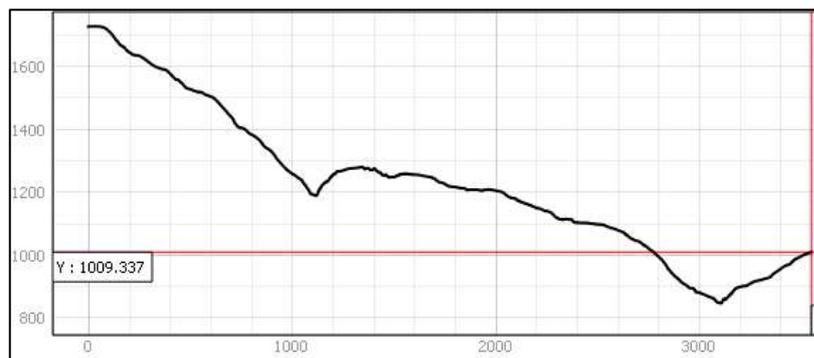
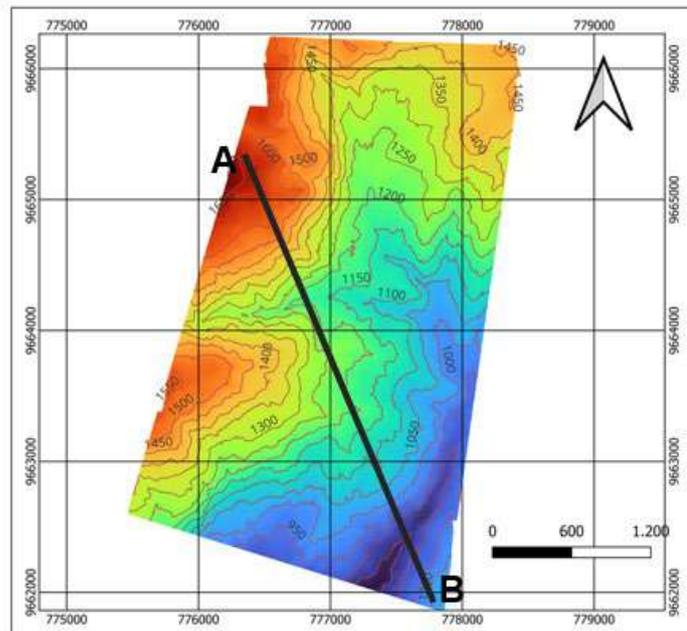
Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

**Tabla 4-18:** Medidas totales del área de Piamonte

Medidas					
Etiqueta	Perímetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )		
			Por encima	Por debajo	Total
Área de estudio	13462.9	9.059e+06	1.79432e+08	6.80878e+08	-5.01446e+08

