



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS
CON ESTACIÓN TOTAL Y VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVS)
EN LOS ANDES DEL SUR DEL ECUADOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

título de Ingeniero Civil

AUTORES: JORGE AMARO YUMBLA VERDUGO

JONATHAN BENIGNO CHABLA MOCHA

TUTOR: ING. VICENTE MAURICIO IÑIGUEZ MORÁN, PhD.

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jorge Amaro Yumbla Verdugo con documento de identificación N° 0107442469 y Jonnathan Benigno Chabla Mocha con documento de identificación N° 0107231847; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 08 de febrero del 2024

Atentamente,



Jorge Amaro Yumbla Verdugo

0107442469



Jonnathan Benigno Chabla Mocha

0107231847

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Jorge Amaro Yumbla Verdugo con documento de identificación N° 0107442469 y Jonnathan Benigno Chabla Mocha con documento de identificación N° 0107231847, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con estación total y vehículos aéreos no tripulados (UAVS) en los Andes del sur del Ecuador”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 08 de febrero del 2024

Atentamente,



Jorge Amaro Yumbla Verdugo

0107442469



Jonnathan Benigno Chabla Mocha

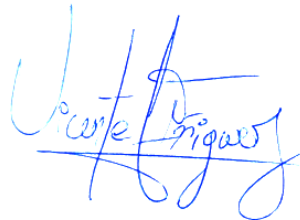
0107231847

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Vicente Mauricio Ñíguez Morán con documento de identificación N° 0102687191 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON ESTACIÓN TOTAL Y VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVS) EN LOS ANDES DEL SUR DEL ECUADOR, realizado por Jorge Amaro Yumbra con documento de identificación N° 0107442469 y por Jonnathan Benigno Chabla Mocha con documento de identificación N° 0107231847, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 08 de febrero de 2024

Atentamente,



Ing. Vicente Mauricio Ñíguez Morán, PhD.

0102687191

DEDICATORIA

Primeramente dedicar esta tesis representa no solo un logro académico, sino también un tributo a dos personas extraordinarias: mis padres. Su sacrificio y generosidad económica han hecho posible este camino de aprendizaje. A través de este trabajo, quiero expresar mi profunda gratitud por su apoyo incondicional y por ser los pilares que sostienen mis sueños. Tambien quiero agradecer a todas las personas que he conocido a lo largo de mi carrera, y por la último a la universidad que se convirtiio en un segundo hogar para mi. Este logro no sería posible sin ustedes.

Jorge Amaro Yumbla Verdugo

Este trabajo de graduación representa años de dedicación, educación y desarrollo tanto en lo personal como en lo profesional.

Quiero primero que nada dedicar este éxito a Dios, por darme otro día de vida y permitirme alcanzar este momento.

Agradezco profundamente a mis padres, Rosa y Luis, por su amor sin límites y su apoyo inquebrantable en cada etapa de este viaje. También a mi familia, que me ha impulsado e inspirado a seguir mis intereses con empeño a lo largo de este proceso educativo.

Con todo mi cariño.

Jonnathan Benigno Chabla Mocha

AGRADECIMIENTOS

Al cerrar este importante capítulo de nuestras vidas, reflexionamos sobre el desafiante y enriquecedor viaje de completar nuestra carrera y tesis, marcado por un profundo crecimiento y aprendizaje, posible gracias al invaluable apoyo y orientación de muchas personas a quienes estamos eternamente agradecidos. Nuestro director de tesis merece un agradecimiento especial por su paciencia, sabiduría y apoyo, que han sido cruciales en nuestro desarrollo académico y personal, ayudándonos a superar los obstáculos más difíciles. Extendemos nuestra gratitud al jurado y al personal docente por su rigor académico y pasión, que han ampliado nuestra perspectiva para futuros retos profesionales. A nuestras familias que, siempre han sido un pilar de soporte, amor y motivación, junto con nuestros compañeros. A todos los que han contribuido de alguna manera al desarrollo de nuestro trabajo, les agradecemos por su confianza y apoyo. Este logro es tanto un testimonio de nuestro esfuerzo como de la confianza y el apoyo de todos ustedes, en este momento significativo de nuestras vidas.

RESUMEN

El análisis comparativo entre levantamientos topográficos realizados con estación total y vehículos aéreos no tripulados (UAVS) en los Andes del sur del Ecuador revela diferencias significativas en términos de eficiencia y precisión en la obtención de datos geoespaciales. La investigación se centró en evaluar el desempeño de ambas tecnologías en un entorno montañoso específico.

En la ejecución de levantamientos topográficos con estación total, se observó que este método tradicional ofrece resultados precisos, pero su velocidad de adquisición de datos es limitada y se ve afectada por la topografía irregular de la región. Por otro lado, la utilización de vehículos aéreos no tripulados demostró ser una alternativa eficaz y rápida para la captura de información topográfica en áreas de difícil acceso.

Los UAVS, al emplear cámaras de alta resolución, lograron generar modelos tridimensionales detallados del terreno, superando las limitaciones de la estación total en términos de cobertura y tiempo. Sin embargo, es importante destacar que la precisión de los datos obtenidos con UAVS puede verse afectada por condiciones climáticas adversas y la necesidad de una planificación meticulosa del vuelo.

Este estudio resalta la complementariedad de ambas tecnologías en el ámbito de levantamientos topográficos, sugiriendo que la elección entre estación total y UAVS dependerá de las características específicas del entorno y los objetivos del proyecto. La combinación de estas tecnologías puede optimizar la recopilación de datos geoespaciales en áreas geográficas desafiantes, como los Andes del sur del Ecuador.

Palabras claves: Levantamiento topográfico, estación total, vehículos aéreos no tripulados (UAVS), comparativa, precisión, eficiencia, entornos montañosos.

ABSTRACT

The comparative analysis between total station and unmanned aerial vehicles (UAVS) surveying in the Andes of southern Ecuador reveals significant differences in terms of efficiency and accuracy in obtaining geospatial data. The research focused on evaluating the performance of both technologies in a specific mountain environment.

In the execution of topographic surveys with total station, it was observed that this traditional method offers accurate results, but its data acquisition speed is limited and is affected by the irregular topography of the region. On the other hand, the use of unmanned aerial vehicles proved to be an efficient and fast alternative for the capture of topographic information in areas of difficult access.

UAVS, by employing high resolution cameras, were able to generate detailed three-dimensional models of the terrain, overcoming the limitations of the total station in terms of coverage and time. However, it is important to note that the accuracy of data obtained with UAVS can be affected by adverse weather conditions and the need for meticulous flight planning.

This study highlights the complementarity of both technologies in the field of topographic surveys, suggesting that the choice between total station and UAVS will depend on the specific characteristics of the environment and the project objectives. The combination of these technologies can optimize geospatial data collection in challenging geographic areas, such as the Andes of southern Ecuador.

Key words: topographic survey, total station, unmanned aerial vehicles (UAVS), comparative, accuracy, efficiency, mountainous environments.

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	14
2.	PROBLEMA	19
2.1	Antecedentes.....	19
2.2	Importancia y alcance.	21
3.	OBJETIVOS.....	21
3.1	Objetivo General.....	21
3.2	Objetivos Específicos.	22
4.	REVISIÓN DE LA LITERATURA Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	22
4.1	Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	22
4.2	Topografía.....	24
4.3	Levantamiento topográfico.	25
4.4	Puntos de referencia.....	26
4.5	Marco legal para la georreferenciación de los puntos de referencia.....	28
4.6	Levantamiento de punto de referencia con RTK.	29
4.7	Levantamiento con estación total.	29
4.7.1	Definición de Estación total.	29
4.7.2	Montaje de la estación total.....	31
4.8	Levantamiento topográfico con fotogrametría mediante UAVS.....	31
4.8.1	Definición de fotogrametría.....	32
4.9	Marco legal en Ecuador para el uso de los UAVS	32
4.10	Ortofoto u ortoimagen.	33
4.11	Mapa ortomosaico.....	33
4.12	Teledetección.	34
4.13	Estructura a partir del movimiento (SfM).....	34
4.14	Sistema de información geográfica (SIG).	34
4.15	Metadatos.....	35
4.16	Función de la fotogrametría.....	35
4.17	Fotogrametría y el espectro electromagnético.	36
4.18	Factores que afectan la obtención de un mapa orto mosaico detallado.	37

4.19	Consejos para obtener una ortoimagen de alta calidad.....	37
4.19.1	Altitud y velocidad.....	37
4.19.2	Ángulos de vista.....	38
4.19.3	Configuración de la cámara.	39
4.19.4	Combinación de imágenes.....	39
4.20	Resolución de fotogrametría.....	40
4.21	Características que debe cumplir el software.	41
4.21.1	Velocidad.....	41
4.21.2	Precisión.....	42
4.21.3	Estabilidad	42
4.21.4	Limitaciones de carga.	42
4.21.5	Simple de usar.....	43
4.22	Software para fotogrametría	43
4.22.1	Pix4D	43
4.22.1.1	Movimiento de tierras.	44
4.22.1.2	BIM (Modelado de información de construcción).....	45
4.22.1.3	Inspección.....	45
4.22.2	Pix4Dmapper Pro.....	45
4.23	Sistemas de información geográfica SIG.....	46
4.23.1	Componentes Principales de un Sistema de Información Geográfica	47
4.24	Definición de Quantum GIS (QGIS).	48
4.25	Clasificación de pendientes.....	48
5.	MARCO METODOLOGICO	49
5.1	Zona de Estudio.	49
5.2	Levantamiento topográfico con estación total	51
5.2.1	Planificación del levantamiento.	52
5.2.2	Equipos para el levantamiento con estación total.....	52
5.2.3	Equipos y herramientas adicionales.	52
5.2.4	Capacitacion del personal.....	53
5.3	Test del equipo antes de su uso.....	53
5.4	Puntos de control.	54

5.5	Puesta en estación.....	55
5.6	Orientación.....	56
5.7	Toma de puntos.....	57
5.8	Operaciones y trabajo de oficina con software Qgis.	58
5.8.1	Importación de puntos.	58
5.9	Levantamiento topográfico con UAV (dron).....	60
5.9.1	Elaboración de plan de vuelo de un dron.	60
5.9.1.1	Identificar la zona de vuelo.	60
5.9.2	Conocer las limitaciones técnicas del dron.	60
5.9.3	Evaluar las condiciones meteorológicas.....	61
5.9.4	Planificar la ruta de vuelo.....	62
5.9.5	Establecer puntos de referencia.	63
5.10	Pos proceso de obtención de datos de vuelo con dron.....	65
5.10.1	Descargar datos de vuelo y revisión de las imágenes obtenidas por dron. .	65
5.10.2	Procesamiento de imágenes.....	66
5.10.2.1	Generación de modelos precisos.	66
5.10.2.2	Georreferenciación de datos.....	67
5.10.2.3	Análisis detallado del Terreno.....	68
5.10.2.4	Mediciones Precisas	69
5.10.2.5	Visualización Inmersiva.....	69
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
6.1	Resultados a partir de levantamiento con estación total.....	71
6.1.1	Interpolación.....	71
6.1.2	Creación de curvas de nivel.....	73
6.1.3	Modelo Digital de la Superficie a partir de nube de puntos.....	74
6.2	Características de los levantamientos realizados en la zona analizada.....	75
6.2.1	Resolución espacial del modelo de elevación digital (DEM).....	76
6.2.1.1	Discusión de dimensiones	77
6.2.1.2	Discusión del origen.....	77
6.2.1.3	Discusión del tamaño de pixeles	77
6.2.2	Número de puntos.....	78

6.2.2.1	Discusión del número de puntos	79
6.2.3	Elevación	80
6.2.3.1	Discusión de Elevación	81
6.2.4	Área	82
6.2.4.1	Discusión área	82
6.2.5	Perfil de elevación	83
6.2.5.1	Discusión perfil de elevación	86
6.2.6	Pendientes.....	87
6.2.6.1	Discusión pendientes.....	89
7.	CONCLUSIONES.....	89
8.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	94

INDICE DE FIGURAS

Fig. 4.1 Ubicación geográfica del área de estudio.....	24
Fig. 4.2 Estacionamiento de instrumento	31
Fig. 4.3 Angulo de cámara y superposición puestas por Pix4d.....	40
Fig. 5.1 Mapa de ubicación de la zona de levantamiento.....	51
Fig. 5.2 Fijación de hito de control.....	54
Fig. 5.3 Nube de puntos en QGIS.....	59
Fig. 5.4 Condiciones meteorológicas	62
Fig. 5.5 Ruta de vuelo en campo colocada en Pix4d.....	63
Fig. 5.6 Puntos de referencia para vuelo de dron.	64
Fig. 5.7 Fotografía tomada por dron en vuelo.	66
Fig. 5.8 Puntos de control referenciados.	68
Fig. 5.9 Visualización inversa de la zona de estudio.....	70
Fig. 5.10 Visualización inversa posterior de la zona de estudio.....	71
Fig. 6.1 Interpolación de datos obtenidos por la estación total.	72
Fig. 6.2 Interpolación del DEM obtenido por fotogrametría.....	73
Fig. 6.3 Creación de curvas de nivel a partir de los puntos obtenidos por la estación total. 74	
Fig. 6.4 Creación de curvas de nivel a partir del DEM obtenido por el vehículo aéreo no tripulado (UAV).	74
Fig. 6.5 Modelo de la superficie en 3D con estación total.....	75
Fig. 6.6 Modelo de la superficie en 3D con UAVS.....	75
Fig. 6.7 Dimensiones obtenidas del DEM a partir de levantamiento con UAVS	76
Fig. 6.8 Dimensiones obtenidas del DEM a partir de levantamiento por estación total.	76
Fig. 6.9 Número de puntos obtenidos por el levantamiento por UAVS.....	79
Fig. 6.10 Número de puntos obtenidos por el levantamiento con estación total.....	79
Fig. 6.11 Elevación máxima y mínima del DEM a partir del levantamiento con UAVS. ...	80
Fig. 6.12 Elevación máxima y mínima del DEM a partir del levantamiento con estación total	81
Fig. 6.13 Área cubierta con UAVS.....	82
Fig. 6.14 Área cubierta con estación total	82
Fig. 6.15 Ubicación de sendero para perfil de elevación (UAV).	84
Fig. 6.16 Perfil de elevación del sendero por medio de UAV.....	85
Fig. 6.17 Ubicación de sendero para perfil de elevación (Estación Total).....	85
Fig. 6.18 Perfil de elevación del sendero por medio de estación total.	86
Fig. 6.19 Porcentaje de pendiente del levamiento por UAV.....	88
Fig. 6.20 Porcentaje de pendiente del levamiento por UAV.....	89

INDICE DE TABLA

Tabla 4.1 Clasificación del tipo de pendiente según su porcentaje.....	49
<i>Tabla 5.1</i> Coordenadas de puntos de control	55

1. INTRODUCCIÓN.

El levantamiento topográfico de cualquier tipo de terreno nos puede brindar información muy importante sobre la localización, la altura o elevación de lagos, ríos, cordilleras y otros diferentes tipos de fenómenos geográficos más relevantes de un área determinada, en este caso se desea demostrar de forma detallada la geomorfología de un mapa topográfico en una zona que pertenece a los Andes la cual es muy propensa a deslizamientos de tierras.

Los mapas topográficos son la base para cualquier tipo de planificación y gestión de recursos naturales, debido a que permite prevenir ciertos riesgos derivados de los procesos geodinámicos que son característicos de este tipo de zonas. Para la obtención de un mapa topográfico con una alta resolución y detalle de la ubicación que cuenta con bastantes áreas montañosas se tomó como base un estudio realizado por los alrededores de la región de Viena - Austria, la cual cuenta con una gran complejidad en su geomorfología parecida al presente caso. Para la elaboración de su mapa topográfico se usó una escala de 1:10000, la cual es de las más precisas y detalladas en el campo de la topografía, por medio de técnicas de fotogrametría aérea y el uso adicional de imágenes satelitales para la obtención de datos topográficos con una alta precisión y resolución (Kraus & Pfeifer, 1998).

Se ha afirmado que los corrimientos de tierras son los fenómenos más dañinos en las regiones montañosas del mundo. Debido a factores causales preparatorios, condicionales y desencadenantes, las áreas montañosas son susceptibles a movimientos en masa. Los estímulos externos responsables del inicio real de los movimientos en masa se conocen como factores causales desencadenantes (por ejemplo, precipitaciones, temblores y uso del suelo).

La inestabilidad de las laderas se debe a factores condicionales como la geología, la meteorización, el suelo y la topografía. Las zonas inestables en el material terrestre de las laderas de las colinas suelen ser causadas por la actividad humana en las regiones montañosas (Nakileza & Nedala, 2020).

La importancia de la topografía llevada a cabo en zonas montañosas se basa en determinar la longitud de la ladera y del valle, el gradiente de la ladera y el microrrelieve presente en este ya sea de forma natural o por causa del ser humano, los cuales influyen de una manera significativa en la transferencia de varios sedimentos y en los procesos de acumulación de estratos de sedimentos en zonas montañosas. Las condiciones topográficas de algunas zonas montañosas pueden ser favorecidas debido al almacenamiento de sedimentos ya que estos limitan la distancia de transporte que existen este tipo de zonas (Latocha, 2009). La influencia de los deslizamientos de tierra demuestra los efectos de un solo desencadenante, este tipo de fenómenos puede ser producido ya sea por un terremoto, una intensa lluvia o un derretimiento de una capa de nieve. Por medio de diferentes técnicas es posible recopilar varios mapas topográficos que cuentan con un inventario de eventos de deslizamiento de tierra, dentro de este tipo de técnicas de recopilación podemos encontrar: la interpretación de fotografías aéreas estereoscópicas tomadas poco después de un evento, análisis visual o digital de un modelo de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) de alta resolución obtenidos de sensores Lidar aerotransportados y estudios de campo de reconocimiento (Fiorucci et al., 2011).

En el caso de estudio de Marín et al. (2021) nos demuestra por medio de diferentes técnicas capaces de pronosticar la intensidad y el periodo de duración de las precipitaciones que

provocan deslizamientos de tierra en zonas montañosas con escasez de datos topográficos precisos y detallados que son parte fundamental del análisis geomorfológico, para poder prevenir este comportamiento natural que tiene el suelo en este tipo de zonas que poseen una alta probabilidad de deslizamientos.

En otro estudio, Martínez-Carricondo et al. (2018) evalúan la eficacia y la precisión de varios programas de fotogrametría para crear mapas topográficos de alta resolución en áreas montañosas. Utilizan UAVS o drones para obtener imágenes aéreas de diferentes regiones montañosas en Colorado (Estados Unidos) y comparan los resultados de diferentes métodos de procesamiento de imágenes para crear mapas topográficos precisos. Los autores llegan a la conclusión de que los drones y la fotogrametría son herramientas muy útiles para obtener información detallada de la topografía en zonas montañosas, y que la precisión de los mapas topográficos creados depende en gran medida del software utilizado para el procesamiento de imágenes. En general, la fotogrametría puede ser más adecuada para áreas grandes y planas, mientras que la estación total es preferible para áreas pequeñas o con una topografía más compleja. Sin embargo, cada caso debe ser evaluado de manera individual para determinar la técnica más adecuada para cada proyecto. A diferencia de las fotografías terrestres comunes, las fotografías aéreas verticales presentan una visión global de las características del terreno o en planta y desde el aire. Esto confiere a los objetos y escenas varias características visuales que resultan inusuales y desafiantes para los observadores inexpertos (Šikl et al., 2019). La fotografía aérea se centra en la creación de modelos fotogramétricos detallados que abarcan un área relativamente pequeña mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados y otras plataformas (Thomas, 2017).

