



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DE PRECISIÓN EN MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL DE DOMINIO PÚBLICO (ASTER Y ASF ALOS PALSAR), LEVANTAMIENTO DE RELIEVE POR DRON Y TOPOGRAFÍA DE PRECISIÓN GENERADA CON RTK EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniera Civil

AUTORA: ANGÉLICA DANIELA VÁSQUEZ PUGO

TUTOR: ING. CRISTIAN PAÚL MERA PARRA

Cuenca - Ecuador

2023

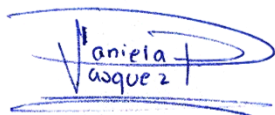
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Angélica Daniela Vásquez Pugo con documento de identificación N° 0150729788, manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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, 10 de julio de 2023

Atentamente,



Angélica Daniela Vásquez Pugo

0150729788

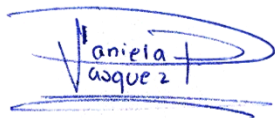
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Angélica Daniela Vásquez Pugo con documento de identificación N° 0150729788, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud que soy autora del Proyecto técnico: “Evaluación de precisión en modelos de elevación digital de dominio público (ASTER y ASF ALOS PALSAR), levantamiento de relieve por dron y topografía de precisión generada con RTK en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 10 de julio de 2023

Atentamente,



Angélica Daniela Vásquez Pugo

0150729788

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Paúl Mera Parra con documento de identificación N° 1804404034, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE PRECISIÓN EN MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL DE DOMINIO PÚBLICO (ASTER Y ASF A LOS PALSAR), LEVANTAMIENTO DE RELIEVE POR DRON Y TOPOGRAFÍA DE PRECISIÓN GENERADA CON RTK EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA, realizado por Angélica Daniela Vásquez Pugo con documento de identificación N° 0150729788, 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, 10 de julio de 2023

Atentamente,



Ing. Cristian Paúl Mera Parra

1804404034

DEDICATORIA

Con mucho amor quiero dedicar este proyecto de titulación a mi papá Carlos y a mi mamá Caty, han sido el pilar fundamental para que yo pueda estar concluyendo esta etapa de mi vida. Se cuanto esperaban este momento y las palabras no son suficientes para todo lo que les quisiera expresar, los amo.

A mi hermana, que es parte importante de mis días, tus palabras han sido un apoyo enorme, saber que te sientes orgullosa de mi es el valor y fuerza que lleve durante estos años en mi corazón.

A mi abuelita Carlota, que contaba los días para verme culminar mis estudios, sus bendiciones de cada mañana ayudaron a que todo vaya de maravilla todos los días durante este tiempo.

A mis seres queridos, que han venido estos años apoyándome y brindándome sus buenos deseos.

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por haber guiado mi proceso de formación y por la fortaleza que día a día me ha dado para salir adelante.

A mis padres Carlos y Caty, por todo el trabajo y esfuerzo que han llevado haciendo para darme la oportunidad de culminar esta meta, gracias por confiar en mi todos estos años y permitirme ser parte de su orgullo.

A mi hermana, haz hecho tanto por mí, que fuiste motivación para llegar hasta aquí, gracias por tu apoyo, tus abrazos y tu amor.

A mis amigos, han sido un gran apoyo emocional durante el tiempo que realizaba este proyecto de titulación, gracias por corregirme, ayudarme y no dejarme sola en todo este tiempo, de manera especial a Taty, Joseph y Andrés.

A mi tutor de tesis Ing. Cristian Mera, le agradezco su paciencia, tiempo y apoyo para la realización de este proyecto.

A mis maestros, de manera especial a la Ing. Tania Orellana, gracias por depositar su confianza y apoyo durante toda mi formación.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por brindarme diferentes espacios para desarrollar mis habilidades y generar aprendizajes, de manera especial, IEEE, Coworking StartUPS y ASU CIVIL, han sido parte importante de mi vida universitaria tanto en mi formación personal como profesional.