Fuente: Agisoft Metashape

Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023



**Ilustración 4-6:** Perfil del terreno real.

Fuente: Software QGIS

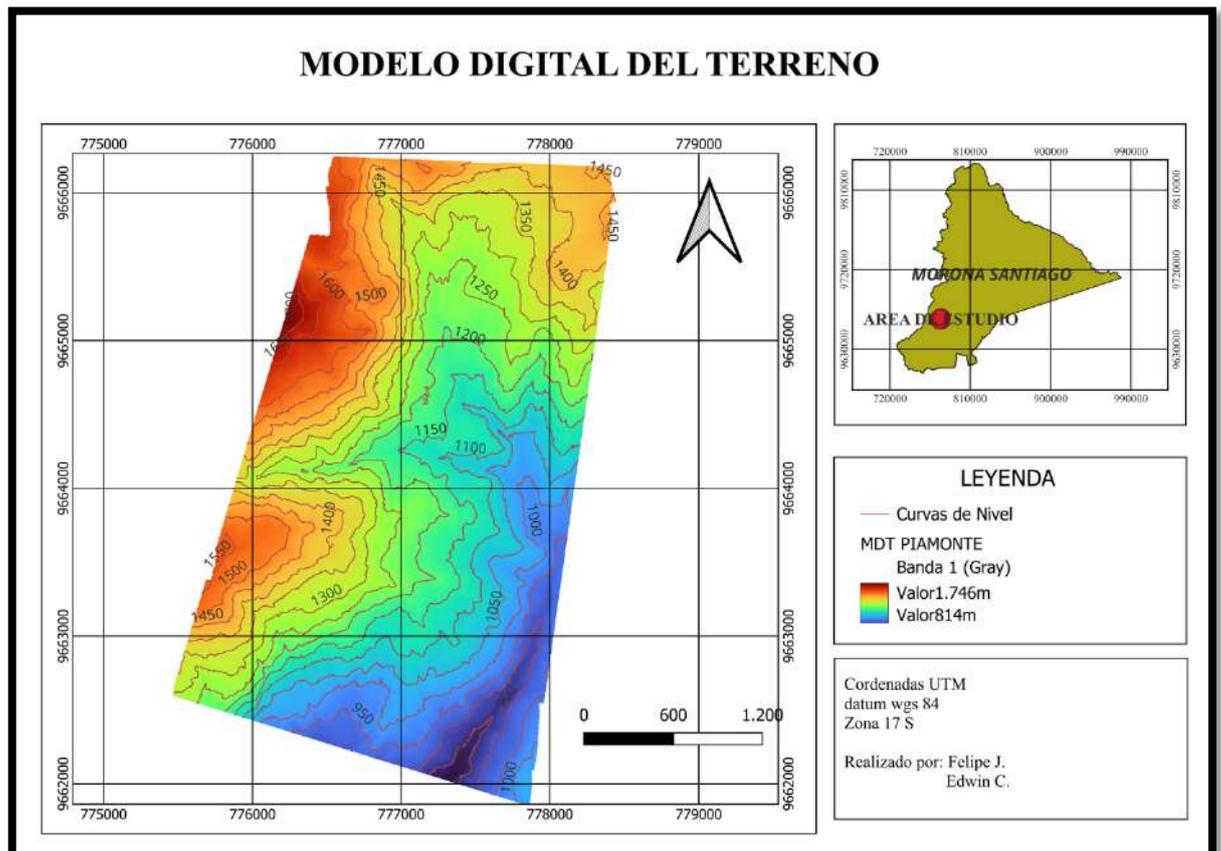
Realizado por: Cunalata, E; Jara, F., 2023

## Análisis

Para realizar el vuelo y obtener el levantamiento por la extensión del terreno se ha dividido mediante grillas para tener objetivos de trabajo, la zona de estudio tiene un perímetro de 13 462.9 metros, un área total de 9.059e+06 metros cuadrados (905.9 ha), se cuenta con volúmenes tanto

por encima ( $1.79432e+08 \text{ m}^3$ ) como por debajo ( $6.80878e+08 \text{ m}^3$ ). Uno de los resultados es un plano de comparación que consiste en impregnar cualquier punto, superficie o línea que se emplea como referencia para medir alturas.

#### 4.2 Modelo Digital del Terreno de Piamonte



**Ilustración 4-7:** Modelo Digital de Terreno "Piamonte"

**Fuente:** Software ArcGIS, 2023

**Realizado por:** Cunalata, E; Jara, F., 2023

Se presenta el MDT o Modelo Digital de Terreno correspondiente a Piamonte, se trata de una superficie continua en representación de la superficie Terrestre, en el presente trabajo ha sido obtenido a través de fotogrametría. Se ha conformado tras obtener un conjunto de datos para la distribución espacial que tiene un valor de altitud (Z) y también los valores de X y Y, teniendo como objetivo representar el relieve en un modelo ráster de la zona de Piamonte, un área que es extensa y que no cuenta con datos topográficos previos, se puede visualizar también que se incluyen las curvas de nivel lo cual es fundamental para conocer el relieve del lugar.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

El mapeo que se realizó en el área de estudio, determino diferentes parámetros topográficos que pueden ser analizados mediante la fotogrametría, como:

- Medición del terreno
- Curvas de nivel
- Modelo digital del terreno.
- Ortofoto

Por lo cual lo importante fue determinar las condiciones generales del terreno en la toma de datos en aspectos de altura de vuelo, relieve del terreno, objeto de estudio (Área a tomar datos). Por ejemplo, para la toma datos en las partes más altas del terreno se planea desde el punto más alto.

La fotogrametría con el pasar de los años ha evolucionado pasando por diversos ciclos, con la aplicación de diversos equipos es lo que hoy en día se trata de una herramienta muy importante para la obtención de modelizaciones en 3D. por lo cual es de vital importancia antes de salir al campo conocer los fundamentos básicos acerca de la fotogrametría que son las proyecciones que han sido transformadas de centrales a ortogonales las cuales nos permiten tener imágenes con más detalles, aplicando la visión estereoscópica que data una serie de resultados desde diferentes puntos y ángulos de proyección e inclinación, he aquí que se evita al máximo las disidencias o mezclas entre imágenes que puedan generar deformaciones, toma en cuenta la geometría de las imágenes y el procesamiento.