El desarrollo de sistemas y plataformas de vehículos aéreos no tripulados en el pasado se ha basado principalmente en objetivos y aplicaciones militares. Los principales objetivos militares eran la inspección, la vigilancia, el reconocimiento y la cartografía no tripulados de zonas inhóspitas. Przybilla y Wester-Ebbinghaus en 1979 realizaron las primeras pruebas para aplicaciones geomáticas. Las aplicaciones de los UAV en el campo de la geomática han aumentado en los últimos años. En efecto, la fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados abre nuevas y diversas aplicaciones en el ámbito aéreo de corto alcance. Además, ofrece alternativas accesibles a la fotogrametría aérea tripulada tradicional (Remondino et al., 2011).

En la actualidad, la tecnología de topografía y mapeo ha evolucionado significativamente. En este sentido, el uso de herramientas como estaciones totales y drones se ha vuelto cada vez más común en la realización de estudios topográficos en zonas montañosas.

La tecnología UAV se centra en identificar aplicaciones de pastizales que puedan beneficiarse de las imágenes. Esto incluye el desarrollo de estrategias metodológicas que empleen el UAV. Este desarrollo ha requerido un cambio en nuestras perspectivas metodológicas tradicionales sobre los marcos de muestreo y la recopilación de datos (Hardin & Jackson, 2005). En este estudio, se evaluará el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) como un método rápido y seguro para monitorear los recursos naturales. La cubierta vegetal y la cantidad de suelo desnudo son factores importantes para comprender la sostenibilidad de muchos ecosistemas (Breckenridge et al., 2011).

A la hora de realizar mediciones precisas y crear mapas topográficos detallados y confiables, la topografía de una zona montañosa presenta algunos desafíos. En este sentido, el uso de

la estación total se ha convertido en una técnica esencial para la topografía en zonas montañosas. La estación total es un instrumento geodésico que mide ángulos y distancias en el terreno y permite determinar la ubicación y elevación de puntos específicos. La estación total es una herramienta popular para medición topográfica que se aplica en diversas áreas como la topografía y el desarrollo del terreno. Las estaciones totales son útiles para monitorear cambios geomorfológicos en ríos, glaciares, playas y taludes (Wheaton et al.,2012).

Para obtener la cartográfica del área se usará un programa que proporciona datos georreferenciados con una precisión de centímetros. Se pueden obtener imágenes de alta resolución y modelado tridimensional detallado de esta manera, lo que es esencial para realizar estudios topográficos. Estos dispositivos pueden realizar trabajos en lugares que antes eran difíciles y peligrosos para el trabajo humano debido a su rapidez, confiabilidad y bajo costo.

Las cartografías fotogramétricas actuales se crean utilizando software SIG avanzado que puede realizar mediciones topográficas precisas de entornos naturales y construcciones. Estas representaciones visuales tienen un nivel de detalle adecuado que pueden brindar datos importantes acerca de las condiciones ambientales en el lugar registrando el desgaste, la cantidad de plantas, la pureza del agua y otras características.

El análisis comparativo de un levantamiento topográfico entre una estación total y UAVS es un tema importante en el campo de la topografía y la cartografía. Ambas técnicas son utilizadas ampliamente en la obtención de información geoespacial para la elaboración de mapas, planificación urbana, construcción de infraestructuras, entre otros fines. En un

análisis comparativo, se evalúan las ventajas y desventajas de cada técnica en términos de precisión, velocidad y costo. También se consideran otros factores, como el tipo de terreno y la disponibilidad de recursos técnicos y humanos.

2. PROBLEMA

La evaluación y comparación de la eficiencia y precisión de dos tecnologías destacadas, la estación total y los UAVS, es necesaria en el contexto de levantamientos topográficos en entornos montañosos de los Andes del Sur de Ecuador. El desafío radica en determinar cuál de estas metodologías funciona mejor para obtener datos topográficos precisos y detallados en áreas con condiciones geográficas difíciles de acceder. Este análisis es fundamental para guiar la mejor selección y aplicación de tecnologías en los proyectos de ingeniería, planificación territorial y gestión de recursos naturales en esta región específica.

El problema planteado establece el marco para la investigación, enfatizando la relevancia de comparar estación total y UAVS en un contexto geográfico específico y destacando la importancia de la eficiencia y precisión en la toma de decisiones para proyectos particulares en los Andes del Sur de Ecuador.

2.1 Antecedentes

La cartografía y la planificación territorial se basaron en el estudio y la evolución de las técnicas de levantamiento topográfico. En este contexto, la combinación de dos tecnologías importantes, la estación total y los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVS), ha marcado un hito en la obtención de datos geoespaciales. La necesidad de superar las limitaciones

inherentes a cada método por separado es la razón detrás de este avance, que no surge de la noche a la mañana.

La estación total, inicialmente diseñada para medir ángulos y distancias desde una ubicación fija, ha sido una herramienta importante para el topógrafo. Su uso se remonta a décadas pasadas, cuando se convirtió en una práctica común proporcionar mediciones detalladas y precisas en puntos específicos del terreno. Sin embargo, a medida que se enfrentaron a desafíos en términos de velocidad y cobertura, especialmente en terrenos montañosos, surgió la necesidad de complementar esta técnica con métodos más dinámicos.

La llegada de los vehículos aéreos autónomos provocó un cambio en la forma en que se capturan datos geoespaciales. Estos vehículos ofrecen una perspectiva aérea eficiente y detallada, superando las restricciones de acceso terrestre en áreas de difícil alcance gracias a su equipamiento con tecnologías avanzadas y cámaras de alta resolución. Los avances en la miniaturización de los sensores y la mejora en la autonomía de vuelo, que permiten una captura rápida y completa de datos desde altitudes superiores, han contribuido a este desarrollo.

La convergencia de la estación total y los UAVS surgió como una respuesta estratégica a las limitaciones de cada tecnología por sí sola. Aunque la estación total se destaca por su precisión en puntos específicos, los UAV ofrecen una visión aérea completa del terreno. Este método combinado utiliza las ventajas de ambas tecnologías para ofrecer una solución más completa y efectiva para levantamientos topográficos en entornos difíciles, como los Andes del Sur de Ecuador.

A pesar de estos avances, todavía hay obstáculos que resolver. La formación especializada, la integración eficiente de datos y la planificación y ejecución precisas de vuelos de UAV requieren atención continua. El objetivo de la investigación futura es maximizar el uso de estas tecnologías, tomando en cuenta factores como la seguridad, la precisión y la adaptabilidad a diferentes entornos.

2.2 Importancia y alcance.

La precisión requerida, el tamaño de la zona a estudiar y el presupuesto disponible son factores que determinan el método más adecuado para realizar un levantamiento topográfico.

En los Andes del Sur de Ecuador, la formación geográfica es inestable y presenta importantes obstáculos para el levantamiento topográfico. Por lo tanto, es crucial realizar un análisis comparativo de las dos técnicas mencionadas anteriormente para determinar cuál es la más adecuada para esta zona.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Evaluar el uso y eficiencia de dos herramientas de medición topográfica mediante levantamientos topográficos, con el uso de la estación total o vehículos no tripulados (UAVS), con el fin de encontrar la manera más eficaz y plasmarlos en estudios de

ingeniería.

3.2 Objetivos Específicos.

- Realizar un levantamiento topográfico del área seleccionada por medio de dos herramientas de medición topográfica (estación total y UAVS).
- Incorporar el levantamiento topográfico en un sistema de información geográfico de acceso libre.
- Evaluar la información topográfica recopilada a partir de los dos métodos propuestos y caracterizarla morfológicamente.

4. REVISIÓN DE LA LITERATURA Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

4.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio.

Se realizará un estudio de campo en el sector para mapear todas las cicatrices recientes e históricas de los deslizamientos de tierra. Se usará una estación total y un dron para georreferenciar y rastrear las cicatrices de deslizamiento observadas en el campo. Las ubicaciones de los deslizamientos se representaron utilizando polígonos individuales y/o puntos correspondientes a las escarpas de los movimientos en el mapa. Las observaciones del trabajo de campo de la pendiente, la ubicación, la curvatura y el aspecto del talud se realizaron principalmente para evaluar el papel de la topografía como factor condicional en la ocurrencia de deslizamientos en el área de estudio (Javadnejad et al., 2021).

Actualmente, la población en las zonas del Sur de los Andes está creciendo rápidamente, lo que ha creado la necesidad de desarrollar nuevos proyectos y obras de infraestructura. En este sentido, el mapeo topográfico detallado permitiría a los gobiernos locales planificar de manera más efectiva el diseño de calles, aceras, parques, edificios y servicios públicos, tomando en cuenta las características geográficas de la región.

La Parroquia rural de Cumbe como se aprecia en la Fig. 4.1 es un sitio muy importante desde el punto de vista ambiental, su ubicación geográfica está dada por las coordenadas 9656994.48 al Norte y 719658.688 al Este. Esta parroquia se encuentra en la zona de transición entre los ecosistemas altos andinos y los bosques nubosos. Así, que un mapeo topográfico detallado permitiría a las autoridades identificar las áreas de mayor peligro de erosión, deslizamientos e inundaciones y tomar medidas para proteger el medio ambiente y prevenir desastres naturales. Esta es conocida por su riqueza en fuentes de agua superficiales y subterráneas, lo que la convierte en un área estratégica para la gestión de recursos hídricos. El mapeo topográfico detallado permitiría determinar con precisión la ubicación y el flujo de ríos, arroyos y aguas subterráneas, lo que ayudaría a planificar proyectos.

En otras palabras, se puede decir que el mapeo topográfico detallado del sector de Cumbe es fundamental para la planificación urbana, la protección del medio ambiente, la gestión eficaz de los recursos hídricos y la promoción del desarrollo turístico de la región.

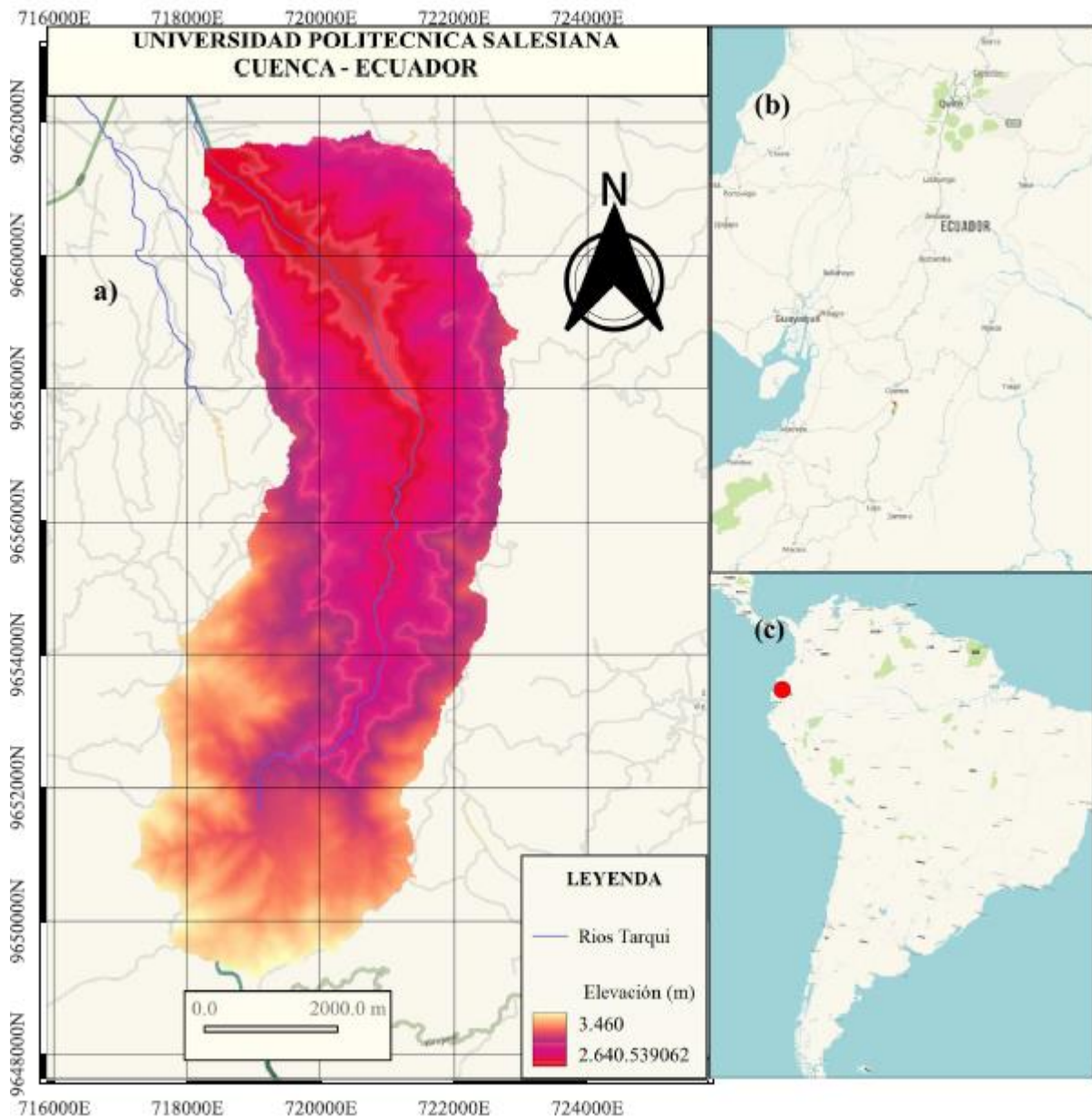


Fig. 4.1 Ubicación geográfica del área de estudio
Fuente: El autor – Qgis

4.2 Topografía.

Según Enrique Priego de los Santos, (2015) es la representación gráfica de un plano de la Tierra, o de una zona o parte de su superficie, es el principal objetivo de la topografía.

Aunque un mapa topográfico, que representa toda la superficie terrestre, con todos sus detalles, naturales o creados por el hombre.

Por ende según Enrique Priego de los Santos,(2015) un plano topográfico es una representación gráfica de una pequeña porción de la superficie terrestre, o en otras palabras, un mapa que muestra una superficie suficientemente pequeña para evitar la curvatura terrestre y mantener una escala uniforme.

4.3 Levantamiento topográfico.

El conjunto de operaciones que es necesario realizar para llegar a representar, un terreno, se denomina levantamiento topográfico. Todo levantamiento topográfico se compone de dos partes: el trabajo de gabinete, que comprende los cálculos y la representación del plano, y el trabajo de campo, que consiste en recopilar datos en el terreno (Gallego Salguero & Sánchez Marco, 2014).

Según Enrique Priego de los Santos, (2015) Se denomina levantamiento topográfico al conjunto de operaciones necesarias que tiene por objeto la determinación de la posición relativa de puntos en la superficie de la Tierra. Estas operaciones consisten, esencialmente, en la medición de ángulos y distancias entre los diversos puntos a levantar. El complemento de este tipo de levantamientos es el cálculo matemático para determinar a partir de esos observables medidos (ángulos y distancias), posiciones, alineaciones, orientaciones, desniveles, alturas, áreas y volúmenes. Además, la mayoría de los datos de campo pueden representarse gráficamente, en forma de mapas o planos, perfiles transversales y

longitudinales, diagramas, etc.

Para representar topográficamente un terreno, o lo que es lo mismo, elaborar su plano topográfico (o modelo digital de elevaciones), se utiliza la representación denominada de planos acotados, en la que un terreno queda definido si a la proyección horizontal se le asocia la cota de los puntos que sirven para caracterizarlo. Un plano acotado, siempre que las cotas o altitudes se refieran a puntos bien elegidos, da una idea suficientemente clara del relieve, por lo que se apoya en los planos con curvas de nivel. En cualquiera de estos productos topográficos, planos topográficos o modelos digitales de elevaciones, los puntos vienen definidos por la terna de coordenadas x, y, z ; y cuya obtención da lugar a varios tipos de levantamiento (Enrique Priego de los Santos, 2015).

4.4 Puntos de referencia

Un punto de apoyo, punto de control terrestre o punto topográfico no es más que un lugar, una parte fácilmente observable de la tierra que se encuentra en un sistema de coordenadas y que se encuentra en sitios específicos dentro del área que se desea estudiar. Estos puntos topográficos se utilizan para georreferenciar con la mayor precisión el relieve de la tierra y obtener información sobre ciertas irregularidades topográficas, ya sean naturales o artificiales, independientemente de la vía en que se desea hacer, ya sea por tierra o por aire (geocéntrica, 2020).

Es importante destacar que una de sus características más sorprendentes es que se obtienen de manera más rápida, fácil y precisa los procesos de captura de datos, almacenamiento, cálculos y emisión de la información recolectada en el campo, así como la representación gráfica de los mismos, lo que permite al usuario ver el resultado final con una precisión y

rapidez sin precedentes. Desde hace unos años hasta la actualidad, las formas de trabajo en levantamientos topográficos se han ido modificando principalmente por la incorporación de drones profesionales y escáneres láser para que el trabajo sea más rápido y práctico (seocentria, 2020).

Por lo tanto, la relevancia de estas nuevas tecnologías radica en el resultado final de gran precisión que se espera obtener con los equipos topográficos. Esto significa que son necesarios para obtener ortomosaicos y curvas de nivel de alta precisión. De manera similar, los drones profesionales utilizan sistemas GPS o GNSS de alta precisión para ubicar geográficamente cada punto de apoyo o control. Sin embargo, los datos de puntos topográficos tomados por vía terrestre suelen tener una precisión milimétrica, lo cual dependerá del equipo y el método de levantamiento utilizados en el trabajo (seocentria, 2020).

Mientras que, la toma de datos vía terrestre puede tener una precisión milimétrica, los levantamientos con drones profesionales solo pueden tener una precisión centimétrica. Es importante resaltar que la clave para señalar estos puntos topográficos o puntos de apoyo es que su centro esté bien identificado. El tamaño de la marca dependerá de la altura del dron y de la resolución y capacidad de la cámara. Una dimensión adecuada para estas marcas sería de 1m por 1m (geocéntrica, 2020).

Es posible crear estas marcas con una variedad de formas, como una equis, un círculo, triángulos o una cruz, entre otras. El material utilizado para crear estas marcas también dependerá del entorno o área donde se pueden usar, como pinturas, madera, lonas, cal, etc. Por lo tanto, es recomendable utilizar de 4 a 6 puntos topográficos o puntos de apoyo para

áreas de decenas de hectáreas. Se recomienda colaborar con otros puntos, además. Durante el trabajo, los puntos de referencia principales se utilizarán para calcular, mientras que los demás se utilizarán para verificar la precisión de los resultados (geocéntrica, 2020).

4.5 Marco legal para la georreferenciación de los puntos de referencia.

La Ley de Geodesia, Cartografía y Sistema de Información Geográfica del Ecuador establece que es necesario georreferenciar puntos obtenidos de un levantamiento topográfico con la red geodésica del Ecuador. La georreferenciación de puntos obtenidos de un levantamiento topográfico consiste en aplicar coordenadas geográficas precisas a cada punto para ubicarlos de manera precisa en el espacio. La red geodésica del Ecuador es un sistema de referencia geodésica formado por una serie de puntos de control geodésicos ubicados en todo el territorio ecuatoriano, que sirve como base para realizar mediciones y levantamientos topográficos (*Geoportal IGM, 2023*).