RESUMEN

En la actualidad, los Modelos Digitales de Elevación (DEM) de dominio público, son una herramienta valiosa para la variedad de aplicaciones científicas, diseños de ingeniería en infraestructuras e industriales. Sin embargo, la precisión con la cobertura o uso del suelo, pendiente y perfil de estos modelos a menudo no está clara, siendo un aspecto importante para la comunidad que haga uso de este. Este estudio evalúa la precisión de tres productos DEM de acceso abierto y sin restricciones geográficas (ASTER, ASF ALOS PALSAR, SIGTIERRAS) en la zona de la Universidad Politécnica Salesiana de la ciudad de Cuenca. Paralelamente, se aborda el creciente uso de los drones en la adquisición de datos topográficos para generar un DEM con dron, revelando así la precisión de los tres modelos en base al posicionamiento diferencial con GNSS RTK que proporciona precisión a nivel centimétrica en tiempo real. Los datos generados por el método GNSS RTK en este estudio sirven como el estándar de referencia para evaluar la precisión de los DEMs de dominio público y por dron.

En primera instancia se analiza que El DEM con dron se ajusta a la superficie del terreno, obteniendo la elevación de las edificaciones. ASTER se ajusta al perfil longitudinal, teniendo una pendiente uniforme en la primera etapa y en la parte superior se alinea con la altura de los edificios. Caso contrario pasa con ASF que se adapta a la elevación del terreno. SIGTIERRAS presenta el perfil del terreno y no se ajusta a las variaciones de altura de los edificios. Teniendo esto en cuenta, se extrae la naturaleza de los datos obtenidos. Esta comparativa entre los cuatro métodos revela información crucial sobre su precisión y aplicaciones en diferentes contextos. Este estudio brinda orientación a investigadores, planificadores de terrenos y personas a cargo de

resoluciones que dependen de los datos topográficos precisos en la selección de un Modelo Digital de Elevación.

PALABRAS CLAVES

Modelo digital de elevación, DEM, ASTER, ASF, SIGTIERRAS, dron, precisión, ArcMap, MDS, MDT, análisis comparativo.

ABSTRACT

Today, public domain Digital Elevation Models (DEMs) are a valuable tool for a variety of scientific, infrastructure engineering design, and industrial applications. However, the accuracy with land cover or land use, slope and profile of these models is often unclear, being an important aspect for the community making use of it. This study evaluates the accuracy of three open access DEM products without geographical restrictions (ASTER, ASF ALOS PALSAR, SIGTIERRAS) around the Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. In parallel, the increasing use of drones in the acquisition of topographic data to generate a DEM with drone is addressed, thus revealing the accuracy of the three models based on differential positioning with GNSS RTK that provides centimeter-level accuracy in real time. The data generated by the GNSS RTK method in this study serves as the reference standard for evaluating the accuracy of public domain and drone DEMs.

Primarily it is analyzed that the drone DEM fits the ground surface, obtaining the elevation of buildings. ASTER adjusts to the longitudinal profile, having a uniform slope in the first stage and in the upper part it is aligned with the height of the buildings. The opposite is the case with ASF, which adapts to the elevation of the terrain. SIGTIERRAS presents the terrain profile and does not adjust to the height variations of the buildings. Taking this into account, the nature of the data obtained can be extracted. This comparison between the four methods reveals crucial information about their accuracy and applications in different contexts. This study provides guidance to researchers, land planners and decision makers who rely on accurate topographic data in the selection of a Digital Elevation Model.

KEYWORDS

Digital elevation model, DEM, ASTER, ASF, SIGTIERRAS, drone, precision, ArcMap, MDS,

DTM, comparative analysis

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	6
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
2.1 ANTECEDENTES	11
2.2 JUSTIFICACION.....	13
3. DELIMITACIONES	14
4. OBJETIVO GENERAL	15
5. OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
6. MARCO TEORICO	16
1. Modelos de Elevación Digital (DEM).....	16
Definición y conceptos clave de DEM.....	16
Métodos de adquisición de datos para la generación de DEM.....	16
Características y usos de los DEM en diferentes aplicaciones.....	17
2. Fuentes de datos de DEM de dominio público.....	18
Alaska Satellite Fairbanks (ASF ALOS PALSAR).....	18
ASTER GDEM	19

Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológicas (SIG TIERRAS)	20
Ventajas y limitaciones de utilizar datos de DEM de dominio público	21
3. Levantamiento de relieve con drones	21
Introducción al uso de drones en la obtención de datos topográficos y generación de modelos de elevación	21
Ventajas del levantamiento de relieve con drones en términos de precisión, resolución y eficiencia.....	22
Consideraciones técnicas y metodológicas para realizar un levantamiento de relieve con drones	23
4. Topografía de precisión generada con RTK	24
Descripción del sistema de posicionamiento RTK (Real-Time Kinematic)	24
Ventajas de la topografía generada con RTK en términos de precisión y rapidez	24
Consideraciones y protocolos para el uso de RTK en levantamientos topográficos..	24
5. SISTEMAS DE I.G ARCMAP	25
Capítulo 1 Puntos de control para datos de precisión centimétrica mediante GNSS RTK	26
Especificaciones técnicas	27
Capítulo 2 Modelo de Elevación Digital actualizado con Dron de la zona de estudio	32
Reconocimiento de la zona.....	32

Puntos de control terrestre.....	32
Planificación del vuelo	33
Especificaciones técnicas	33
Características resultantes del plan de vuelo.....	35
Preparación del Equipo	35
Operación de vuelo.....	36
Productos Modelo Digital de Superficie y Modelo Digital de Terreno.....	36
Capítulo 3 Procesamiento de información de modelos de elevación digital de ASF ALOS PALSAR, ASTER GDEM y SIG TIERRAS.....	39
Obtención de Modelos Digitales de Elevación	39
Delimitación de la zona de estudio.....	43
Correcciones geométricas y radiométricas.....	45
Procesamiento de Residuales de Altura en el Perfil	46
Procesamiento de Residuales de Uso y Cobertura de Suelo	51
Procesamiento de Residuales de Altura por Uso del Suelo.....	52
Procesamiento de Residuales de Altura por Pendiente	53
Capítulo 4 Procesamiento de datos fotogramétricos para la impresión 3D con modelo a escala de la zona en estudio.....	54
Importación de Nube de puntos en GLOBAL MAPPER.....	54

Dimensionamiento en RECAP	57
Modelado 3D en Fusión 360	58
7. RESULTADOS.....	59
Modelo digital de elevación actualizado con dron y puntos de control de la zona de estudio	59
Residuales de Altura en el Perfil	60
Residuales de Uso y Cobertura de Suelo.....	62
Fuente: Autor.....	62
Residuales de Altura por Uso del Suelo	63
Residuales de Altura por Pendiente.....	66
Impresión 3D del procesamiento de los datos fotogramétricos de la zona de estudio	68
8. CONCLUSIONES	69
9. RECOMENDACIONES	70
10. BIBLIOGRAFIA.....	71

ÍNDICE DE IMAGEN

Imagen 1 Mapa de la zona de estudio	14
Imagen 2 Ubicación de los puntos de control geodésico	27
Imagen 3 Levantamiento Estático (Base).....	29
Imagen 4 Levantamiento Móvil (Rover).....	31
Imagen 5 Autel EVO 2 Enterprise.....	34
Imagen 6 Nube de Puntos en formato LAZ	37
Imagen 7 Modelo Digital del Terreno (MDT) en formato DEM	38
Imagen 8 DEM Dron.....	38
Imagen 9 DEM Alaska Satellite Fairbanks	40
Imagen 10 DEM ASTER.....	41
Imagen 11 DEM SIG TIERRAS	42
Imagen 12 Coordenadas de punto de control geodésico	43
Imagen 13 ASF delimitación de zona de estudio	43
Imagen 144 ASTER delimitación de zona de estudio	44
Imagen 15 SIG TIERRAS delimitación de zona de estudio	44
Imagen 16 Dron delimitación de zona de estudio	45
Imagen 17 Ruta para la evaluación de elevación en perfiles	47
Imagen 18 Cobertura del Suelo de la zona de estudio	51
Imagen 19 Coberturas para el residual de uso de suelo	52
Imagen 20 Pendientes agrupadas en rangos	53