Dentro de los parámetros a tomar en cuenta se encuentra que al momento de realizar el levantamiento para la toma de datos que serán los conformantes del mapeo, se debe tener todos los equipos necesarios al momento del traslado, las baterías cargadas para no generar contratiempos, calibrar la cámara, realizar el armado del UAV, tener una correcta posición con referencia al UAV(Siempre visible), verificar que exista una correcta iluminación evitando realizar la actividad en días lluviosos (alta nubosidad) o con vientos fuertes, es decir, el clima es de alta influencia en la toma de los datos, hay que tomar en cuenta que se debe tener una técnica de manejo ya que existen aves territoriales y pueden causar caídas del equipo, la distancia con referencia al suelo en este caso siempre será de 150 metros para toda el área de estudio.

Una vez obtenidas las imágenes en campo se requiere el procesamiento de estas, para ello se ha aplicado el software Agisoft Metashape, añadiéndolas para generar paso a paso un MDT, para esto se requiere de un mallado, orientar las imágenes escogiendo la calidad y creando las nubes de puntos tanto la relativa como posteriormente la nube de puntos densa, se pueden obtener las curvas de nivel las mediciones del terreno y la textura en 3D para finalmente obtener el MDE (Modelo Digital de elevaciones) y el MDT (Modelo Digital de Terreno, los han sido generados en ArcGIS ya con todos los resultados adquiridos en el software anterior.

El solapamiento del 75% ejecutado en el área de estudio permitió obtener una correcta información detallada y homogénea, la cual facilito el análisis del terreno y sus diferentes aplicaciones de fotogrametría, por lo cual del escenario de se obtuvo más de 4 millones de puntos con la toma de más de 5mil fotos a una distancia del objetivo de 150m, en un área de 10Ha, obteniendo resultados de triangulación de puntos de manera eficaz.

## **5.2 Recomendaciones**

Antes de salir al campo a tomar datos de fotogrametría si se trata de pilotos o estudiantes nuevos en el tema se recomienda realizar capacitaciones sobre la aplicación y uso adecuado de los equipos que sirven para la fotogrametría, realizando pruebas de vuelo, uso de software para el planeo y procesamiento de información fotogramétrica, con la finalidad de reconocer problemas que se pueden presentar en el campo.

Al momento del retorno del UAV es recomendable que, si se encuentra lejos del piloto, es decir a una distancia poco considerable, se debe ejecutar el retorno preventivo con un buen porcentaje de batería para evitar posibles colisiones.

Se recomienda iniciar el levantamiento en horas de 10am a 12pm y de 2pm hasta las 4pm, debido a que la configuración del equipo trata de optar por la iluminación correcta para ajustar automáticamente la velocidad de la toma de fotografías, por lo cual el tiempo correcto a un buen clima el UAV volara con mayor velocidad optimizando el tiempo, baterías y velocidad en la toma de datos fotogramétricos.

Se recomendada realizar el plan de vuelo en una ubicación estratégica donde el equipo este siempre visible al piloto con la finalidad de evitar pérdidas de señal por interferencia optando por los puntos más altos del terreno de acuerdo con la ubicación del área a tomar datos fotogramétricos.

Para iniciar el postproceso de los datos se debe realizar con la máxima calidad la orientación de las imágenes con el fin de obtener una buena correlación de los puntos de cada imagen individual.

Para procesar los datos obtenidos se recomienda realizarlos en un equipo de cómputo de alta gama con el fin de optimizar tiempo y calidad en el procesamiento de información los equipos deben tener las siguientes características mínimas:

- Procesador ryzen 7 5800 o Intel I7 10ma generación en adelante.
- Memoria RAM 16gb
- Disco duro solido o NVME
- Tarjeta de video dedicada NVIDIA.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALVAREZ, Hernan.** *Calibración de cámara en fotogrametría* [blog]. [Consulta: 30 junio 2023]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/calibraci%C3%B3n-de-c%C3%A1mara-en-fotogrametr%C3%ADa-hern%C3%A1n-%C3%A1lvarez>