Según la Ley de Geodesia, Cartografía y Sistema de Información Geográfica de Ecuador, es necesario georreferenciar los puntos obtenidos en levantamientos topográficos con la red geodésica del país. Esto implica que, en un proyecto de topografía, todos los puntos ubicados deben ser referenciados a las coordenadas geográficas establecidas por la red geodésica nacional de Ecuador (*Geoportal IGM, 2023*).

La georreferenciación es crucial para garantizar la precisión y la interoperabilidad de los datos geoespaciales, es decir, que los datos topográficos puedan ser utilizados de manera

consistente y coherente por una variedad de personas, organizaciones y sistemas de información geográfica (*Geoportal IGM, 2023*).

4.6 Levantamiento de punto de referencia con RTK.

Una estación de referencia GNSS transmite datos de fase portadora y pseudorange a una estación itinerante en posicionamiento cinemático en tiempo real (RTK) a través de un enlace de radio. Los receptores GNSS de una o dos frecuencias pueden utilizarse. Los sistemas de doble frecuencia suelen brindar una resolución de ambigüedades más rápida y una mayor precisión de posicionamiento en distancias más largas, más distancias. Los receptores deben incorporar radios de datos (o estar conectados a radios externas) que normalmente operan en frecuencias muy altas (VHF, 30-300 MHz) o ultra altas (UHF, 300 MHz y 3 GHz). Las mediciones de pseudodistancia, la fase portadora y los datos auxiliares se transmiten a la estación de referencia. Los protocolos de datos SC-104 2.x o 3.x [1.21] de la Comisión Radio Técnica de Servicios Marítimos (RTCM) son comunes. A pesar de que también existen formatos de datos únicos (Teunissen & Montenbruck, 2017).

4.7 Levantamiento con estación total.

4.7.1 Definición de Estación total.

Según Maza Vazquez, (2009) la estación total es un instrumento topográfico que integra medición electrónica de distancias y ángulos de comunicaciones internas en un solo equipo. Esto permite la transferencia de datos a un procesador interno o externo, así como el registro de datos y los cálculos en tiempo real. También cuenta con los componentes ópticos y mecánicos necesarios en todos los taquímetros.

Según Gallego Salguero & Sanchez Marco, (2014), es el resultado de integrar en un mismo equipo un teodolito electrónico y un distanciómetro, con la ventaja de efectuar una sola puntería para medida de ángulos y distancias. Disponen de un microprocesador de cálculo, que permite obtener la distancia reducida, desniveles, acimut, aplicar correcciones de curvatura y corrección atmosférica, trabajar con coordenadas polares o cartesianas, etc. Además, algunas, disponen de numerosos programas de aplicación, como medición entre dos puntos remotos, replanteos, obtención de la distancia de un punto a una recta, etc.

Según Enrique Priego de los Santos, (2015), una estación total como equipo de medida de ángulos y distancias pueden cometerse dos tipos de errores en las magnitudes medidas, unos que proceden del propio instrumento: errores sistemáticos, que producen siempre el mismo efecto sobre las observaciones, es decir, en el mismo sentido y con la misma magnitud; y otros, errores accidentales, que dependen exclusivamente de la destreza del observador, y que afectan de forma irregular, por lo que varían en magnitud y en signo.

Según Correa Perdomo, (2022), Una estación total es un aparato topográfico electrónico con algunos dispositivos y componentes específicos que combinan tres elementos internos y uno externo:

- Un teodolito digital controlado por computadora.
- Una cartera electrónica con GPS o un microprocesador.
- Un distanciómetro que utiliza un haz láser para medir la distancia en cualquier dirección donde se encuentre el receptor o prisma.
- Un prisma, que refleja la luz láser de la misma forma e intensidad hacia el

emisor.

4.7.2 Montaje de la estación total

La figura 4.2 presenta la forma en que se coloca el teodolito en estación o se estaciona en un lugar conocido.

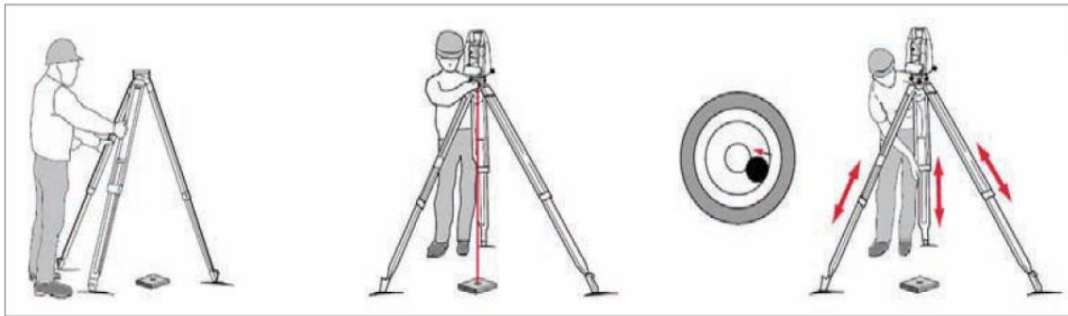


Fig. 4.2 Estacionamiento de instrumento

Fuente: Enrique Priego de los Santos, 2015

4.8 Levantamiento topográfico con fotogrametría mediante UAVS.

Los levantamientos topográficos realizados por Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVS) son una metodología sofisticada que permite la adquisición de datos geoespaciales con alta precisión y eficiencia. Esta estrategia implica una serie de pasos meticulosamente planificados, que comienzan con una definición clara de los objetivos del levantamiento, la selección cuidadosa del equipo adecuado y la obtención de los permisos necesarios para su ejecución. La preparación y calibración del equipo son esenciales, y luego hay una planificación detallada del vuelo que determina la ruta, altitud y velocidad del UAV, así como los puntos de captura de datos específicos. La ejecución del vuelo, dependiendo del equipo

utilizado, puede llevarse a cabo de manera autónoma o manual, y requiere una supervisión exhaustiva para garantizar la recolección efectiva de datos. La creación de modelos digitales, mapas y otras representaciones geoespaciales valiosas se puede lograr posteriormente mediante el uso de software especializado para procesar los datos recopilados. Este método no solo ayuda a optimizar el tiempo y los recursos invertidos en levantamientos topográficos, sino que también ofrece una resolución y flexibilidad que superan a los métodos tradicionales. Este enfoque se puede utilizar en una amplia gama de campos, incluida la agricultura, la construcción y la gestión de recursos naturales. (Drones, 2022).

4.8.1 Definición de fotogrametría

La fotogrametría es la ciencia que usa imágenes fotográficas para obtener información métrica precisa y detallada de objetos y terrenos. La fotogrametría utiliza principios geométricos y matemáticos para medir distancias, ángulos, elevaciones y otros datos tridimensionales a partir de fotografías aéreas o terrestres. Esta técnica tiene aplicaciones en una variedad de campos, como la cartografía, la topografía, la ingeniería, la arquitectura y la investigación geoespacial (Photogrammetry, 2007).

4.9 Marco legal en Ecuador para el uso de los UAVS

Determina el área que desea que el dron vuele. Averigüe si hay restricciones o regulaciones específicas para volar drones en ese lugar, como requisitos de permiso o altura máxima de vuelo. Actualmente, en Ecuador ya existe una regulación con los vehículos aéreos no tripulados emitido por la Dirección General de Aviación Civil en abril de 2020. En esta ley

establece que el uso de drones no está permitido realizar su vuelo cerca de aeropuertos, zonas de seguridad pertenecientes al Estado, helipuertos, zonas intangibles, entre otras.

La distancia mínima a la que se puede llamar realizar un vuelo en este espacio aéreo controlado es de 9 km. Nos indica que la altura máxima de vuelo es de 400 pies (122 metros) sobre el suelo, y que el tiempo permitido para operar es entre "amanecer y al atardecer", siempre y cuando las condiciones climáticas sean favorables para la visión (D.G.A.C, 2020). En la zona de estudio donde se llevó acabo el vuelo de dron cumple todos los requisitos establecidos por el reglamento.

4.10 Ortofoto u ortoimagen.

Es una imagen georreferenciada o aerofotográfica ajustada espacialmente para producir una perspectiva y escala homogénea, de modo que pueda emplearse para evaluar variaciones reales. Para adquirir una escala equitativa, la imagen debe corregirse en función de factores como la inclinación del aparato, la distorsión del lente y las condiciones del entorno.

4.11 Mapa ortomosaico.

Mediante una herramienta de vanguardia, se puede unir varias imágenes aéreas para generar un mapa en dos o tres dimensiones de la situación en el suelo. Un mapa topográfico es una imagen interactiva y sin deformaciones de fotografías de alta calidad que se puede emplear para calcular distancias exactas entre características geográficas reales.

4.12 Teledetección.

Implica un conjunto de técnicas que usan fotografías tomadas desde el aire y sensores con el fin de generar mapas precisos con propósitos de medición y análisis. La técnica de fotogrametría se encuentra entre las múltiples herramientas de la teledetección y se emplea en el procesamiento de imágenes capturadas por sensores instalados en drones, aviones tripulados y satélites. Otros métodos de detección remota registran las ondas infrarrojas y ultravioletas, las distancias a nivel de punto, y otros.

4.13 Estructura a partir del movimiento (SfM).

La estructura a partir del movimiento es un procedimiento para ajustar imágenes en 2D en una generación de un modelo tridimensional de una estructura, escena u objeto. Utilizando fotografías digitales de superficie de gran detalle, Estructura a partir del Movimiento puede producir increíbles modelos tridimensionales basados en agrupaciones de puntos con una exactitud de medición equiparable.

4.14 Sistema de información geográfica (SIG).

El uso principal de este sistema es para entrelazar imágenes que cuentan con una alta resolución a datos de posicionamiento por satélites con fines cartográficos. Uno de los ejemplos más notables de este sistema es el implementado por Google Earth, considerado como uno de los sistemas GIS más omnipresentes, este tipo de datos también pueden ser usados en otros campos como la meteorología, topografía y cartografía avanzada.

4.15 Metadatos.

Son notas codificadas en serie que se obtiene junto con las ortoimágenes para proporcionar un contexto adicional al software de cartografía y modelación. En estos podemos incluir:

- Coordenadas GPS
- Tiempo/Fecha
- Distancia focal
- Ajustes de resolución
- Condiciones atmosféricas

Estos metadatos nos indican las condiciones en que se realizó el conjunto de datos y quien lo creo, por ello estos datos son valiosos para elaborar una escala y perspectiva uniforme.

4.16 Función de la fotogrametría.

Para crear imágenes a gran escala, la fotogrametría, una herramienta popular de teledetección, procesa imágenes recogidas mediante sensores instalados en aeronaves tripuladas, vehículos aéreos no tripulados o satélites. Estas imágenes, conocidas como ortofotos u ortoimágenes, se fijan en una ubicación mediante posicionamiento GPS y se normalizan utilizando metadatos sobre condiciones ambientales como la humedad, la hora y la fecha. Los servidores reciben esta información para su recopilación y almacenamiento. Los servidores reciben esta información y la guardan. Para crear mapas y representaciones

en 3D mensurables, las ortoimágenes pueden introducirse en programas avanzados de cartografía y topografía una vez recogidas (*An Introduction to Drone Photogrammetry* - Mapware, 2021).

4.17 Fotogrametría y el espectro electromagnético.

Las sencillas fluctuaciones de la luz que es perceptible pueden proporcionar varias señales acerca de los elementos que se encuentran debajo. Las cámaras de fotogrametría capturan la luz del espectro visible (y en ciertos casos, incluso más allá de él) para generar una representación en 3D de paisajes, infraestructuras vitales o cualquier objeto o escena. Si se incluyen datos ambientales a las fotos de alta calidad, los científicos pueden proponer hipótesis extremadamente precisas sobre las circunstancias del mundo físico. La iluminación realiza mucho más que generar una hermosa representación en el mapa. Los bloques, las plantas y los productos fabricados tienen marcas de espectro únicas que pueden ser empleados para facilitar la identificación su masa, estructura química y y mucho más. Provistos de tecnología de teledetección de alta potencia, los investigadores pueden emplear la fotogrametría aérea para obtener pruebas de otros espectros (como la radiación ultravioleta o infrarroja) junto con la luz visible para obtener conclusiones más profundas sobre el entorno que está debajo (*An Introduction to Drone Photogrammetry* - Mapware, 2021).

4.18 Factores que afectan la obtención de un mapa orto mosaico detallado.

La planificación de vuelos para la fotogrametría de ortomosaicos debería ser relativamente más fácil con drones. La captura de imágenes con pilotos de drones experimentados debería requerir poco más que establecer una ruta de vuelo, lanzar el UAV y realizar un control de calidad de las imágenes una vez capturadas. Sin embargo, sin experiencia y ejecución cuidadosa, pueden surgir algunos problemas comunes. De lo contrario, se generarán lagunas, imprecisiones y distorsiones visuales, ya que las ortoimágenes deben solaparse lo suficiente para que el software de procesamiento pueda generar un mapa completo. Las cámaras desenfocadas pueden producir imágenes borrosas, viñeteadas y distorsiones que reducen la calidad de los datos debido a la mala iluminación, el mal tiempo y la tecnología obsoleta. Los conjuntos de datos que incluyen vistas no esenciales fuera de los parámetros de metadatos establecidos, como imágenes de despegue y aterrizaje fuera de ángulo o imágenes tomadas fuera de la zona objetivo, pueden agregar ambigüedad a su mapa. Los mapas de ortomosaico de alta calidad requieren un vuelo bien planificado y ejecutado por profesionales (An Introduction to Drone Photogrammetry - Mapware, 2021).

4.19 Consejos para obtener una ortoimagen de alta calidad.

4.19.1 Altitud y velocidad.

La adecuada alineación de la elevación y la velocidad es esencial para la generación de imágenes detalladas. La adquisición de información a alturas más bajas contribuye a una mayor precisión, aunque se requiere que las aeronaves se desplacen a una velocidad lenta y constante para evitar distorsiones y borrosidades en las imágenes tomadas desde altitudes

reducidas. La combinación óptima de velocidad y elevación puede variar según la variante del dron, la configuración de la cámara y las características del entorno circundante. Para determinar la configuración ideal para una tarea específica, se recomienda realizar ensayos prácticos. La consulta con un especialista calificado también se sugiere como medida complementaria. Cabe destacar que la altitud se refiere a la distancia vertical sobre un objeto específico, y esta medida puede variar durante el vuelo aéreo en función de la altura de los edificios u otros elementos del entorno. Se podría considerar un sistema de control de la aeronave con la capacidad de ajustar altitudes en relación con la distancia al objeto, en lugar de depender exclusivamente de configuraciones de altitud estáticas (*An Introduction to Drone Photogrammetry - Mapware, 2021*).

4.19.2 Ángulos de vista.

Es imperativo que la cámara esté orientada directamente hacia abajo desde el nadir, que en la fotogrametría basada en drones se define como un campo de visión perpendicular al suelo u objeto. Esta disposición facilita la normalización de las ortoimágenes para lograr un procesamiento uniforme. Las imágenes adquiridas desde ángulos oblicuos exhiben una perspectiva ligeramente diferente en comparación con las capturas realizadas desde el nadir, lo que puede resultar en distorsiones en el mapa ortomosaico final. Estas distorsiones, a su vez, reducen la precisión y limitan las capacidades de medición y análisis. La planificación del vuelo debe considerar cuidadosamente los giros para evitar la captura de imágenes no nadir. Es crucial abstenerse de utilizar fotografías tomadas durante el despegue o el aterrizaje. En cambio, se recomienda interrumpir la captura de imágenes mientras se realiza una reorientación en la trayectoria de vuelo, asegurando así la obtención de datos óptimos para

un procesamiento eficiente y una representación precisa en el mapa ortomosaico resultante (*An Introduction to Drone Photogrammetry - Mapware, 2021*).

4.19.3 Configuración de la cámara.

En relación con la configuración de la cámara, se sugiere realizar pruebas exhaustivas, ya que los ajustes predeterminados no siempre resultan óptimos para la captura de fotografías aéreas. Distorsiones difíciles de corregir, con potencial impacto en los datos, pueden originarse a partir de sutiles errores en parámetros como el contraste, la apertura, la velocidad de obturación y la sensibilidad ISO. Factores externos como la estación del año, la hora del día y las condiciones climáticas pueden influir en la configuración de la cámara, afectando el color y las sombras de las imágenes. En particular, en días nublados o con poca nubosidad, es frecuente lograr capturas de alta calidad. Se aconseja, por tanto, la realización de pruebas iterativas para determinar la configuración más apropiada en cada situación. En nuestro caso se uso un angulo de 90° .(*An Introduction to Drone Photogrammetry - Mapware, 2021*).

4.19.4 Combinación de imágenes.

La generación de imágenes de ortomosaicos altamente detalladas, sin lagunas en la continuidad visual o de datos, demanda la implementación de un significativo solapamiento entre las imágenes. Cuanto mayor sea el solapamiento, más datos se recopilarán, permitiendo al software integrarlos en un mapa compuesto que resultará más detallado y preciso. Al planificar el vuelo de un dron con este propósito, se recomienda buscar una

superposición de imágenes de al menos el 70%. Proyectos específicos pueden requerir niveles más elevados de detalle y menor distorsión, sugiriendo superposiciones del 80% o 90%. En casos de mapas y modelos menos detallados, un solapamiento del 60% podría ser suficiente. En presente caso se utilizó una superposición de 85% como se muestra en la **figura 4.3** (*An Introduction to Drone Photogrammetry - Mapware, 2021*).



*Fig. 4.3 Angulo de cámara y superposición puestas por Pix4d.
Fuente: Autor*

4.20 Resolución de fotogrametría.

(La calidad de una ortofoto se determina fundamentalmente por tres factores: resolución espacial, temporal y espectral. La resolución espacial hace referencia a la cantidad de datos visuales recopilados en cada píxel de una imagen, medida físicamente. Por ejemplo, una resolución espacial de 100 metros implica que se documentan 100 metros de datos claros

por píxel. La resolución temporal, por otro lado, representa el lapso de tiempo entre imágenes o conjuntos de datos, siendo determinante para la calidad analítica. Mantener intervalos regulares en la recopilación de datos con escasas lagunas significativas resulta crucial para lograr una resolución temporal efectiva. En cuanto a la resolución espectral, se refiere a la capacidad de un sensor para recolectar información sobre diferentes longitudes de onda electromagnéticas. Esta capacidad permite al sensor documentar variaciones en color, luz infrarroja y otras formas de energía electromagnética. La idoneidad de un sensor para capturar tales variaciones contribuye significativamente a la calidad y utilidad de la ortofoto resultante (*An Introduction to Drone Photogrammetry - Mapware, 2021*).

4.21 Características que debe cumplir el software.

4.21.1 Velocidad.

La aplicación de software de fotogrametría se destina a dar formato y procesar extensos conjuntos de imágenes. Para llevar a cabo estas tareas de manera eficiente, se requiere un motor apropiado. Mientras que algunas plataformas de software para la cartografía con drones se ejecutan en entornos en la nube, otras operan localmente. La capacidad de los motores cartográficos locales se encuentra comúnmente limitada por el hardware de la organización, generando desafíos en la ejecución de proyectos a gran escala y demandando inversiones periódicas en tecnología actualizada. Además, no todas las plataformas cartográficas basadas en la nube satisfacen integralmente las necesidades del usuario. La velocidad de procesamiento y la coherencia de la plataforma están intrínsecamente

vinculadas a la calidad del centro de datos y a la solidez de la tecnología subyacente (*An Introduction to Drone Photogrammetry - Mapware, 2021*).