Imagen 21 Formato LAZ de nube de puntos.....	55
Imagen 22 Open Data Files of Global Mapper	55
Imagen 23 Selection Data Files of Global Mapper	55
Imagen 24 Vista 2D y 3D de la edificación.....	56
Imagen 25 Perímetro del proyecto	56
Imagen 26 Medidas a partir de la nube de puntos de la parte frontal del edificio	57
Imagen 27 Medidas a partir de la nube de puntos de la parte posterior del edificio.....	58
Imagen 28 Modelamiento 3D del proyecto.....	59
Imagen 29 Modelo Digital de Elevación 2023.....	60
Imagen 30 Residual de Altura en el Perfil.....	61
Imagen 31 Plano frontal de impresión 3D de la zona de estudio	68
Imagen 32 Plano picado de impresión 3D de la zona de estudio	68
Imagen 33 Plano posterior de impresión 3D de la zona de estudio	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas de puntos de control.....	26
Tabla 2	Modelos Digitales de Elevación de dominio público y generado por Dron.....	39
Tabla 3	Coordenadas de la ruta para la evaluación de elevación de perfiles	46
Tabla 4	Datos del perfil de ASF	47
Tabla 5	Datos del perfil de ASTER.....	48
Tabla 6	Datos del perfil de SIG TIERRAS	49
Tabla 7	Área de cobertura de la zona de estudio	62
Tabla 8	Residual de Atura por Uso de Suelo del MDE ASTER.....	64
Tabla 9	Residual de Atura por Uso de Suelo del MDE ASF	65
Tabla 10	Residual de Atura por Uso de Suelo del MDE SIGTIERRAS	65
Tabla 11	Residual de Atura por Pendiente del MDE SIGTIERRAS.....	66
Tabla 12	Residual de Atura por Pendiente del MDE ASF	67

1. INTRODUCCIÓN

Los Modelos Digitales de Elevación son importantes para producir diseños de ingeniería en infraestructuras que necesitan modelos de terreno como carreteras, ferrocarriles, planes de nivelación y otros proyectos de movimiento de tierras. La representación de la superficie del terreno en el Modelo de Elevación Digital (DEM) se puede obtener de muchos recursos en línea, siendo una ilustración cuantitativa del terreno y es fundamental para el conocimiento tecnológico de la Tierra y distintas aplicaciones. Google Earth fue uno de los más utilizados en línea de datos DEM. Es el más adecuado en planificación de grandes áreas. La limitación existente es la información reducida con buena precisión por la resolución muy alta que existe.

Sin embargo, los modelos UAV Dron DEM ha demostrado ser un recurso útil para aplicaciones de ingeniería civil. La fuente en línea disponible DEM necesitaba una evaluación de qué tan confiable es en comparación con la anterior. Por lo tanto, este estudio comparó varios DEM de fuentes en línea con los resultados de drones UAV (Vehículo aéreo no tripulado) para identificar el caso óptimo dependiendo la aplicación. El caso de estudio de esta investigación se encuentra en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, lo cual abre las puertas a distintas aplicaciones con las cuales se requiera la actualización y precisión de información en zonas de estudio con un crecimiento urbanístico continuo y actualización vial.

Los recursos DEM en línea como Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), Global Digital Elevation Map (GDEM), entre otros, se procesan mediante softwares conocidos, ej. Arc Map y Global Mapper. En el caso de las aplicaciones BIM como Autodesk Infra Works se pueden usar para obtener el Modelo 3D de la Tierra de BING Maps, que se usará en el proceso de diseño para

hacer la representación 3D de los proyectos de construcción. En comparación con las fuentes de datos gratuitas o de costo relativamente bajo, la tecnología reciente de topografía permitió obtener el modelo del terreno de manera efectiva y eficiente mediante el uso de UAV Dron.

El mapeo con UAV también posee la capacidad de producir una precisión lo suficientemente buena como para formar la base de una planificación detallada. Los sensores y plataformas de vehículos aéreos no tripulados (UAV) en forma de dispositivos de detección remota se utilizan actualmente en casi todas las aplicaciones que requieren que la información se observe desde una vista superior o inclinada para obtener información de alta resolución espacial como es en la agricultura, silvicultura y minería. Las mediciones con UAV pueden obtener una precisión desde 1 mm hasta 10 m, siendo usados de manera efectiva para áreas de entre 10 a 10.000 m con una correlación entre el área objetivo y la precisión del objetivo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La generación e interpretación de Modelos Digitales de Elevación (MDE) desempeñan un papel fundamental en digitalización cartográfica, planificación urbana y otras disciplinas relacionadas con la geografía y la topografía. En particular, la evaluación de la precisión de los MDE de dominio público es crucial para garantizar la confiabilidad y la calidad de los datos empleados en aplicaciones prácticas. Pero estos datos se encuentran en plataformas que no llevan una base de datos con actualización constante. Además, la recopilación de datos de elevación de diferentes fuentes, pueden tener áreas geográficas donde la información no esté disponible o esté limitada.