**BAUTISTA LÓPEZ, Erick Leonardo.** Programación de un vehículo inteligente aéreo no tripulado para el pilotaje autónomo en diferentes ambientes [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva, Quito, Pichincha, Ecuador. 2021. pp. 16-18. [Consulta: 2023-03-19]. Disponible en: <http://dspace.istvidanueva.edu.ec/bitstream/123456789/139/1/BAUTISTA%20LOPEZ%20ERICK%20LEONARDO.pdf>

**BUSTILLOS CUELLAR , Javier.** Modelado en 3D mediante Fotogrametría de puente en Sangonera la Verde [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Colombia. 2014. pp. 34-55. [Consulta: 2023-07-13]. Disponible en: [file:///C:/Users/ORTEL/Downloads/Tesis\\_Fotogrametria\\_Aerea%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ORTEL/Downloads/Tesis_Fotogrametria_Aerea%20(1).pdf)

**CANADA.CA.** *Concepts of Aerial Photography* [blog]. [Consulta: 23 julio 2023]. Disponible en: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/air-photos/national-air-photo-library/about-aerial-photography/concepts-aerial-photography/9687>

**CARDENAS, Víctor.** Procedimiento para la captura de datos fotogramétricos con la ayuda de aparatos controlados remotamente, como herramienta para la evaluación en estabilidad de taludes y difusión con realidad aumentada [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 2018. p. 40. [Consulta: 2023-06-19]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/427649376.pdf>

**CEPEDA NAULA , Roberto Alonso.** Investigación y desarrollo metodológico del uso de vehículo aéreo no tripulado (UAV) en las geociencias [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Central del Ecuador, Quito, Pichincha, Ecuador. 2017. p. 7. [Consulta: 2023-03-19]. Disponible en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/f373fb23-2792-43f6-be68-cef6530230b8>

**CHELI, A.** *Introducción a la fotogrametría y su evolución* [En línea]. La Plata-Argentina: Ediciones Hespérides, 2011. [Consulta: 12 junio 2023]. Disponible en: <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/libagr/index/assoc/HASH013d.dir/doc.pdf>

**CLAROS ZELAYA, Rene; et al. 2016.** Aplicación de Fotogrametría mediante el uso de vehiculos aéreos no tripulados [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador. 2016. p. 11. [Consulta: 2023-04-10]. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14218/1/50108282.pdf>.

**DEL LUIS RUIZ, Julio Manuel.** Fotogrametría y Geodesia [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Cantabria, Santander, España. 2010. p. 24. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: [https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2491/course/section/2557/UD%2520IV%2520\\_Todo\\_](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2491/course/section/2557/UD%2520IV%2520_Todo_)

**DEL RÍO SANTANA, Omar; et al.** Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Juárez, Durango, Mexico. 2020. pp 13-15. [Consulta: 2023-07-07]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/1939/193963490001/html/>

**GAD Municipal del cantón San Juan Bosco.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.* 2015 [blog]. [Consulta: 31 marzo 2023]. Disponible en: [http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria\\_tecnica\\_Coberturas\\_SAN\\_JUAN\\_BOSCO\\_20150706.pdf](http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Coberturas_SAN_JUAN_BOSCO_20150706.pdf)

**GARIJO VERDEJO, Daniel; et al.** Control de un vehículo aéreo no tripulado [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España. 2009. p. 3. [Consulta: 2023-03-19]. Disponible en: <https://docta.ucm.es/entities/publication/4380d4b6-58db-440e-a0bd-633b5cef3720>

**HOBBY TUXTLA.** *Topografía con drones vs levantamiento terrestre* [blog]. [Consulta: 7 Julio 2023]. Disponible en: <https://www.hobbytuxtla.com/topografia-drones-vs-levantamiento-terrestre/#topograf%C3%ADa-con-drones-vs-levantamiento-terrestre>.

**LOZADA, José.** *Investigación Aplicada* [blog]. [Consulta: 23 Julio 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>.

**PACHAS, R.** "El levantamiento topográfico: uso del GPS y estación total". Espacios virtuales en educación [En línea], 2009, (Venezuela) 8(16), p.30. [Consulta: 19 marzo 2023]. ISSN 1690-3226. Disponible en: <http://revencyt.ula.ve/storage/repo/ArchivoDocumento/academia/v8n16/articulo3.pdf>

**PERALES, Moises; & ZENTERO, Juan.** "Aplicación de aerofotogrametría con UAV para la actualización de la superficie topobatimétrica en embalses de montaña". REVISTA Facultad de ciencias exactas, físicas y naturales [En línea], 2022, (Bolivia) 9(1), p. 3. [Consulta: 28 marzo 2023]. ISSN 01-36679. Disponible en: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFyN/article/download/36679/37636/134823>.