4.21.2 Precisión.

Con el fin de generar un mapa ortomosaico uniforme y altamente preciso, se requiere la normalización de imágenes de alta calidad. La calidad del producto final estará directamente influenciada por la precisión de las herramientas utilizadas para el procesamiento de las imágenes. Es necesario identificar una plataforma de software que ofrezca herramientas de extraordinaria precisión, como restricciones de escala y puntos de control terrestre (GCP), elementos esenciales para garantizar la fiabilidad y exactitud del resultado final (*An Introduction to Drone Photogrammetry - Mapware, 2021*).

4.21.3 Estabilidad

Cuando un software experimenta fallas o errores, existe el riesgo de perder todo el esfuerzo invertido en la creación de un documento, lo que puede generar una serie de inconvenientes. Con el propósito de mitigar este tipo de problemas, se recomienda buscar una plataforma que mantenga una operatividad constante y estable, minimizando así el riesgo de pérdida de trabajo y asegurando una mayor fiabilidad en el proceso de creación de documentos (*An Introduction to Drone Photogrammetry - Mapware, 2021*).

4.21.4 Limitaciones de carga.

Diversos programas imponen restricciones al tamaño del mapa y a la cantidad de imágenes

que se pueden incorporar. La evaluación de la posibilidad de comprometer la calidad o realizar la carga manual de datos por lotes, a pesar de la existencia de soluciones para superar tales limitaciones, implica la necesidad de buscar una solución de software que se ajuste a las exigencias y expectativas del usuario. La elección preferencial de plataformas que no impongan restricciones en el tamaño de los mapas se revela como una opción particularmente ventajosa (*An Introduction to Drone Photogrammetry - Mapware, 2021*).

4.21.5 Simple de usar.

La producción de mapas ortomosaicos altamente precisos y detallados no debe ser necesariamente un desafío complicado. Se está en la búsqueda de una plataforma que proporcione una interfaz de usuario intuitiva y agradable, tanto durante la creación de mapas como en las fases posteriores de almacenamiento, compartición y aplicación de dichos mapas (*An Introduction to Drone Photogrammetry - Mapware, 2021*).

4.22 Software para fotogrametría

4.22.1 Pix4D

Pix4D es un software especializado en fotogrametría que se enfoca en generar nubes de puntos mediante la integración de un conjunto de imágenes con solapamiento. Este proceso tiene como objetivo la creación de ortomosaicos, modelos digitales de superficie (MDS) y modelos digitales de terreno (MDT), lo que facilita la elaboración de cartografías en dos dimensiones y modelos tridimensionales. La herramienta se destaca por proporcionar mediciones comprensibles y análisis de proyectos, lo que contribuye significativamente a la

eficiencia temporal en la obtención de resultados precisos. Pix4D encuentra aplicaciones en diversas áreas, como catastro, planificación urbana, modelización del terreno, cartografía a gran escala y monitoreo ambiental. Su versatilidad radica en la capacidad para generar resultados tanto en dos como en tres dimensiones, posicionándose como una herramienta efectiva en la actualización de la cartografía. Entre sus funciones se incluyen la medición de líneas de ruptura, la generación de curvas de nivel, cálculos de volúmenes y el monitoreo de extracciones y depósitos, entre otros usos prácticos (Alberto Holguín Asensio, 2017).

Al emplear datos 3D y ortofotos georreferenciadas, se logra un monitoreo eficiente del desarrollo de sitios de construcción. Este enfoque permite realizar un análisis de la situación de la obra, obteniendo mediciones actualizadas y posibilitando un análisis continuo. La utilización de estas tecnologías contribuye significativamente a mejorar la gestión de tierras y facilita inspecciones virtuales detalladas. Esta metodología no solo proporciona una visión tridimensional precisa del sitio de construcción, sino que también optimiza la toma de decisiones al brindar información actualizada y detallada sobre el progreso del proyecto. Además, posibilita la identificación temprana de posibles desafíos y permite ajustes o correcciones según sea necesario, mejorando la eficiencia y la planificación en la gestión de proyectos de construcción.

4.22.1.1 Movimiento de tierras.

Análisis volumétrico, mediciones de depósitos y curvas de nivel rastrear los movimientos del suelo con rapidez, facilidad y precisión. crear mapas y modelos digitales de superficie 3D para mediciones volumétricas y modelado del terreno sin estar físicamente sobre el terreno ni interferir con los trabajos (Alberto Holguín Asensio, 2017).

4.22.1.2 BIM (Modelado de información de construcción).

Análisis de los datos del sitio mientras se construye utilizando ortofotos o modelos 3D fácilmente actualizados. realización de mediciones y comparación de los dibujos de diseño con la construcción real. La repetición es fácil para mantener los datos actualizados (Alberto Holguín Asensio, 2017).

4.22.1.3 Inspección.

Crear una base de datos de imágenes georreferenciadas para una inspección después del vuelo segura y efectiva. Buscar defectos en 3D a partir de imágenes, visualizar detalles estructurales desde diferentes ángulos, modelar el comportamiento térmico de paneles o edificios y exportar ortomosaicos de fachadas (Alberto Holguín Asensio, 2017).

4.22.2 Pix4Dmapper Pro.

El software Pix4Dmapper Pro se utiliza para crear una cartografía profesional utilizando drones a partir de imágenes. Convertir imágenes en modelos 3D y mapas 2D georreferenciados y altamente precisos es posible con este programa. Resultados personalizables que se pueden usar con una variedad de aplicaciones y software (Alberto Holguín Asensio, 2017).

- Una nube de puntos 3D con una densidad mayor que el escaneo láser
- Modelos digitales de superficie y terreno (MDS y MDT).
- Ortomosaico con cada píxel proyectado adecuadamente sobre el suelo.

- Cálculo de volúmenes extremadamente preciso.
- Curvas de nivel para la topografía.
- Modelos en tres dimensiones con texturas fotorrealistas.
- Termografía que tiene valores de temperatura precisos radiométricamente.

4.23 Sistemas de información geográfica SIG.

Los Sistemas para la información geográfica se conoce como SIG o GIS. Son sistemas que facilitan la visualización, el análisis y el almacenaje de datos espaciales. Esto se hace para conectar estos datos con los fenómenos geográficos y urbanos representados en un mapa. Para superar la visión sectorial y consolidar una comprensión integral del territorio mediante la interacción de las dimensiones ambiental, cultural, económica, social y espacial, entre otras, son necesarias sus herramientas (Herminio Achucarro, 2019).

Según Herminio Achucarro, (2019) un SIG está compuesto por subsistemas para:

- **El procesamiento de imágenes:** transforma imágenes satelitales en datos de mapa que son fáciles de comprender.
- **El procesamiento de imágenes:** convertir imágenes satelitales en datos de mapa fáciles de entender.
- **El análisis estadístico:** analizar estadísticamente los datos espaciales.
- **El manejo de base de datos:** programas de computación que ingresan, manejan y analizan datos espaciales y de atributos.
- **El despliegue cartográfico:** formas diferentes de visualizar la información (pantalla, impresión en papel, etc.)

- **El análisis geográfico:** analizar los datos según su ubicación.
- **El apoyo en la toma de decisiones:** ayuda en la toma de decisiones sobre dónde ubicar los recursos.
- **La digitalización de mapas:** convertir mapas en diferentes formatos.

4.23.1 Componentes Principales de un Sistema de Información Geográfica

Según Herminio Achucarro, (2019) para que un Sistema de Información Geográfica funcione correctamente, debe tener cinco componentes fundamentales:

- **Hardware.** Se requiere una computadora, que será el instrumento principal para procesar la información digital, cartográfica, datos y estadística.
- **Software.** Es el software que se instalará en la computadora para que pueda manipular la información en sistemas de información geográfica.
- **Datos.** La información recolectada puede provenir de diferentes fuentes, como instituciones, dependencias, centros y visitas de campo. Es vaciada para procesarla en el programa.
- **Procedimientos:** Para lograr un resultado exitoso en el procesamiento de la información, se debe seguir una metodología.
- **Personal:** Para llevar a cabo las diversas tareas que implican el uso, la manipulación y la innovación con este software, es esencial contar con empleados capacitados.

4.24 Definición de Quantum GIS (QGIS).

Es el programa informático que se utiliza para construir un sistema de información geográfica (SIG), que incluye una serie de aplicaciones que permiten la creación de datos, mapas, modelos, aplicaciones y consultas de datos geoespaciales, los datos geoespaciales se refieren a la información geográfica de una entidad. Es la base para implementar SIG en organizaciones y en la Web. El programa Quantum GIS (también conocido como QGIS) es un software de código libre disponible para las plataformas GNU (Herminio Achucarro, 2019). Está dirigido a aquellos que buscan información geográfica, profesional, entornos universitarios o de administraciones públicas como ayuntamientos, diputaciones, consejerías o ministerios.

Quantum GIS Desktop es la aplicación principal de Quantum GIS es donde puede ver y analizar los conjuntos SIG de su área de estudio, asignar símbolos y crear diseños de mapa para imprimir o publicar. Además, es la aplicación que se utiliza para crear y modificar conjuntos (Herminio Achucarro, 2019).

4.25 Clasificación de pendientes

En base a la **tabla 4.1** las pendientes se representan mediante una escala cromática que corresponde a diferentes porcentajes de inclinación. Las áreas más claras, indicativas de pendientes suaves, se alinean con las categorías de 'Plano' a 'Moderadamente ondulado', abarcando pendientes del 0 al 10%, según la tabla de clasificación. Estas regiones, probablemente dominantes en el terreno, sugieren una accesibilidad general y son adecuadas para diversas aplicaciones, desde la agricultura hasta ciertos tipos de construcción. A medida

que las tonalidades se oscurecen, representando pendientes más pronunciadas, se observa una menor presencia de áreas correspondientes a las categorías de 'Ondulado' a 'Escarpado', que abarcan pendientes del 10% al 100%. Este patrón sugiere que, aunque el terreno exhibe variaciones, hay menos zonas con pendientes extremas en comparación con las áreas más planas, lo que puede resultar favorable para ciertos tipos de desarrollo o uso de la tierra al indicar una prevalencia general de terreno menos abrupto en la región.

Tipo de pendiente	Porcentajes (%)
Plano	0-2
Suave	2-5
Moderadamente ondulado	5-10
Ondulado	10-15
Fuertemente Ondulado	15-45
Montañoso	45-70
Escarpado	70-100

Tabla 4.1 Clasificación del tipo de pendiente según su porcentaje.

Fuente: MappingGIS.

5. MARCO METODOLOGICO

5.1 Zona de Estudio.

En la **figura. 5.1** se muestra la ubicación del levantamiento de la zona de estudio en la parroquia de Cumbe, situada en la provincia de Azuay, al sur de Ecuador. Es un área montañosa con la altitud promedio de 2700 metros sobre el nivel del mar. El uso y aprovechamiento del suelo está influenciado por la variedad de características de la

topografía de Cumbe. La zona tiene un relieve montañoso, con una gran cantidad de lomas y quebradas que definen la estructura del territorio muy variados y generalmente propensos a erosión. La abundancia de agua en la región favorece el cultivo de una variedad de productos, principalmente maíz, trigo, cebada y frutas y verduras. El clima varía según la altitud. La temperatura promedio es de 12–16 grados Celsius, y desde febrero a mayo hay muchas precipitaciones.

Desde hace mucho tiempo, las comunidades indígenas del área de Cumbe han utilizado la topografía para desarrollar una agricultura de subsistencia y mantener técnicas ancestrales de cultivo y manejo del suelo. Actualmente, esta región es conocida por los productos agrícolas de alta calidad, que están vendidos tanto a nivel local como nacional.

En algunas áreas, el terreno es muy accidentado y de difícil acceso, lo que dificulta las mediciones precisas y completas. Además, las condiciones climáticas extremas pueden afectar el trabajo de los topógrafos.

El desconocimiento de técnicas topográficas modernas y la falta de formación continua de expertos en este campo, da como resultado el uso de métodos obsoletos y no aprovechar la última tecnología.

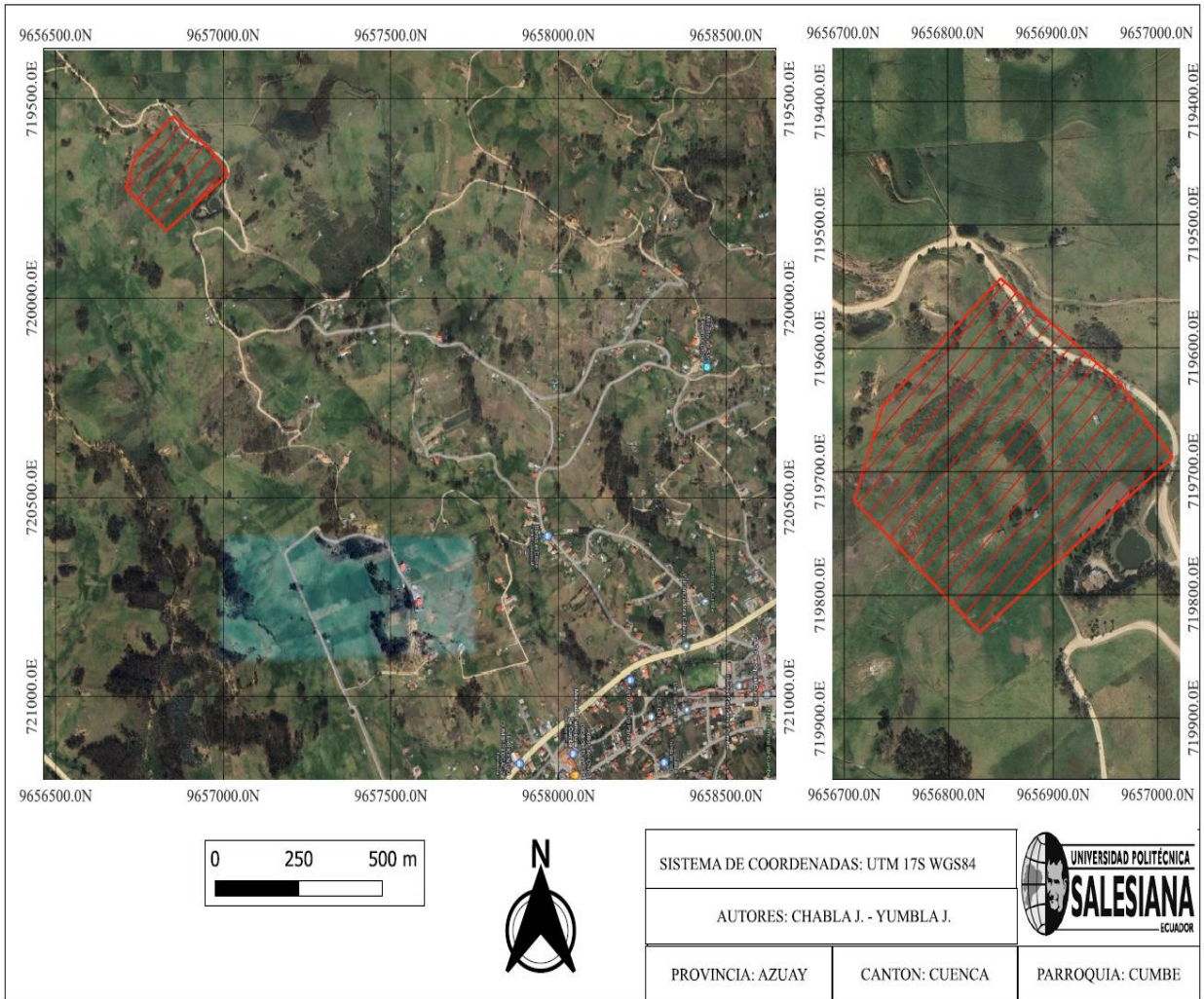


Fig. 5.1 Mapa de ubicación de la zona de levantamiento

Fuente: Autores - Qgis

5.2 Levantamiento topográfico con estación total

El periodo de tiempo que se requirió para llevar a cabo este levantamiento topográfico con estación total fue de dos semanas aproximadamente tomando en cuenta la corrección de coordenadas de puntos de control con la Red Geodésica del Ecuador como se lo muestra en la sección 5.4, la toma de puntos como se describe en la sección 5.7 y por último el post

procesamiento de datos el cual es descrito en la sección **5.8** para la elaboración de un modelo topográfico digital.

5.2.1 Planificación del levantamiento.

Los puntos de control son importantes para la eficacia en la ejecución de las actividades del lugar de estudio. La recopilación de información para crear un modelo de terreno obedece a las características técnicas fundamentadas en la visibilidad y cobertura del lugar de estudio a ser levantado.

El levantamiento se ejecutó con los diferentes equipos y herramientas necesarios facilitados por la universidad.

5.2.2 Equipos para el levantamiento con estación total.

- Estación total.
- Trípode.
- Prismas y porta prismas.
- Radios de comunicación.
- Cinta métrica.

5.2.3 Equipos y herramientas adicionales.

- Machete.
- Estacas para las estaciones
- Libreta de campo.
- Caja de herramientas la cual debe constar de: clavos, estacas, aerosol.

- Paraguas.
- Chaleco de identificación.

5.2.4 Capacitación del personal.

Debido a la extensión del terreno y la complejidad de manejo de los equipos, se creó un solo equipo para realizar las labores de campo, intercambiándose de forma rotativa, uno en la estación total y otro a cargo del jalón.

La señalización de la estación hacia el prisma y la correcta planificación y recopilación de datos fueron responsabilidades de este grupo.

Todos los procedimientos se practican dentro de la universidad antes de salir a campo, por lo que el personal que llevo a cargo el levantamiento debe usar plenamente los equipos.

5.3 Test del equipo antes de su uso.

Se deben seguir algunas pautas al usar el equipo para el levantamiento de la zona de estudio:

Los dispositivos que funcionan con batería, como la estación total, deben estar cargados adecuadamente.

- Los dispositivos están en buenas condiciones y funcionan correctamente.
- Asegúrese de que el prisma esté bien ajustado con el jalón o bastón y que esté en una posición vertical adecuada.
- Configure y calibre correctamente los equipos antes de usarlos.

5.4 Puntos de control.

Para una adecuada eficiencia del análisis se fijaron como mínimo dos puntos de control predeterminados en el área de estudio como se observa en la **figura 5.2**.

Los puntos de control se ubican fijamente con una varilla o una estaca de madera pintada para su visibilidad adecuada.



Fig. 5.2 Fijación de hito de control

Fuente: Autores

Para este análisis, se implementaron tres estaciones de monitoreo, tal como se detalla en la **tabla 5.1**, utilizando la técnica de RTK estático, que se compone de dos componentes principales: una base, que es un elemento estacionario captando datos durante un periodo de una hora, y un Rover, un elemento móvil, que se situó en cada punto de interés durante aproximadamente 15 minutos. Los puntos seleccionados se ubicaron en áreas estratégicas,

preferentemente elevadas, sin obstrucciones y visibles. La presencia de estos puntos fue crucial para facilitar el proceso de levantamiento topográfico mediante el uso de una estación total y proporcionar control para el levantamiento aerofotogramétrico.

Se realizó una comparación de coordenadas en un punto específico entre un sistema GPS diferencial, de uso común, y un sistema RTK para verificar la precisión de los datos RTK. Los resultados mostraron una notable disparidad entre las mediciones hacia el norte y el este. En particular, el sistema RTK proporcionó coordenadas de 9656994.48 al norte y 719658.688 al este, mientras que el GPS diferencial registró coordenadas de 9656996.630 al norte y 719656287 al este. Esto resultó en un error de desplazamiento aproximado de 2.15 metros hacia el norte y de 2.40 metros hacia el este, lo que demostró la variabilidad en la precisión entre ambos sistemas bajo condiciones experimentales específicas.