Por otro lado, en la actualidad existen métodos para generar un MDE como es la topografía de precisión generada con la técnica RTK (Real-Time Kinematic) y la utilización de dron. La complejidad reside en la manipulación y procesamiento de la información para lograr una representación exacta y de gran calidad de estos modelos de elevación. Sin embargo, presentan mejoras en aspectos como la resolución de las imágenes capturadas, precisión de los puntos obtenidos, datos actualizados, visualización en zonas de difícil acceso, entre otros.

Tras el desarrollo urbanístico que se ha dado en la Universidad Politécnica Salesiana de los últimos años, no se cuenta con un MDE actualizado ni con datos de precisión que puedan ser utilizados en diferentes proyectos de investigación. Sin embargo, es necesario llevar a cabo una evaluación detallada de los diversos enfoques empleados para generar un MDE y el levantamiento de relieve. en el contexto específico de la Universidad Politécnica Salesiana. Esta evaluación permitirá determinar la exactitud y confiabilidad de los datos obtenidos, identificar posibles desviaciones o errores y establecer las mejores prácticas para futuros proyectos de cartografía y topografía en la institución.

2.1 ANTECEDENTES

Los Modelos Digitales de Elevación se crearon en la década de 1950 para resolver problemas de ingeniería, científicos y militares, utilizando técnicas de modelado digital del terreno, como fotogrametría, topografía por radar y recopilación de datos mediante el Sistema de Posicionamiento Global. El uso de datos espaciales de dominio público e imágenes producidas con drones son los métodos utilizados en distintas aplicaciones de fotogrametría¹, proporcionando información rápida y precisa. La precisión posicional que se producen en las orto imágenes crea resultados satisfactorios respecto a puntos de control. Mientras que el procesamiento de las imágenes para la producción de datos espaciales se realiza en programas representativos para el procesamiento (Tsironi et al., 2022).

Todas las imágenes satelitales cubren grandes áreas y rangos de tiempo, pero además de la clasificación no supervisada, tienen una probabilidad muy alta de replicación. Existen infinitas plataformas donde puedes descargar imágenes satelitales y aprender más de cómo procesar y analizar esta información. Por otro lado, las mediciones registradas con un receptor GPS se presentan en forma de vectores tridimensionales que comprenden la distancia, la orientación y la variación de altura entre los puntos de medición, necesitando una línea de visión directa a suficientes satélites en el espacio para que el receptor GPS pueda recibir las señales necesarias. Cuantos más satélites estén visibles, más precisa será la medición.

Los vehículos aéreos no tripulados han sido una fuente prometedora de datos geométricos incluso en entornos naturales con condiciones meteorológicas extremas. Un ejemplo claro de

¹Técnica que se basa en el empleo de la fotografía aérea como medio principal de captura de datos topográficos.

esto, es en la sección transversal del río la localización con la que el RTK-GPS utilizada en el modelo hidráulico desarrollado por Salomón LDA y Consultec LDA para identificar las áreas del plan de lucha (Mazzoleni et al., 2020). La red RTK puede utilizarse para calcular la posición relativa utilizando una estación de referencia virtual, con correcciones de una red de estaciones de referencia GNSS recibidas a través de Internet, mediante la suscripción a un servicio. El Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) no necesita una estación de referencia GNSS local ni que la zona de vuelo esté servida por la corrección NRTK (Stott et al., 2020).

Priorizando las áreas de alta probabilidad de cambios en el terreno urbano y zonas protegidas, se ha guiado la adquisición y fusión de datos de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para proporcionar el último modelo de elevación digital (MDE). En Ecuador, en el Parque Nacional Cajas, se ha establecido un proyecto de dron de ala fija, para monitorear los recursos hídricos de esta zona que es considerada como parte del Patrimonio Natural del Estado, formando parte de un conjunto de espacios silvestres de notable importancia debido a su valor destacado en términos de flora y fauna. Como resultado de esta distinción, el acceso a esta área se encuentra limitado (Gonzales P, Torres P, 2014).