**PIXAD.** *Qué es y qué utilidad tiene para la fotogrametría* [blog]. [Consulta: 29 Junio 2023]. Disponible en: <https://umilesgroup.com/lidar-vs-fotogrametria/>.

**SANTAMARÍA PEÑA, Jacinto; & SANZA MÉNDEZ, Teófilo.** *Fundamentos de fotogrametría*. [En línea]. La Rioja-España: Servicios de Publicaciones La Rioja, 2011. [Consulta: 19 junio 2023]. Disponible en: [file:///C:/Users/ORTEL/Documents/TESIS%20EDWIN\\_SEBASTIAN/fundamentos-de-fotogrametria\\_compress.pdf](file:///C:/Users/ORTEL/Documents/TESIS%20EDWIN_SEBASTIAN/fundamentos-de-fotogrametria_compress.pdf)

**TOPOINGRA.** *Fotogrametría aérea con dron*e [blog]. [Consulta: 7 julio 2023]. Disponible en: <https://www.topoingra.com/2018/03/08/fotogrametria-aerea-con-drones/#:~:text=DESVENTAJAS%20DE%20LA%20FOTOGGRAMETR%C3%8DA%20CON%20DRONES&text=Para%20el%20caso%20de%20un,un%20tiempo%20de%20vuelo%20limitado..>

**UTILTECH.** *Teledetección y fotogrametría* [blog]. [Consulta: 30 junio 2023]. Disponible en: <https://www.utiltech.es/blog/teledeteccion-y-fotogrametria/>.

**WINGTRA.** *Fotogrametría vs. LIDAR: qué sensor elegir para una aplicación determinada* [blog]. [Consulta: 19 junio 2023]. Disponible en: <https://wingtra.com/es/dron-fotogrametria-vs-lidar/>.

**WINGTRA.** *Drones para minería: cómo usar y elegir el mejor* [blog]. [Consulta: 12 mayo 2023]. Disponible en: <https://wingtra.com/es/drones-para-mineria/>.

## ANEXOS

### ANEXO 1: CONVERSATORIO CON LA COMUNIDAD DE PIAMONTE



### ANEXO 2: ÁREA DE ESTUDIO CORRESPONDIENTE A PIAMONTE



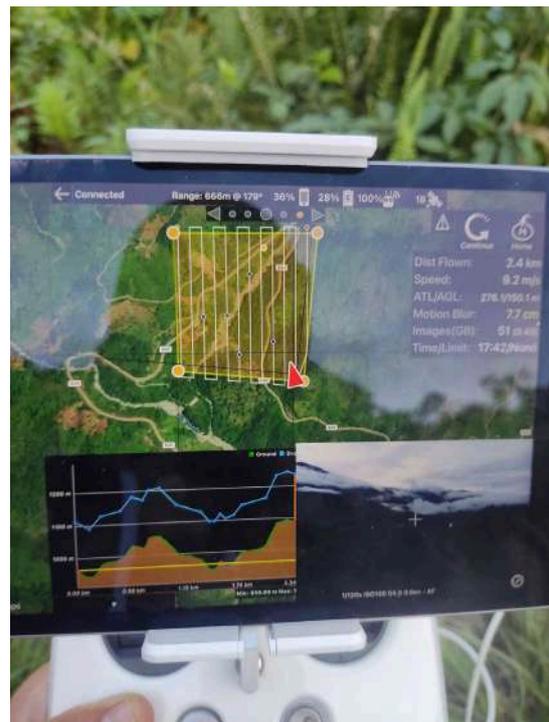
### ANEXO 3: ADECUACIÓN DEL VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO



### ANEXO 4: PLANIFICACIÓN DE VUELO CON MAP PILOT



## ANEXO 5: TOMA DE DATOS MEDIANTE MAP PILOT





epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 15 / 01 / 2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Felipe Sebastian Jara Ulloa Edwin Bryan Cunalata Chaquina
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Recursos Naturales
<b>Carrera:</b> Minas
<b>Título a optar:</b> Ingeniero en Minas
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



2232-DBRA-UPT-2023