UTM - WGS84				
Punto	Este	Norte	Altura	Descripción
1	719747.723	9656876.33	3010.27	centro
2	719658.688	9656994.48	3031.157	borde vía
3	719623.807	9656772.48	3041.554	Estación 3

Tabla 5.1 Coordenadas de puntos de control

Fuente: Autores

5.5 Puesta en estación.

La operación de puesta en estación debe completarse antes de comenzar a realizar mediciones con un instrumento topográfico. La puesta en estación requiere el cumplimiento simultáneo de dos condiciones.

El nivelamiento del instrumento debe realizarse utilizando el nivel de burbuja más sensible o el dispositivo de nivelación previsto del instrumento junto con los tornillos de nivelación.

El punto de estación, o punto al que referiremos las lecturas, debe pasar por el eje principal del instrumento, lo que se confirmará con la plomada óptica o láser que tenga el dispositivo.

(García Martín, 2014)

Según García Martín, (2014) el instrumento se monta sobre un trípode, que tendrá sus tres patas bien clavadas en el suelo y su meseta lo más horizontal posible. Empleando la plomada mecánica y/o plomada óptica a láser, situaremos el eje del aparato sobre el punto de estación y luego lo nivelaremos. Si es preciso, moveremos de nuevo el aparato sobre la meseta del trípode y lo volveremos a nivelar. Repetiremos este proceso tantas veces como sea necesario.

5.6 Orientación.

Las estaciones totales utilizando puntos conocidos nos permiten realizar levantamientos topográficos con alta precisión. Estos dispositivos se calibran primero orientándose hacia otro punto de referencia conocido desde un punto de coordenadas y elevación precisas. Esto crea un azimut de referencia. Esta guía inicial es esencial porque proporciona el marco para todas las mediciones subsiguientes. Las estaciones totales permiten la precisión de las coordenadas tridimensionales de nuevos puntos con relación al punto conocido mediante tecnología de medición angular y de distancia. Este método garantiza la precisión y confiabilidad de los datos topográficos, que son cruciales en áreas como la ingeniería civil, la planificación territorial y la conservación del medio ambiente.

5.7 Toma de puntos.

Se utilizó un prisma para tomar puntos con una estación total para reflejar el láser que emitió la estación total. Con este prisma, se puede marcar la distancia y ubicar el punto con precisión. Para garantizar mediciones precisas, es fundamental verificar la verticalidad y altura del prisma antes de comenzar a tomar los puntos.

La estación total es un sofisticado instrumento utilizado en topografía e ingeniería para medir ángulos horizontales y verticales y distancias a puntos de interés en el terreno. Determinar la disposición geométrica de los puntos en el terreno y calcular la distancia real entre ellos requiere estas mediciones lineales y angulares.

Además, la estación total puede calcular las coordenadas tridimensionales (X, Y, Z) de los puntos medidos, lo que proporciona una descripción detallada de su posición y elevación en el espacio tridimensional. Para garantizar que los datos obtenidos sean confiables, la precisión y exactitud de estas mediciones son verificadas y calibradas minuciosamente.

La estación total puede exportar los datos recopilados en una variedad de formatos, como archivos de texto o archivos CAD, lo que facilita su integración en software de diseño y análisis. Al final del proceso de levantamiento, se producen los puntos COGO, que representan ubicaciones precisas en el terreno calculadas utilizando técnicas de geometría de coordenadas.

Estos puntos COGO son esenciales para el diseño, la planificación y la ejecución de proyectos de construcción e ingeniería porque brindan una base sólida y precisa para el desarrollo de infraestructuras y el desarrollo urbano.

5.8 Operaciones y trabajo de oficina con software Qgis.

El software Quantum GIS, también conocido como QGIS, según (Cabrero Ortega & Garcia Perez, 2022) es un Sistema de Información Geográfica con herramientas creadas para administrar la información recopilada en un territorio y, debido a su gran capacidad, puede manejar una gran cantidad de datos, como los que normalmente provienen del mundo real.

5.8.1 Importación de puntos.

Para llevar a cabo la importación de puntos en un levantamiento topográfico mediante el uso de una estación total, se deben seguir diversos pasos fundamentales. Inicialmente, se debe realizar una preparación previa del equipo y de los datos necesarios antes de proceder al trabajo de campo. Esto implica verificar la calibración y el correcto funcionamiento de la estación total, así como la instalación y configuración adecuadas del software requerido tanto en los dispositivos móviles de campo como en los sistemas informáticos de la oficina.

En la fase de campo, se ejecuta el levantamiento topográfico propiamente dicho, empleando para ello la estación total junto con otros instrumentos para la medición precisa de ángulos y distancias entre puntos de referencia y aquellos de interés. Los datos obtenidos se almacenan en la memoria de la estación total o se envían de manera directa a un ordenador o dispositivo portátil.

Posteriormente, los datos recolectados son transferidos desde la estación total a un sistema informático. Este proceso puede realizarse a través de conexiones alámbricas, inalámbricas o por medio de tarjetas de memoria, dependiendo de las características específicas del equipo utilizado.

Una vez que los datos se encuentran en el sistema informático, se procede a su importación a un software especializado en procesamiento topográfico o a un Sistema de Información Geográfica (SIG), tal como se ilustra en la **figura 5.3**. Dicho software facilita la visualización, edición y análisis de los puntos y demás información recabada en el levantamiento. En esta etapa, es posible realizar correcciones, añadir datos adicionales y preparar la información para su análisis definitivo y la elaboración de reportes.

Finalmente, los puntos importados y ya procesados se emplean para generar representaciones precisas del terreno, tales como planos, mapas y modelos digitales del mismo, los cuales resultan de gran utilidad para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la planificación de proyectos, el diseño de infraestructuras o la realización de estudios ambientales.



Fig. 5.3 Nube de puntos en QGIS.

Fuente: Autores – QGIS

5.9 Levantamiento topográfico con UAV (dron).

El periodo de tiempo que se requirió para llevar a cabo este levantamiento topográfico con UAV fue de tres días y medio aproximadamente tomando en cuenta la elaboración del plan de vuelo como se detalla en el apartado **5.9.1**, colocación de puntos de referencia mostrados en la sección **5.9.5** y por último el post procesamiento de datos obtenidos especificados en la sección **5.10** para la elaboración de un modelo topográfico digital.

5.9.1 Elaboración de plan de vuelo de un dron.

5.9.1.1 Identificar la zona de vuelo.

Identificar la zona de vuelo sigue siendo un componente crucial del proceso de levantamiento topográfico con drones. Este paso crucial garantiza la eficacia y precisión de la operación y ayuda en la creación de modelos 3D detallados y georreferenciados. La identificación cuidadosa de la zona de vuelo implica considerar aspectos como la topografía del terreno, las restricciones legales y la existencia de obstáculos, todos los cuales tienen un impacto significativo en la calidad de los datos recopilados.

5.9.2 Conocer las limitaciones técnicas del dron.

Es imperativo verificar las limitaciones y especificaciones del dron, abarcando aspectos como su autonomía de vuelo, velocidad y altura máximas. Este proceso es fundamental para considerar las capacidades y restricciones operativas del avión. En el contexto de nuestro caso de estudio, se empleó un dron Mavic 2 Pro, el cual presenta las siguientes especificaciones técnicas. Nuestro modelo de dron es el Mavic 2 Pro, alcanza una velocidad máxima de ascenso es de 4 m/s a una altura de 6000 msnm, con un tiempo de batería de 31

min a una velocidad constante de 25 km/h, a una distancia máxima de vuelo de 18 km a una velocidad constante de 50 km/h.

5.9.3 Evaluar las condiciones meteorológicas.

Antes de volar tu dron, verificar el estado del tiempo. Evite volar en condiciones de viento fuerte, lluvia intensa o cualquier otra condición climática que pueda afectar la estabilidad y seguridad del vuelo. Las condiciones meteorológicas adversas, como vientos fuertes, lluvia o niebla, pueden afectar la estabilidad y la capacidad de control del dron. Para garantizar la seguridad de la operación, es esencial planificar las condiciones meteorológicas antes del vuelo. Las condiciones meteorológicas pueden afectar la calidad de los datos recopilados por el dron en muchas aplicaciones, como la cartografía o la inspección. La evaluación y selección de las condiciones meteorológicas adecuadas garantiza la obtención de datos precisos y útiles. Para el presente caso de estudio se revisó los parámetros meteorológicos del día acordado para el vuelo del dron y como resultado se obtuvo los siguientes datos.

Jueves, 26 De Octubre 202

El Sol: Salida del sol 05:54, Puesta del sol 18:06.
La Luna: Salida de la luna 16:25, Puesta de la luna 03:59,
Fase de la Luna: Luna que crece 🌕
Campo geomagnético: inestable



Fig. 5.4 Condiciones meteorológicas
Fuente: Meteotrend

5.9.4 Planificar la ruta de vuelo

La planificación de la ruta como se muestra en la **figura 5.5** ayuda a identificar y evitar obstáculos como estructuras, árboles y edificios. Esto protege la integridad del dron y reduce el riesgo de colisiones. La eficiencia energética del dron se maximiza con una planificación cuidadosa. Para maximizar el tiempo de vuelo y la capacidad de la batería, esto es fundamental, especialmente en misiones más largas.

Al planificar la ruta, se puede garantizar el cumplimiento de las regulaciones espaciales evitando áreas restringidas y manteniéndose dentro de los límites establecidos por las autoridades de aviación civil. La planificación cuidadosa permite la elección de rutas que minimicen los riesgos y garanticen la seguridad del vuelo.

Esto implica cumplir con las altitudes máximas permitidas y evitar zonas densamente pobladas. Se puede garantizar la captura de datos de alta calidad para aplicaciones específicas como la cartografía, la vigilancia agrícola o la inspección de infraestructuras al planificar. En nuestro caso el dron mantuvo un vuelo 21min debido a que la capacidad de la batería de este modelo de dron dura unos 30 min, a una altura de 20 metros del cual se obtuvo 271 fotografías.



*Fig. 5.5 Ruta de vuelo en campo colocada en Pix4d.
Fuente: Autores*

5.9.5 Establecer puntos de referencia.

La incorporación de puntos de referencia en levantamientos topográficos realizados por drones es un componente crucial que va más allá de simplemente mejorar la precisión

geoespacial de los datos. Estos puntos estables en el terreno proporcionan una base sólida para la georreferenciación, lo que permite una conexión precisa de los elementos capturados en el modelo tridimensional con ubicaciones precisas en la superficie terrestre.

Los puntos de referencia, que actúan como controles de calidad, son esenciales para validar la precisión de los resultados obtenidos durante el levantamiento, lo que permite ajustar y perfeccionar los datos según sea necesario. La integración fluida con los sistemas de coordenadas existentes es crucial. Esta característica no solo facilita la gestión y el análisis de datos topográficos, sino que también facilita la colaboración y el intercambio de información geoespacial entre diferentes plataformas y proyectos.

Además, los puntos de referencia permiten la realización de levantamientos en momentos posteriores para monitorear cambios en el terreno con una referencia constante, lo que apoya la repetibilidad. Para el caso de estudio se tomó en total de tres puntos claves como referencia como se muestra a continuación, **figura 5.10**.

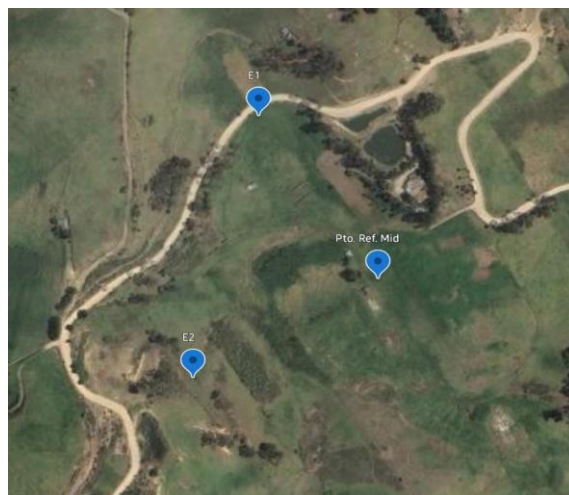


Fig. 5.6 Puntos de referencia para vuelo de dron.
Fuente: Autores

5.10 Pos proceso de obtención de datos de vuelo con dron.

5.10.1 Descargar datos de vuelo y revisión de las imágenes obtenidas por dron.

Es un paso importante en el proceso de levantamiento topográfico, y hay muchas razones por las que es importante. Al obtener información detallada sobre la posición y orientación del dron durante el vuelo, se puede mejorar significativamente la precisión de los resultados finales. Este aspecto es particularmente importante cuando se utilizan técnicas de corrección diferencial porque la información detallada permite mejorar las correcciones necesarias.

Facilita la identificación y corrección de posibles errores sistemáticos. Esto incluye ajustes para el sistema de posicionamiento global (GPS) y optimización de parámetros de vuelo particulares. Para adaptar la misión a los requisitos específicos del levantamiento y garantizar la obtención de datos precisos y confiables, es esencial tener la capacidad de evaluar y ajustar estos parámetros.

La información descargada brinda una base sólida para el control de calidad y la validación de resultados. Al comparar los datos de vuelo con los resultados procesados, se pueden encontrar posibles inconsistencias y garantizar que la información topográfica generada sea confiable. En total se obtuvieron 271 archivos fotográficos de los cuales a continuación se muestra en la **figura 5.7** uno de los tantos datos obtenidos.



*Fig. 5.7 Fotografía tomada por dron en vuelo.
Fuente: Autores*

5.10.2 Procesamiento de imágenes.

Procesamos las imágenes tomadas con el UAV por medio del software especializado en la creación de modelos 3D, esta etapa del pos proceso es crucial en el proceso de levantamiento topográfico.

5.10.2.1 Generación de modelos precisos.

El uso de Pix4D para generar modelos precisos es una hazaña técnica excepcional. Este software analiza y fusiona imágenes capturadas por el dron desde múltiples ángulos utilizando algoritmos avanzados de correlación de imágenes. La capacidad de sintetizar la topografía del terreno en un modelo 3D detallado permite crear representaciones virtuales que reflejan de manera precisa la realidad geográfica. Para aplicaciones como la ingeniería civil, donde la precisión en las mediciones y la representación del terreno es esencial para la planificación y el diseño de proyectos, este nivel de precisión es crucial.

Además, la creación de modelos precisos facilita la identificación de características topográficas sutiles como elevaciones, depresiones y cambios en la pendiente. La evaluación del terreno en proyectos de gestión de recursos, monitoreo ambiental y análisis de riesgos geográficos puede depender de esta información detallada. En resumen, la capacidad de Pix4D para producir modelos 3D precisos es sólida para tomar decisiones informadas en varias aplicaciones.

5.10.2.2 Georreferenciación de datos.

Como se muestra en la **figura 5.8** se introdujo en el programa Pix4d las coordenadas de referencia para de este modo aumentar la capacidad de georreferenciación de Pix4D para aumentar la utilidad del modelo digital en 3D. Este proceso permite conectar el modelo a coordenadas geoespaciales precisas y proporcionar un marco de referencia espacial preciso. Para situar con precisión el modelo en el contexto geográfico real, la capacidad de georreferenciación es esencial, lo que permite una interpretación más significativa de los datos topográficos.

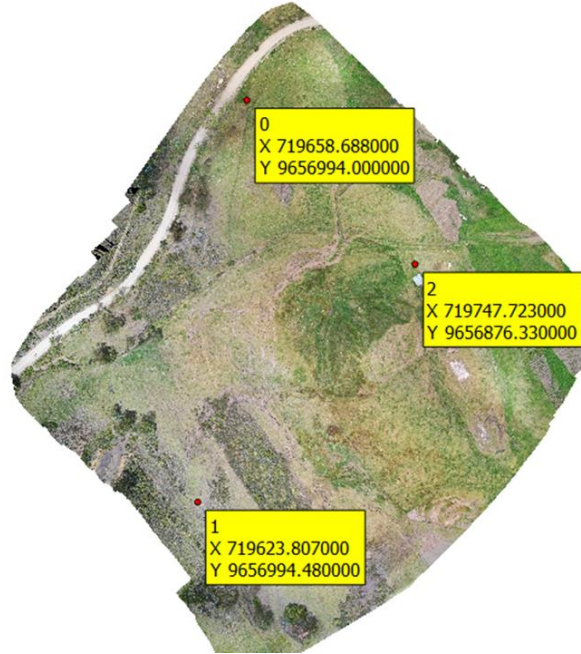


Fig. 5.8 Puntos de control referenciados.
Fuente: Autor

5.10.2.3 Análisis detallado del Terreno

Para comprender a fondo la topografía capturada, es necesario analizar detenidamente el terreno habilitado por Pix4D a partir del modelo en 3D generado. Este proceso permite la identificación de características topográficas importantes, como pendientes pronunciadas o cambios sutiles en la elevación, gracias a su alta resolución. La planificación urbana puede utilizar esta información detallada para evaluar la idoneidad de áreas para el desarrollo y anticipar posibles desafíos geográficos. Además, en proyectos de gestión de recursos naturales, el análisis exhaustivo del terreno ayuda a tomar decisiones más informadas sobre la conservación y el uso sostenible.

La capacidad de realizar análisis detallados también es útil en ingeniería porque permite a los profesionales identificar proactivamente problemas potenciales durante la fase de diseño de

un proyecto de infraestructura. En conclusión, usar Pix4D para realizar un análisis detallado del terreno no solo mejora la calidad de los datos topográficos, sino que también mejora la aplicación práctica de estos datos en una variedad de campos.

5.10.2.4 Mediciones Precisas

La capacidad de realizar mediciones precisas directamente desde el modelo en 3D creado por Pix4D aumenta la utilidad. Este proceso permite calcular volúmenes de tierra, distancias y áreas con una precisión que va más allá de las observaciones visuales. Esta característica es particularmente útil en proyectos de construcción e ingeniería civil donde la precisión de las mediciones es crucial. La capacidad de obtener mediciones directas del modelo facilita la planificación y estimación detalladas de recursos.

Además, la capacidad de realizar mediciones precisas a lo largo del tiempo brinda información valiosa sobre la evolución del entorno en aplicaciones como la monitorización de cambios en el paisaje. La precisión de las mediciones ayuda a tomar decisiones informadas, ya sea para evaluar el avance de la construcción o para cuantificar los cambios en áreas naturales. Como resultado, la capacidad de realizar mediciones precisas agrega un aspecto práctico esencial a la utilidad de Pix4D en levantamientos topográficos.