Los sistemas de referencia tienen varios agentes, eventos y fenómenos de carácter físico a lo largo del tiempo que generan la necesidad de mantener actualizada la información a nivel nacional. En el Ecuador existe un total de 144 puntos de control geográficos que estuvieron en mantenimiento entre el 2014 y 2015. La Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME) cuenta con 45 Estaciones a nivel nacional.

2.2 JUSTIFICACION

El desarrollo urbanístico de la ciudad de Cuenca, se ha visto afectado de manera considerable debido al crecimiento generalizado de la ciudad. El presente proyecto tiene como fin, evaluar la precisión en los modelos digitales de elevación de dominio público y un MDE obtenido mediante dron, este análisis incluirá la evaluación de precisión considerando el uso de suelo, pendientes, teniendo además puntos de control geodésico y elevación de la Universidad Politécnica Salesiana. Comparar los resultados de la topografía de precisión con los modelos de elevación digital permitirá analizar la confiabilidad y precisión de cada método, la Universidad contará con los datos para diversas aplicaciones y próximos proyectos de investigación tanto para estudiantes, docentes, y profesionales de carreras afines.

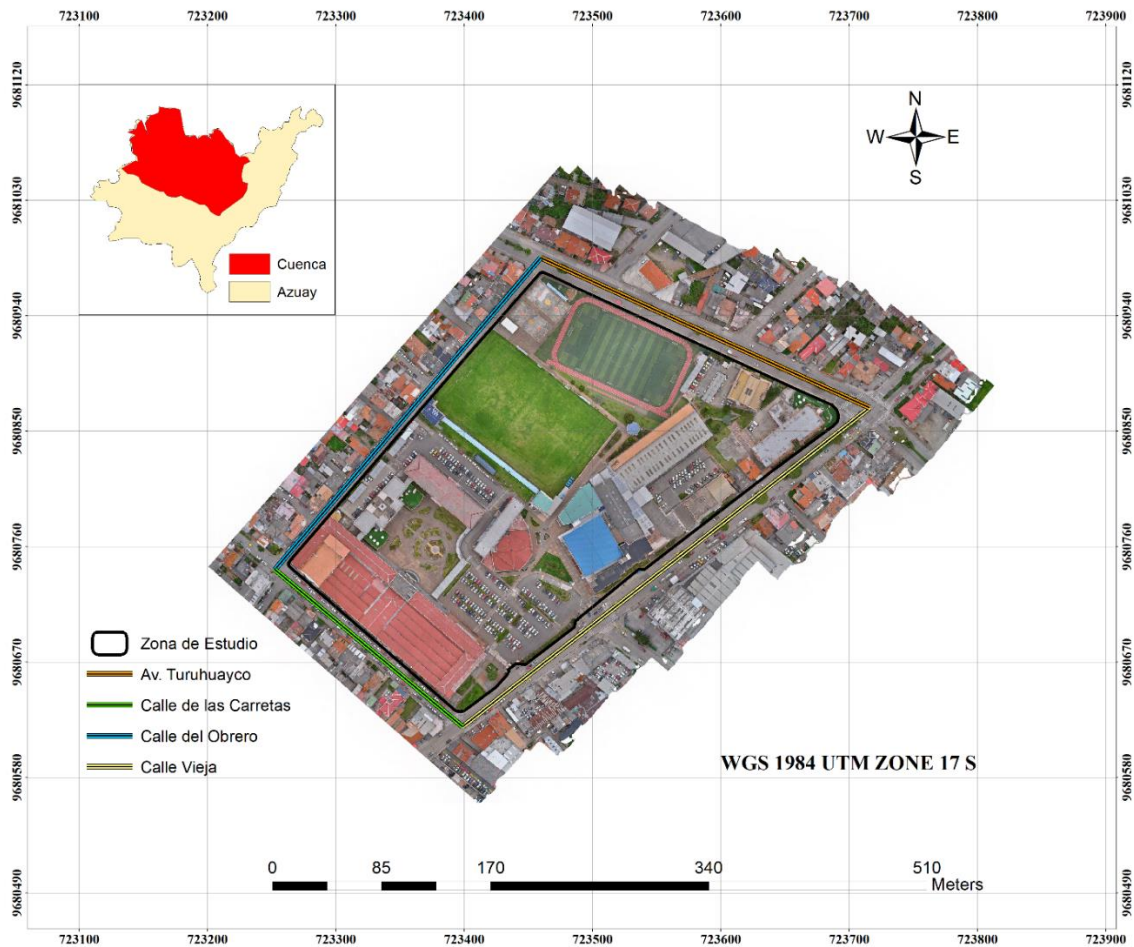
Existen plataformas donde se obtienen las imágenes satelitales a más de procesar y analizar dicha información, estas imágenes satelitales presentan una amplia cobertura territorial, temporal y de libre acceso. La información que se obtendrá con el procesamiento de la información en ArcMap serán las evaluaciones de pendientes, uso de suelo y perfil de elevación. Además de ello, el MDE con dron, proporcionará una nube de puntos que pasa a ser utilizada en el modelamiento e impresión 3D de la información obtenida, generando resultados de la zona de estudio y presentando una aplicación más que se realiza con los drones dentro de la ingeniería civil.