5.10.2.5 Visualización Inmersiva

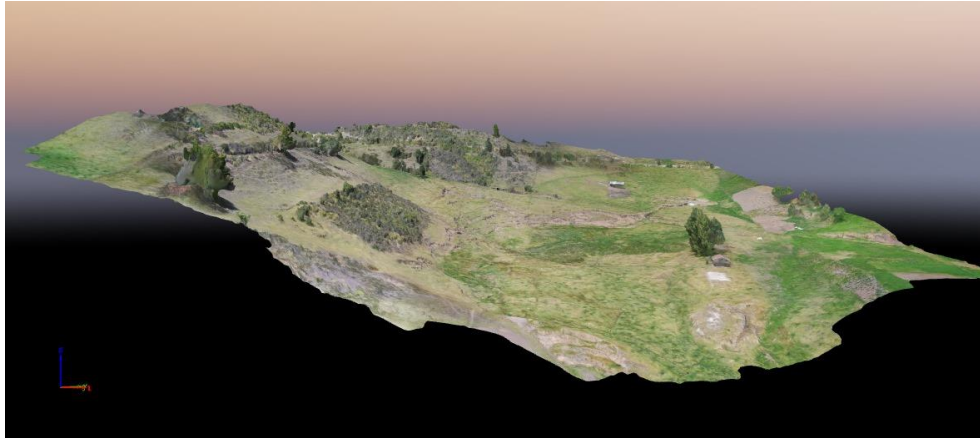
La visualización inmersiva de Pix4D va más allá de la representación gráfica. Esta función permite una exploración interactiva del modelo en tres dimensiones, brindando una experiencia inmersiva que mejora significativamente la comprensión de la topografía capturada. La capacidad de navegar por el modelo desde una variedad de puntos de vista y

ángulos facilita la identificación de detalles importantes y la interpretación visual de la información topográfica.

Como se muestra en las figuras **5.9** y **5.10** el software Pix4d nos brinda una visualización inmersiva esta función se convierte en una herramienta poderosa para la presentación y comunicación de datos. Esta función ofrece una plataforma fácil de usar para la comprensión de los resultados del levantamiento, tanto para partes interesadas no técnicas como para profesionales técnicos que necesitan evaluar con precisión el terreno.



*Fig. 5.9 Visualización inversa de la zona de estudio.
Fuente: Autores*



*Fig. 5.10 Visualización inversa posterior de la zona de estudio.
Fuente: Autores*

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Resultados a partir de levantamiento con estación total

6.1.1 Interpolación.

La interpolación mejora la representación de la superficie terrestre al suavizar y ampliar la información topográfica entre los puntos de medición. Con el software QGIS en el caso de la estación total la interpolación de datos nos dio como resultado el siguiente modelo de elevación digital, como se muestra en la figura 6.1, de la misma manera se obtuvo otro modelo de elevación digital mediante vehículos aéreos no tripulados (UAVS) como se aprecia en la **figura 6.2**.

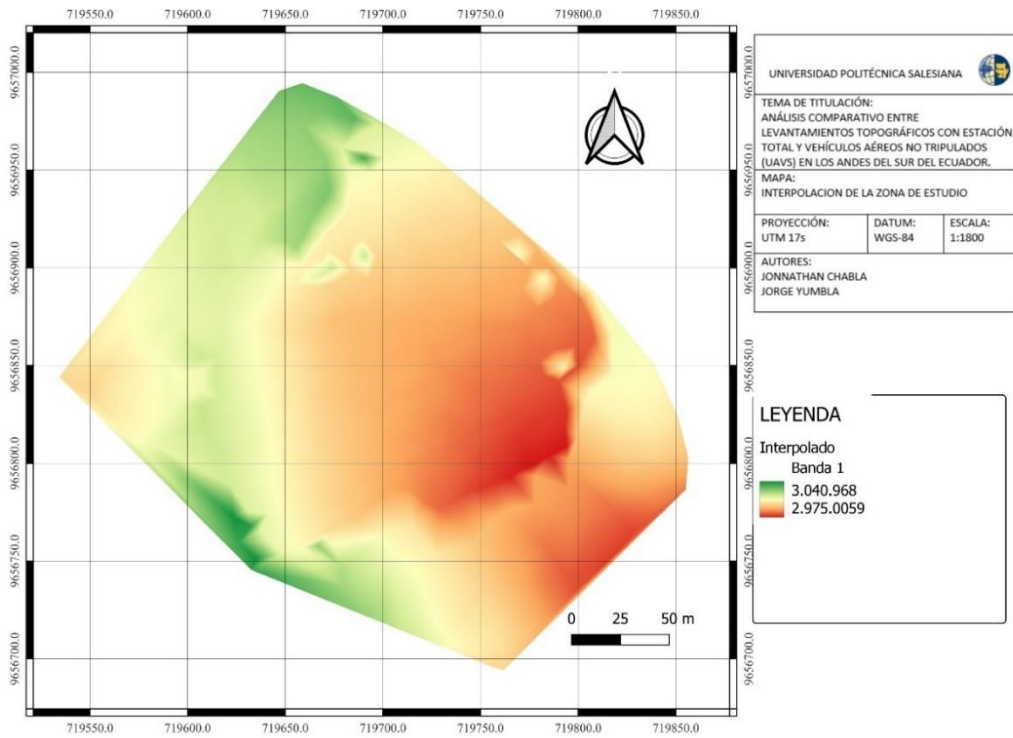


Fig. 6.1 Interpolación de datos obtenidos por la estación total.
Fuente: Autores – QGIS

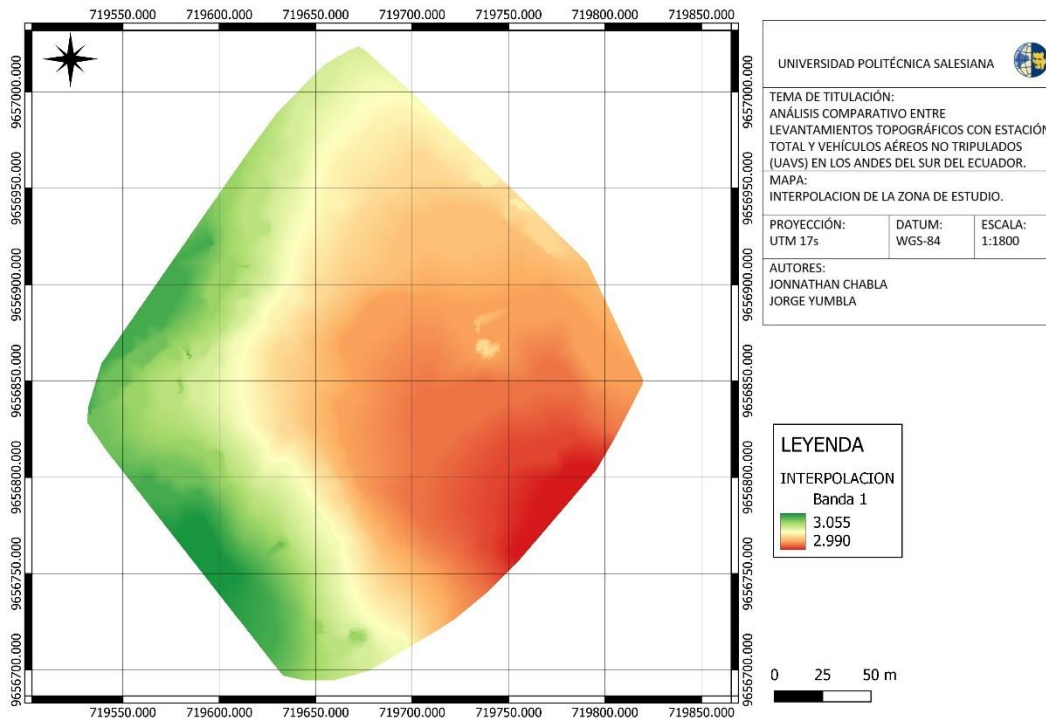


Fig. 6.2 Interpolación del DEM obtenido por fotogrametría.

Fuente: Autores – QGIS

6.1.2 Creación de curvas de nivel.

Las curvas de nivel son líneas imaginarias trazadas en un mapa o plano topográfico para conectar puntos con la misma elevación en un modelo digital del terreno o en la superficie terrestre, estas curvas permiten visualizar la variación de elevación del terreno, lo que facilita la interpretación de su relieve y proporciona información esencial para la cartografía. En la **figura 6.3** y **figura 6.4** se obtuvieron los siguientes mapas de curva de nivel figura en cada de los levantamientos con estación total y vehículos aéreos no tripulados (UAVS).

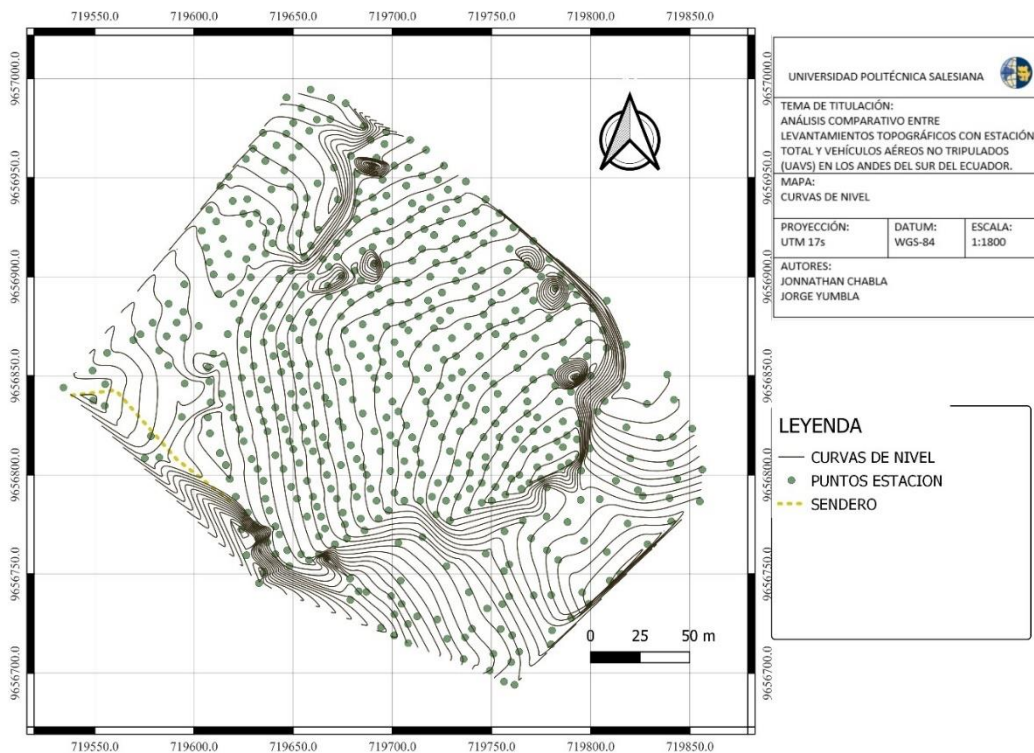


Fig. 6.3 Creación de curvas de nivel a partir de los puntos obtenidos por la estación total.
Fuente: Autores – Qgis

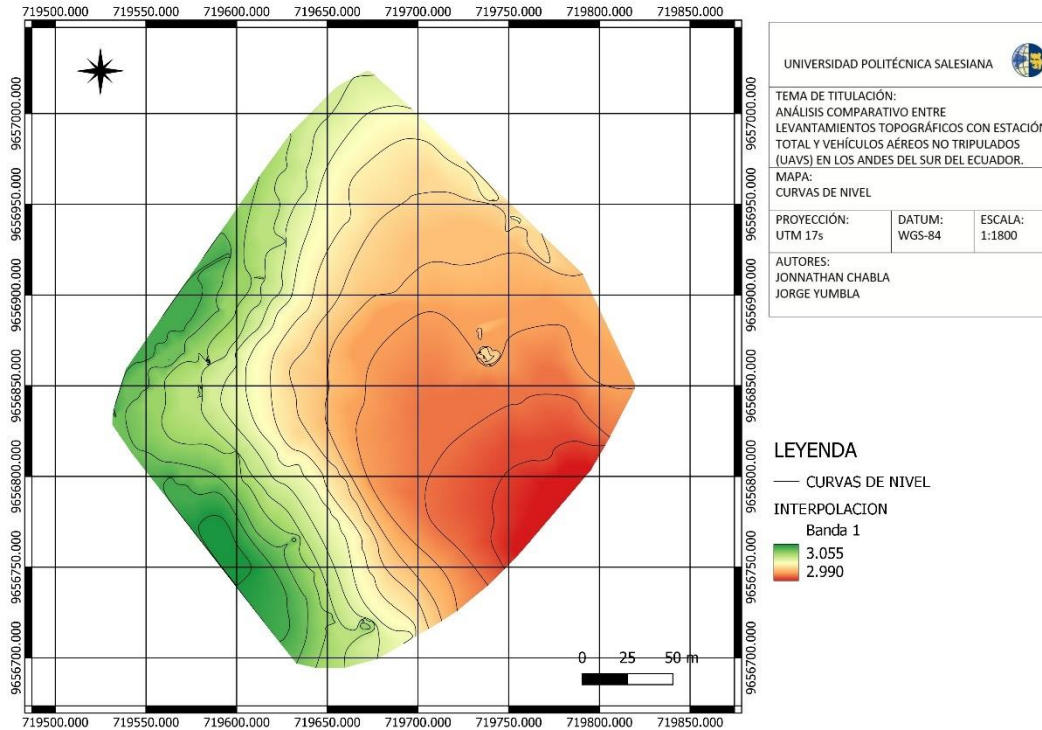


Fig. 6.4 Creación de curvas de nivel a partir del DEM obtenido por el vehículo aéreo no tripulado (UAV).

Fuente: Autores – Qgis

6.1.3 Modelo Digital de la Superficie a partir de nube de puntos

Como se observa en la **figura 6.5** y en la **figura 6.6** con la ayuda del manejo del software Qgis se creó la superficie, a partir de los datos importados desde la estación total, los cuales fueron exportados en formato txt para el posterior proceso en una hoja de cálculo excel. Los puntos obtenidos con la estación total fueron depurados en formato PENZ, delimitado por comas.

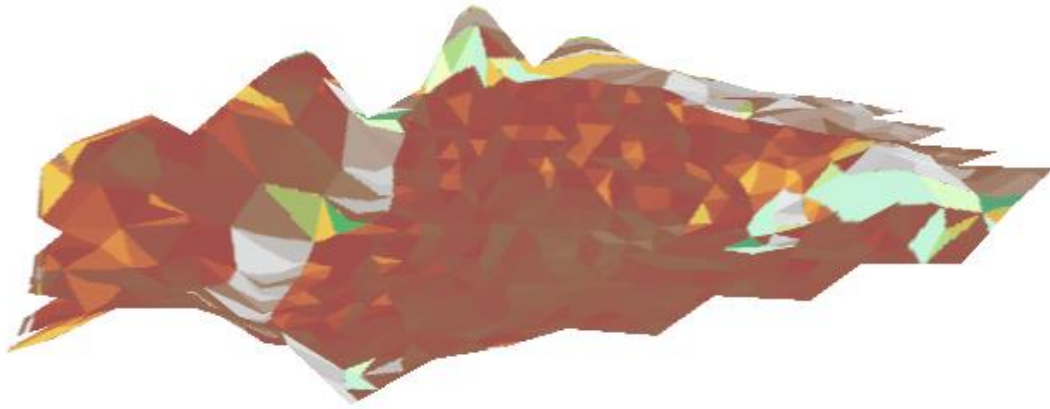


Fig. 6.5 Modelo de la superficie en 3D con estación total.

Fuente: Autores – QGIS

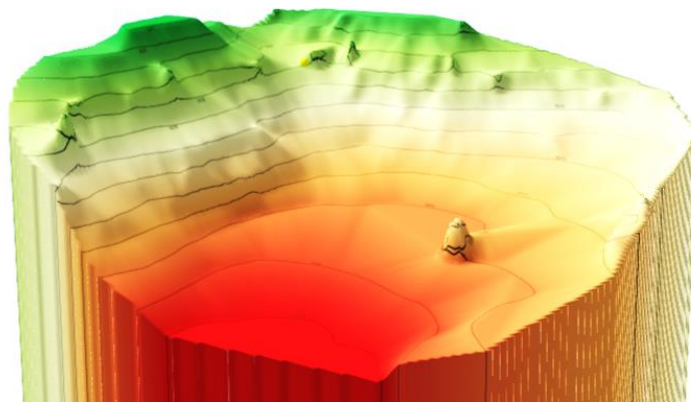


Fig. 6.6 Modelo de la superficie en 3D con UAVS.

Fuente: Autores – QGIS

6.2 Características de los levantamientos realizados en la zona analizada.

6.2.1 Resolución espacial del modelo de elevación digital (DEM).

La cantidad de información detallada que un modelo de elevación digital (DEM) puede representar sobre la topografía del terreno se basa en sus dimensiones, por lo que son importantes. La precisión y habilidad para capturar características como pendientes, elevaciones y variaciones en el terreno serán mayores cuanto hay más dimensiones.

Entorno a la **figura 6.7** y **figura 6.8** la resolución y el nivel de detalle del terreno están influenciados por el tamaño de píxel en un Modelo de Elevación Digital (DEM). La precisión proporcionada por píxeles más pequeños es ideal para análisis detallados de la topografía. Pero también implica archivos más grandes. Aunque los píxeles más grandes reducen la precisión, mejoran la eficiencia de almacenamiento.

Dimensiones	X: 580 Y: 661 Bandas: 1
Origen	719529.5695600000908598,9657025.1105100009590387
Tamaño de píxel	0.5,-0.5

*Fig. 6.7 Dimensiones obtenidas del DEM a partir de levantamiento con UAVS
Fuente: Autores – Qgis*

Dimensiones	X: 4028 Y: 3378 Bandas: 1
Origen	719485.4899999999906868,9657008.6156986318528652
Tamaño de píxel	0.09998795900000000125,-0.09997504399999999902

*Fig. 6.8 Dimensiones obtenidas del DEM a partir de levantamiento por estación total.
Fuente: Autores – Qgis*

6.2.1.1 Discusión de dimensiones

Como se muestra en la **figura 6.7** los UAVS o vehículos aéreos no tripulados tienen la capacidad de capturar una amplia zona, lo que indica un alcance más amplio. Esto es ventajoso para proyectos que requieren una evaluación rápida de áreas extensas.

Mientras que en la **figura 6.8** según la dimensión del DEM obtenida con el levantamiento de la estación total demuestra que se concentra en áreas más pequeñas con detalles extremadamente precisos. Es más adecuado para su uso en lugares específicos donde se requieren mediciones precisas y detalladas.

6.2.1.2 Discusión del origen

Según el valor que se muestra la **figura 6.7** el origen del levantamiento topográfico con Dron posee una variación debido a la altitud y al movimiento del vuelo, los datos del UAV pueden no ser tan precisos como los de la estación total, pero siguen siendo adecuados para un mapeo general.

Mientras que en la **figura 6.8** con datos de la estación total, el origen es extremadamente preciso, lo que refleja la importancia de la precisión en proyectos de construcción o ingeniería civil donde cada milímetro es importante.

6.2.1.3 Discusión del tamaño de píxeles

Según los datos del tamaño de píxel del levantamiento con UAVS que se observa en la **figura 6.7** la dimensión del píxel más pequeño en el levantamiento con UAVS indica una mayor

resolución de la imagen, lo que es esencial para diferenciar características pequeñas desde el aire.

Mientras que con la resolución del tamaño de píxel que se aprecia en la **figura 6.8** con la estación total debido a que es necesario realizar una interpolación para obtener un DEM este saldrá con un tamaño de píxel más pequeño debido a que la interpolación rellena datos faltas a partir de los puntos ya obtenidos, pero si tenemos, pero en todo caso el tamaño del DEM sería de 5m x 5m, ya que se tomó cada punto a una distancia a una distancia promedio de 5 metros cada uno.

6.2.2 Número de puntos

El número de puntos en un análisis topográfico con estación total y vehículos aéreos UAVS se refiere a las coordenadas específicas registradas en el terreno. Estos puntos representan elevaciones, puntos de interés u otros datos número de puntos pertinentes obtenidos durante la medición topográfica.

En el análisis topográfico, cada punto es una ubicación específica en el suelo que tiene coordenadas tridimensionales: latitud, longitud y elevación. Estos puntos registran detalles como la topografía del suelo, las elevaciones y los obstáculos. Para crear un mapa detallado del área analizada, la estación total y los UAVS registran estos puntos.

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	72779	38479
Mn	62661	6464
Max	79901	52356
Mean	73196	36820

Fig. 6.9 Número de puntos obtenidos por el levantamiento por UAVS.
Fuente: Autores – Gis

	field_1	field_2	field_3	field_4	field_5
721	722.00	9656770	719643	3011	NULL
722	723.00	9656762	719647	3010	NULL
723	724.00	9656760	719654	3008	NULL

Fig. 6.10 Número de puntos obtenidos por el levantamiento con estación total.

Fuente: Autores – Gis

6.2.2.1 Discusión del número de puntos

En el levantamiento con vehículos aéreos no tripulados (UAVS) se obtuvo una gran cantidad de puntos **figura 6.9** esto debido los UAVS tienen sensores que capturan datos desde el aire. Lo que les proporciona capturar una gran cantidad de puntos de forma automática sin selección manual y no requieren la presencia de un operador en el terreno.

Esto da como resultado un número significativamente mayor de puntos topográficos en comparación con una sola estación.

Mientras que una con una estación total **figura 6.10** un operador está en el terreno y selecciona manualmente los puntos específicos que se medirán. Esto implica que el operador selecciona puntos aleatorios.

La cantidad de puntos topográficos que se obtienen suele ser menor en comparación con los UAVS debido a la selección manual de puntos.

6.2.3 Elevación

La elevación con respecto al nivel del mar se determina mediante la medición de la distancia vertical desde el punto en cuestión hasta la superficie del océano en un levantamiento topográfico ya sea por vehículos aéreos no tripulados (UAVS) o con estación total.

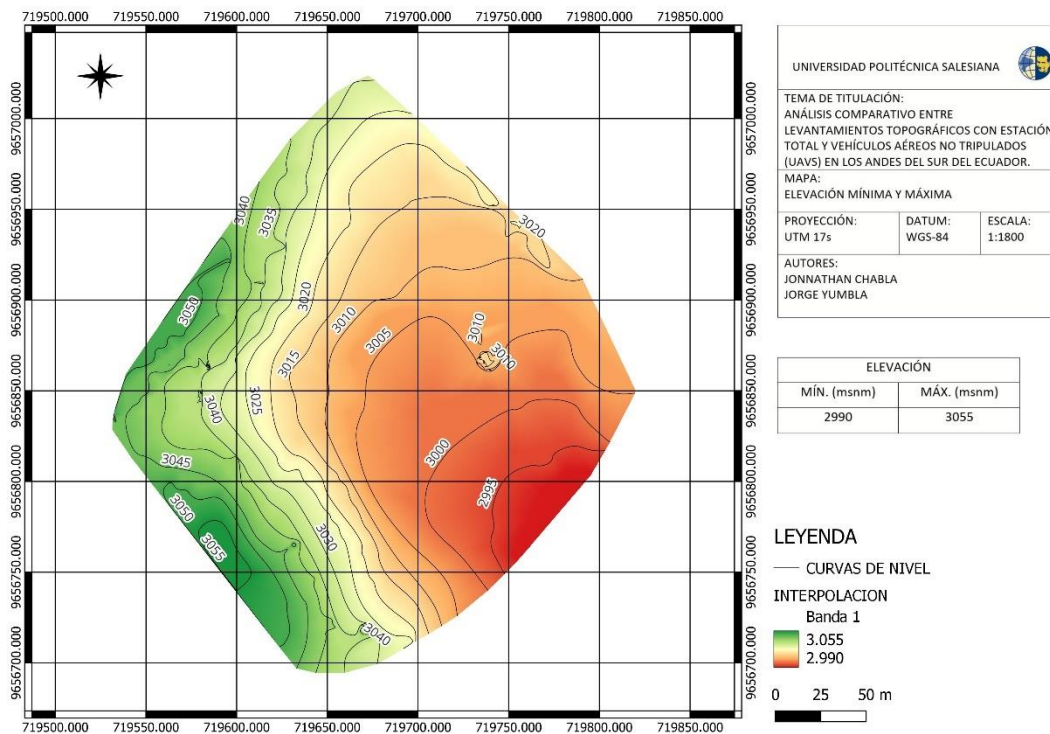


Fig. 6.11 Elevación máxima y mínima del DEM a partir del levantamiento con UAVS.

Fuente: Autoresr – Gis

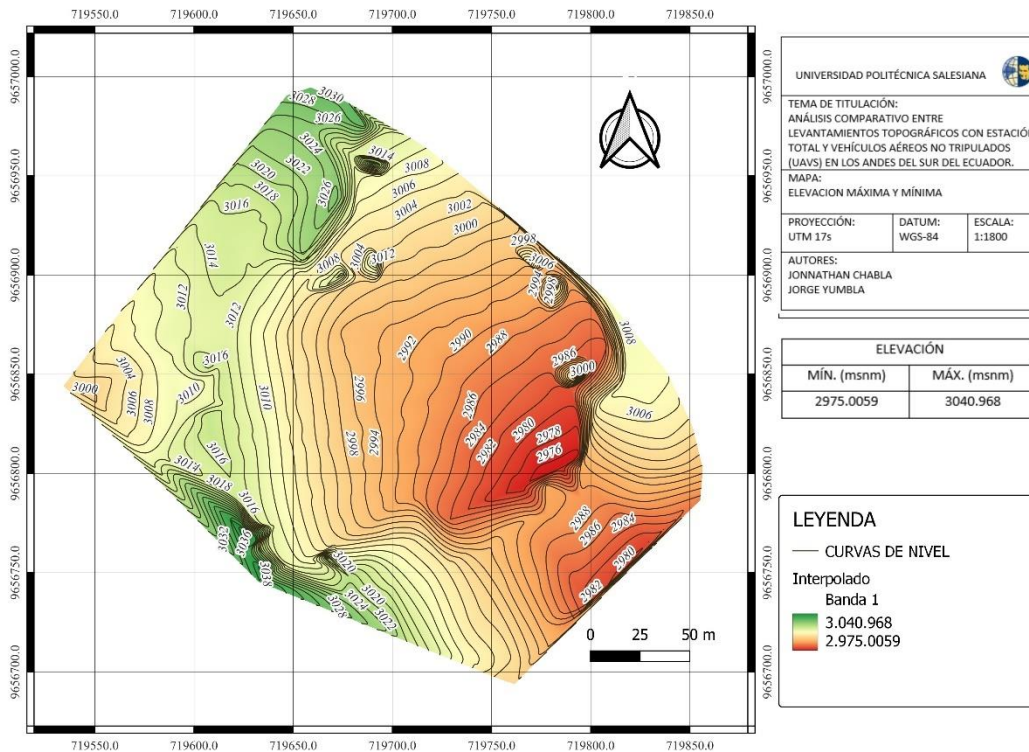


Fig. 6.12 Elevación máxima y mínima del DEM a partir del levantamiento con estación total
Fuente: Autores- Gis

6.2.3.1 Discusión de Elevación

Mediante el valor de 2995 msnm como mínimo y 3055 msnm como máximo valor. La elevación tomada con vehículos aéreos no tripulados como se muestra en la **figura 6.11** debido a que las mediciones se realizan desde el aire y pueden estar relacionadas con la altitud o la resolución de los sensores utilizados, en el caso del levantamiento con UAVS, los valores mínimos y máximos pueden ser números enteros o "cerrados". Por ejemplo, la altitud de vuelo puede afectar las mediciones y producir números enteros o redondeados.

Mientras que la elevación máxima de 3040.9 msnm y mínima de 2975.01 msnm con estación total se registran mediciones con gran precisión y se expresan con decimales en los levantamientos con estación total. Esto indica que se pueden medir distancias con gran

precisión y que los valores mínimos y máximos se expresan con múltiples decimales para mostrar esa precisión. Por ejemplo, los valores que se muestran en la **figura 6.12** pueden proporcionar mediciones precisas de distancias en unidades particulares.

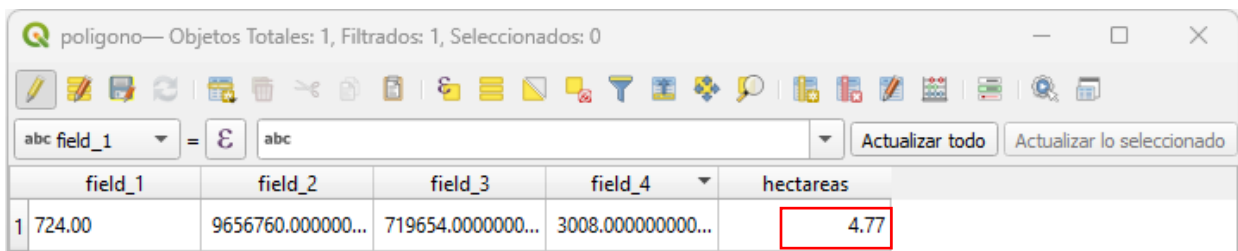
6.2.4 Área

El área de un terreno tiene un gran impacto en la generación y utilidad de un modelo 3D derivado de levantamientos topográficos con drones y estaciones totales. La complejidad del terreno afecta significativamente la calidad de la representación 3D, y la resolución del modelo y la cantidad de datos capturados dependen de la extensión del área. En proyectos de ingeniería civil o urbanos, un área más grande permite una planificación más detallada y un cálculo más preciso de los volúmenes de movimiento de tierras.

Area Covered	0.057 km ² / 5.6772 ha / 0.02 sq. mi. / 14.0359 acres
--------------	--

Fig. 6.13 Área cubierta con UAVS.

Fuente: Autores - Pix4d



	field_1	field_2	field_3	field_4	hectareas
1	724.00	9656760.000000...	719654.00000000...	3008.0000000000...	4.77

Fig. 6.14 Área cubierta con estación total

Fuente: El autor – Gis

6.2.4.1 Discusión área

Como se puede observar en la **figura 6.13** el dron destacó un área de 5.67 ha debido a su capacidad de cubrir extensiones topográficas extensas de manera eficiente y rápida, aprovechando su capacidad de vuelo y adquisición de datos aéreos, pero una desventaja clara que se notó al momento de realizar el levantamiento topográfico fue el limitado rango del dron y la capacidad de mantener su vuelo por la capacidad de su batería. En contraste, en la **figura 6.14** con la estación total se cubrió un área de 4.77 ha denotado una eficiencia inferior, especialmente en terrenos extensos, lo que nos limita la capacidad para abordar áreas extensas con la misma rapidez que un dron y su proceso es más demorado debido a que depende de la rapidez con la que los cadeneros y el que opera la estación total se organicen y ejecuten la toma de puntos.

6.2.5 Perfil de elevación

Podemos definir un perfil de elevación como el trazar una línea transversal a las líneas de nivel de un mapa topográfico que permite obtener un perfil de elevación, que es una representación gráfica de la elevación del terreno a lo largo de una línea recta. Esta línea de perfil muestra la altura del terreno en cada punto. Es posible crear un perfil de elevación trazando una línea transversal manual o digitalmente en un mapa topográfico, utilizando software de perfiles digitales de Sistemas de Información Geográfica (SIG) o realizando mediciones de campo para determinar la elevación del terreno a lo largo de una línea. En la **figura 6.15** y **figura 6.16** se muestra el tramo del cual se obtendrá el perfil de elevación para ambos tipos de levantamiento (UAVS y Estación Total).

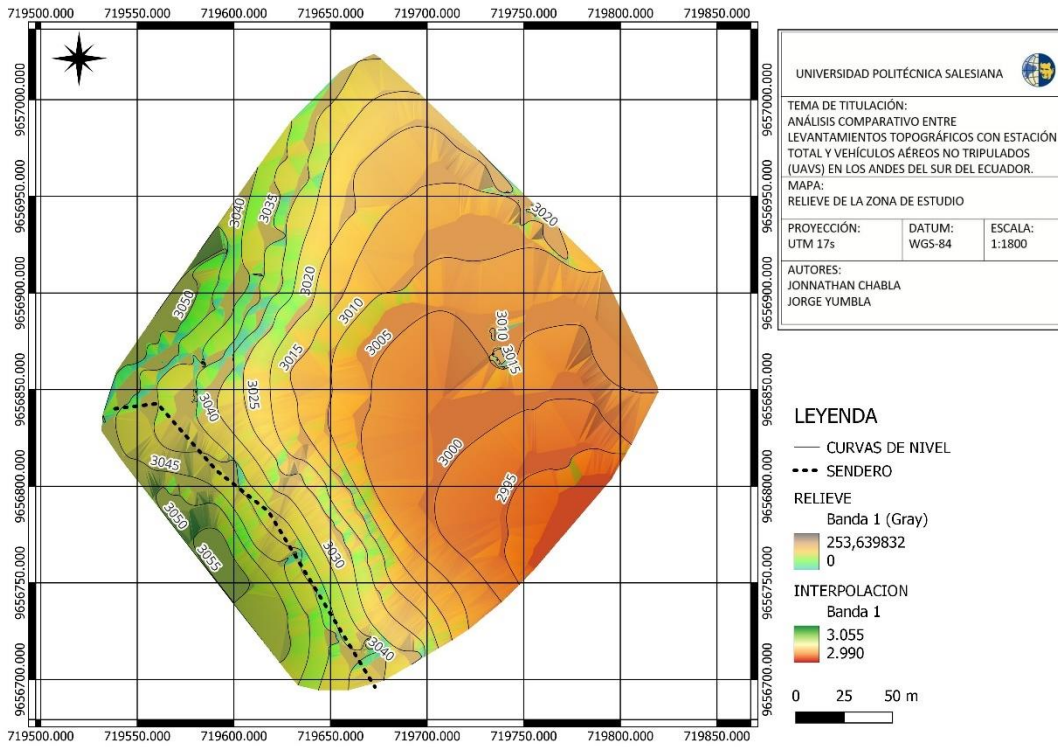


Fig. 6.15 Ubicación de sendero para perfil de elevación (UAV).

Fuente: Autores- QGIS

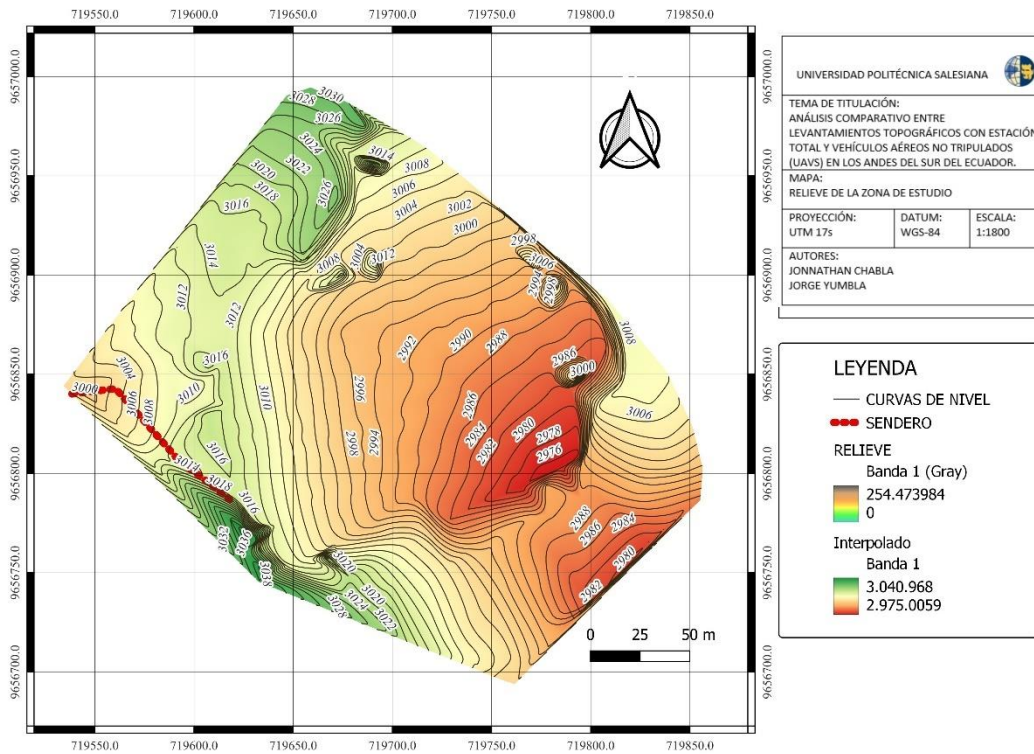


Fig. 6.16 Ubicación de sendero para perfil de elevación (Estación Total).

Fuente: Autores- QGIS

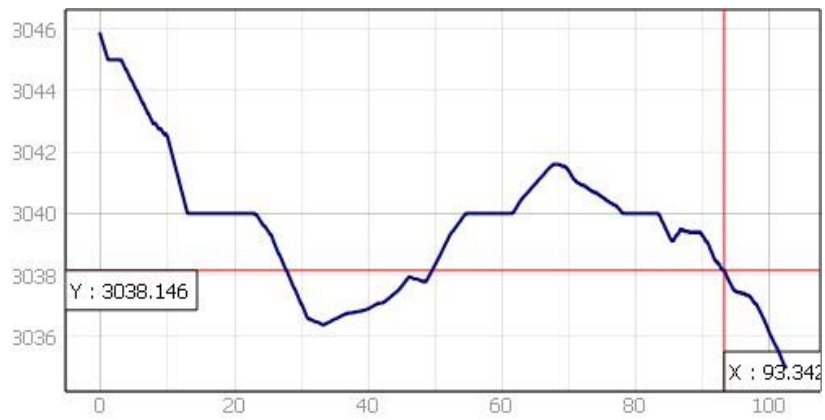


Fig. 6.17 Perfil de elevación del sendero por medio de UAV.

Fuente: Autores- QGIS

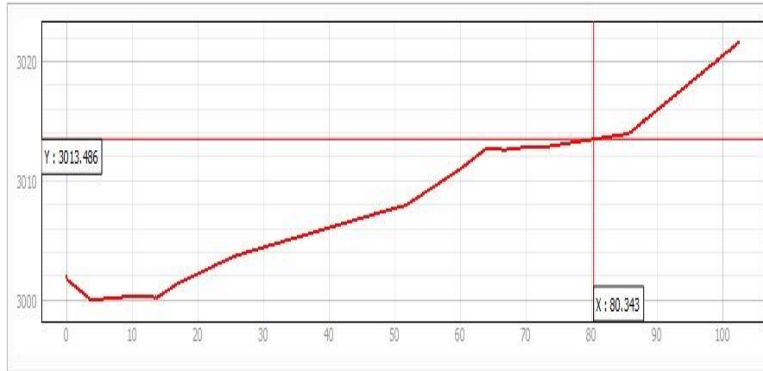


Fig. 6.16 Perfil de elevación del sendero por medio de estación total.
Fuente: Autores- QGIS

6.2.5.1 Discusión perfil de elevación

Como se puede observar en la **figura 6.17** La primera imagen representa un perfil de elevación derivado de datos capturados mediante vehículos aéreos no tripulados (UAVS). Se observa una serie de fluctuaciones pronunciadas en la elevación a lo largo del perfil. Estas variaciones pueden atribuirse a la capacidad de los UAVS para capturar detalles finos del terreno en áreas extensas, con una perspectiva aérea que, sin embargo, puede verse ligeramente afectada por la estabilidad del vuelo y las condiciones atmosféricas durante el levantamiento.

Mientras que en la **figura 6.18** la segunda imagen ilustra un perfil de elevación obtenido a través de un levantamiento topográfico con estación total. Se manifiesta un incremento progresivo en la elevación, con transiciones más suaves entre los puntos de medición. Esto es indicativo de la alta precisión puntual de las estaciones totales, las cuales son particularmente eficaces en terrenos donde se requiere una precisión milimétrica y la vegetación o los obstáculos presentes limitan la visibilidad.

Al contrastar ambos perfiles, es importante considerar que la diferencia en la variabilidad de las elevaciones podría estar influenciada por la naturaleza inherente de cada tecnología de levantamiento. Los UAVS, al ofrecer una cobertura más amplia, pueden capturar variaciones sutiles en superficies grandes, lo que resulta en un perfil con mayor cantidad de picos y valles. Por otro lado, la estación total, con su enfoque más dirigido y medición punto por punto, proporciona un perfil que refleja con precisión el contorno del terreno en la línea de levantamiento específica.

Además, es fundamental considerar la escala y el intervalo de muestreo de los datos. Un intervalo más pequeño entre mediciones en el levantamiento con estación total podría resultar en una representación más detallada del terreno, mientras que los UAVS, dependiendo de su altitud y la resolución de la cámara, podrían tener un intervalo de muestreo más amplio.

6.2.6 Pendientes.

La pendiente se define como la inclinación de una superficie con respecto a un plano horizontal, y puede expresarse en términos de porcentaje, grado o ángulo. Este parámetro se expresa generalmente como la proporción entre la diferencia vertical de elevación y la distancia horizontal entre dos puntos en el terreno. Su cálculo implica dividir la diferencia de elevación entre dos puntos por la distancia horizontal correspondiente (Alonso, 2019). En la **figura 6.19** y **figura 6.20** se puede observar la clasificación de las pendientes que se utiliza para describir la inclinación del terreno.

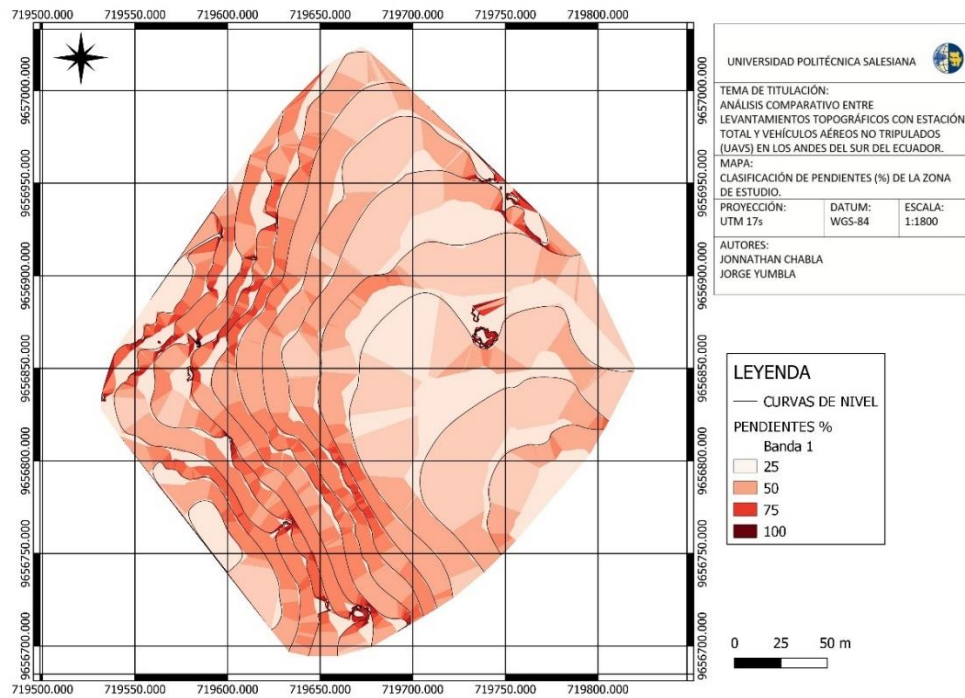
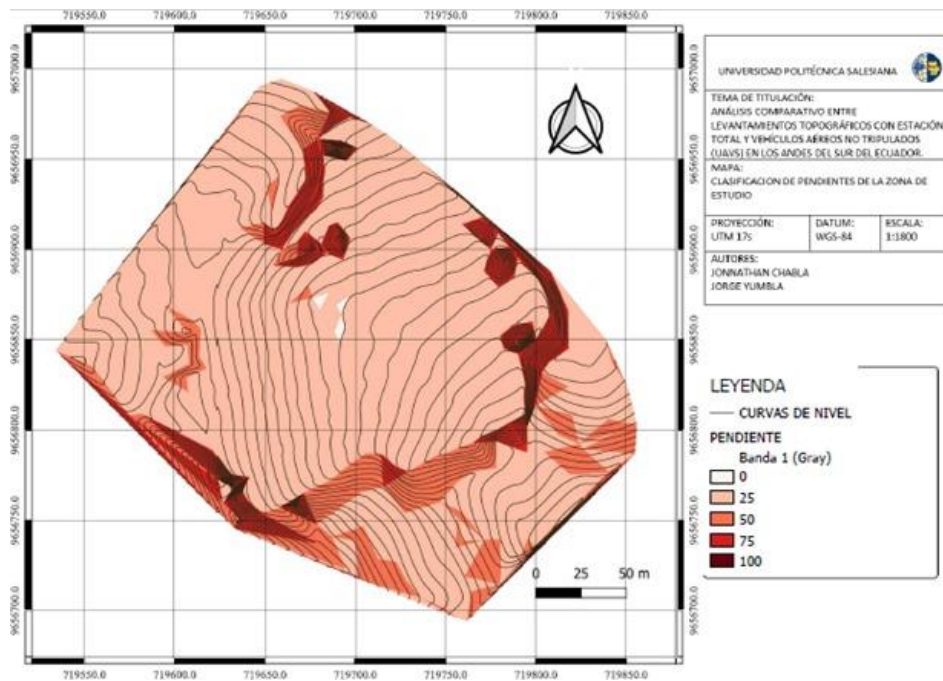


Fig. 6.17 Porcentaje de pendiente del levamiento por UAV.
Fuente: Autores- QGIS



*Fig. 6.18 Porcentaje de pendiente del levamiento por estación total.
Fuente: Autores- QGIS*

6.2.6.1 Discusión pendientes

En la **figura 6.19**, para el levantamiento topográfico con UAV permite una mayor resolución al detectar cambios sutiles en las pendientes por la capacidad de capturar imágenes desde múltiples ángulos y altitudes. Esto puede resultar en un mapa que muestra una distribución más detallada de las pendientes en comparación con métodos tradicionales como la estación total. En cambio, lo que muestra la **figura 6.20** el uso de la estación total para obtener el tipo de pendiente nos brinda beneficios en relación a la precisión, eficiencia y versatilidad, para de este modo mejorar la calidad y confiabilidad de los datos topográficos obtenidos.

7. CONCLUSIONES.

Se identificaron diferencias significativas en cuanto a eficiencia y detalle tras comparar modelos 3D derivados de levantamientos topográficos realizados con un dron y una estación total en una extensión plana. El dron demostró una alta eficiencia al abarcar grandes áreas con rapidez y capturar datos con densidad, lo que ayudó a crear un modelo 3D muy detallado y visualmente impactante. Por otro lado, la estación total mostró precisión en áreas específicas, lo que resultó en detalles topográficos más precisos.

Las prioridades del proyecto determinarán la elección entre ambos métodos. Los drones se vuelven la opción preferida si la rapidez y la cobertura son importantes. Sin embargo, la estación total ofrece ventajas en detalle si se requieren mediciones extremadamente precisas

en lugares particulares. Para obtener un modelo 3D completo y preciso, en algunos casos, la combinación de ambos métodos podría ser la mejor opción.

Es crucial destacar que la elección entre el dron y la estación total está relacionada con factores prácticos y logísticos. La estación total puede enfrentar limitaciones en áreas extensas, mientras que las condiciones climáticas y la accesibilidad del terreno pueden afectar la eficiencia de la adquisición de datos con drones. En este sentido, cada tecnología debe ser considerada con atención para que se adapte a las condiciones específicas del proyecto.

En conclusión, elegir una estación total o un dron para levantar topografía y crear modelos 3D implica un equilibrio entre la eficiencia operativa, la precisión de los datos y las necesidades específicas del proyecto. La evaluación cuidadosa de estos elementos permitirá elegir la metodología más adecuada, incluso si es posible combinar ambos métodos para obtener los mejores resultados.

La elección de la tecnología para levantamientos topográficos depende de las características del área y los objetivos del proyecto. Mientras que los vehículos aéreos son preferibles en áreas extensas o difíciles de acceder, la estación total es mejor para áreas con topografía menos compleja. La combinación de estas tecnologías puede hacer que la recopilación de datos geoespaciales sea más eficiente, especialmente en áreas complicadas como los Andes del sur de Ecuador. El uso de esta complementariedad aumenta la eficiencia y precisión del análisis topográfico en una variedad de áreas geográficas.

La precisión y detalle del mapa resultante dependen del número de puntos recogidos en un levantamiento topográfico. La representación del terreno será más precisa cuantos más

puntos se registren. La precisión y utilidad de los mapas topográficos están significativamente influenciadas por la eficacia de la estación total y los UAVS en capturar una gran cantidad de puntos, especialmente en áreas con topografía compleja.

La elevación y la topografía son fundamentales para el análisis geomorfológico de las zonas montañosas, especialmente para prevenir y comprender los deslizamientos de tierra. Para la planificación y gestión de riesgos en estas áreas, los levantamientos topográficos detallados permiten identificar y analizar las condiciones que contribuyen a la inestabilidad del terreno. Para comprender y reducir los efectos de fenómenos naturales como los deslizamientos de tierra, la combinación de diferentes técnicas topográficas y la creación de mapas detallados son herramientas esenciales.

En topografía, el perfil de elevación es una herramienta esencial para comprender la variación altimétrica del terreno. Usar con tecnologías como UAVS y estaciones totales permite una comprensión detallada y precisa de la topografía de una zona específica. Esto es particularmente útil en zonas con topografía compleja, donde una representación tridimensional precisa del terreno es esencial para la planificación y ejecución de proyectos.

La clasificación de pendientes de la zona de estudio muestra que la mayoría de los terrenos tienen inclinaciones suaves a moderadas. Esto implica una mayor accesibilidad y mayores posibilidades de uso del terreno para diferentes actividades, desde la agricultura hasta la construcción. La menor presencia de áreas con pendientes extremas indica una prevalencia general de terreno menos abrupto, lo que puede ser beneficioso para ciertos tipos de desarrollo o uso de la tierra en la región.

Debido a que la zona de estudio esta propensa a presentar deslizamientos de tierra si se desea realizar más estudios en el mismo campo de la topografía los datos obtenidos serian la base para los proyectos a futuro en esta zona, debido a que la topografía cambiaria con el tiempo.

Se elaboro un cronograma corto y detallado para utilizar las herramientas de medición topográfica de la universidad. Primero se destinó un día completo que cumplía con los parámetros especificados en el plan de vuelo para el uso del dron (UAV), lo que permitió recopilar puntos topográficos de manera eficiente para luego concluir con el post proceso de datos el cual duro un periodo de un día y medio completo para la construcción de un modelo digital del área de estudio. Después de finalizar el levantamiento topográfico con el UAV en todas sus fases, se dedicó dos semanas al uso de la estación total, debido a la precisión y complejidad de estas mediciones este método tuvo una duración más prolongada por parte del trabajo en campo, además de un día entero en la recopilación de datos y obtención del modelo digital del área topográfica.

La diferencia más notoria entre estos dos métodos de medición es su duración tanto en el trabajo de campo como el post procesamiento de datos. En este caso de estudio, el método que cuenta con un corto periodo de tiempo es el levantamiento que se llevó acabo con el UAV. Debido a que en total serian 5 a 7 días de trabajo en total incluyendo la planificación del vuelo del dron, el trabajo en campo y el post procesamiento de datos para obtener un modelo topográfico detallado.

El software Pix4D se utilizó para procesar los datos posteriores al levantamiento del dron en nuestro proyecto. Al analizar los datos generados por el software en la primera iteración del proceso, encontramos valores que resultaron ser irracionales o inconsistentes.

Después de una revisión y análisis minuciosas, identificamos las posibles causas de los errores e implementamos los cambios y correcciones necesarios para resolver los problemas. Estas correcciones y ajustes se implementaron en el software Pix4D en la segunda ejecución, lo que nos permitió mejorar significativamente la calidad de los datos.

Gracias a estos esfuerzos adicionales y a las capacidades de ajuste y corrección del software Pix4D, logramos obtener valores que se alinean de manera más cercana con la realidad, lo que nos permite obtener resultados más confiables y precisos para nuestro proyecto. Esta experiencia enfatiza el uso de herramientas adecuadas y revisiones exhaustivas en el proceso de post procesamiento para garantizar la calidad y precisión de los datos finales.

Para el caso del levantamiento con la estación total, el tamaño de la grilla utilizada para tomar puntos con la estación total en nuestro proyecto es de 5 metros por 5 metros aproximados, ya que esta sería la distancia aproximada que existe entre la estación total y el prisma que se colocó alrededor de toda el área topográfica para la obtención de puntos. Este tamaño de grilla se adapta a las necesidades y especificaciones del proyecto.

Por otro lado, hemos utilizado una grilla más fina de 0,5 por 0,5 metros durante el levantamiento con el dron, con las respectivas correcciones del Pix4d. Esta elección se debe a que el dron tiene la capacidad de capturar datos con una resolución espacial más alta, lo que nos permite obtener una representación más detallada y precisa del terreno.

El tamaño de la grilla o resolución para la estación total depende de la distancia que existe entre la estación total y el prisma, pero para el caso con las UAVS podemos modificar este

parámetro en el post proceso dependiendo de lo detallado que se necesita el mapa topográfico.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Fiorucci, F., Cardinali, M., Carlà, R., Rossi, M., Mondini, A. C., Santurri, L., Ardizzone, F., & Guzzetti, F. (2011). Seasonal landslide mapping and estimation of landslide mobilization rates using aerial and satellite images. *Geomorphology*, 129(1), 59-70. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.01.013>

Latocha, A. (2009). Land-use changes and longer-term human-environment interactions in a mountain region (Sudetes Mountains, Poland). *Geomorphology*, 108(1-2), 48-57. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.02.019>

Šikl, R., Svatoňová, H., Děchtěrenko, F., & Urbánek, T. (2019). Visual recognition memory for scenes in aerial photographs: Exploring the role of expertise. *Acta Psychologica*, 197, 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2019.04.019>

Thomas, H. (2017). A methodology for combining terrestrial and aerial photographs to create high resolution photogrammetric models of large-scale archaeological sites: A case study for Methone, Greece. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 16, 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.09.015>

Wheaton, J. M., Garrard, C., Whitehead, K., & Volk, C. J. (2012). A simple, interactive GIS tool for transforming assumed total station surveys to real world coordinates – the CHaMP

transformation tool. *Computers & Geosciences*, 42, 28-36.

<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.02.003>

Breckenridge, R. P., Dakins, M., Bunting, S., Harbour, J. L., & White, S. (2011). Comparison of Unmanned Aerial Vehicle Platforms for Assessing Vegetation Cover in Sagebrush Steppe Ecosystems. *Rangeland Ecology & Management*, 64(5), 521-532.

<https://doi.org/10.2111/REM-D-10-00030.1>

Correa Perdomo, A. (2022). *Practicas de topografía: Guías didácticas*. Universidad de La Salle - Ediciones Unisalle. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaups/titulos/226678>

Davenport, C., & Voiculescu, I. (2015). *Mastering AutoCAD Civil 3D 2016: Autodesk Official Press*. Wiley. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaups/titulos/184504>

Enrique Priego de los Santos. (2015). *Topografía: Instrumentación y observaciones topográficas*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaups/titulos/57400>

Enrique Priego de los Santos. (2015). *Topografía: Instrumentación y observaciones topográficas*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaups/titulos/57400>

Gallego Salguero, A., & Sanchez Marco, M. (2014). *Manual de topografía en ingeniería*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaups/titulos/57376>

García Martín, A. (2014). *Topografía*. Universidad Politécnica de Cartagena. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaups/titulos/59887>

Hardin, P. J., & Jackson, M. W. (2005). An Unmanned Aerial Vehicle for Rangeland Photography. *Rangeland Ecology & Management*, 58(4), 439-442. [https://doi.org/10.2111/1551-5028\(2005\)058\[0439:AUAVFR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2111/1551-5028(2005)058[0439:AUAVFR]2.0.CO;2)

Javadnejad, F., Slocum, R. K., Gillins, D. T., Olsen, M. J., & Parrish, C. E. (2021). Dense point cloud quality factor as proxy for accuracy assessment of image-based 3D reconstruction. *Journal of Surveying Engineering*, 147(1). Scopus. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000333](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000333)

Kraus, K., & Pfeifer, N. (1998). Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53(4), 193-203. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(98\)00009-4](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(98)00009-4)

Martínez-Carricondo, P., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Mesas-Carrascosa, F.-J., García-Ferrer, A., & Pérez-Porras, F.-J. (2018). Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 72, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.015>

Maza Vazquez, F. (2009). *Introducción a la topografía y a la cartografía aplicada*. Editorial Universidad de Alcalá. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaups/titulos/53475>

Agúndez, U. P., & Angulo, A. V. (2005). *Ejecución de nivelaciones, replanteos y mediciones*. LEX NOVA, S.A.U. <https://books.google.com.ec/books?id=JUn2fhXbbWkC>

Nakileza, B. R., & Nedala, S. (2020). Topographic influence on landslides characteristics and implication for risk management in upper Manafwa catchment, Mt Elgon Uganda. *Geoenvironmental Disasters*, 7(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00160-0>

Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling-Current status and future perspectives. En *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: Vol. XXXVIII-1/C22*. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-25-2011>

Ecuador ya cuenta con un reglamento para el uso de drones – Dirección General de Aviación Civil. (2020). *Aviacioncivil.gob.ec*. <https://www.aviacioncivil.gob.ec/ecuador-ya-cuenta-con-un-reglamento-para-el-uso-de-drones/>

Herminio Achucarro. (2019). *Manual Qgis Cuom*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/215137977/Manual-Qgis-Cuom>

Geoportal IGM. (2023). *Geoportaligm.gob.ec*. <https://www.geoportaligm.gob.ec/nextcloud/index.php/apps/onlyoffice/s/PXwyZMkwQARyD4z>

Geocentria. (2020, June 12). Puntos topográficos como apoyo y control para mediciones topográficas. Grupo ACRE Perú. <https://grupoacre.pe/puntos-topograficos-como-apoyo-y-control-para-mediciones-topograficas/>

Cabrero Ortega, M. Y., & Garcia Perez, A. (2022). *Analisis estadístico de datos espaciales con QGIS y R*. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaups/titulos/218566>

Alonso, D. (2019, February 7). Cómo reclasificar una imagen en QGIS. MappingGIS. <https://mappinggis.com/2019/02/como-reclasificar-una-imagen-en-qgis/>

Drones, E. (2022, November 13). Todo sobre Levantamiento Topográfico con Drones | Easy Drones. Easy Drones. <https://easydrones.es/blog/levantamiento-topografico-drones/#:~:text=Un%20levantamiento%203D%20con%20drones,%C3%BAtil%20para%20planificar%20o%20analizar.>