3. DELIMITACIONES

La zona de estudio se localiza en la ciudad de Cuenca provincia del Azuay (9681175.0182N~723200.1137E, 9680494.133N~723862.4876E), correspondiente a la Universidad Politécnica Salesiana, se estableció un área de cobertura de 111 751 m², de las vías que la rodean Calle de las Carretas, Calle del Obrero, Calle Vieja y Av. Turuhuayco. Teniendo un desfase de 20 m hacia fuera de las vías.

Imagen 1

Mapa de la zona de estudio



Fuente: Autor

4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el grado de precisión de diferentes modelos digitales de elevación, obtenido mediante el levantamiento topográfico con dron e información satelital, ASF ALOS PALSAR y ASTER GDEM, utilizando herramientas geoestadísticas en la Universidad Politécnica Salesiana generando un modelo a escala con impresión 3D.

5. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Generar puntos de control para datos de precisión centimétrica en la Universidad Politécnica Salesiana mediante GNSS RTK.
- Realizar un Modelo de Elevación Digital actualizado con Dron de la zona de estudio.
- Obtener información de modelos de elevación digital de ASF ALOS PALSAR y ASTER GDEM, realizando las correcciones radiométricas y geométricas pertinentes.
- Procesar los datos fotogramétricos para la impresión 3D con modelo a escala de la zona en estudio.

6. MARCO TEORICO

1. Modelos de Elevación Digital (DEM)

Definición y conceptos clave de DEM

Los modelos digitales de elevación proporcionan una representación precisa y detallada, tanto visual como matemática, de las elevaciones relativas al nivel del mar. La resolución horizontal y el grado de representación de detalles digitales son dos cualidades esenciales. Existen dos modelos digitales, de terreno MDT y de superficie MDS, estos proporcionan una base conceptual para comprender y aplicar tecnologías en diversos campos, como la geología, la geomorfología, la cartografía y la gestión del territorio. El concepto clave de un DEM es que es una representación digital de la topografía de una superficie, que proporciona información detallada sobre las elevaciones y características del terreno.

El principal objetivo de un DEM es proporcionar información detallada sobre las variaciones de elevación y la topografía de un área determinada. El DEM y sus propiedades derivadas (pendiente, aspecto, curvatura) son parámetros esenciales para la evaluación del terreno (Wolock & Price, 1994). El error DEM se propaga en todo el proceso de procesamiento de datos, lo que resulta en una desviación de la precisión de los resultados. Por lo tanto, un DEM preciso es deseable para aplicaciones geo científicas.

Métodos de adquisición de datos para la generación de DEM

Existen principalmente dos métodos para evaluar diferentes conjuntos de datos DEM. Un enfoque es comparar un DEM con un DEM de mayor precisión, como los MDS de alta calidad generados por LiDAR aerotransportado a pequeña escala o imágenes estéreo (Carrera-Hernández, 2021). Otro enfoque consiste en comparar el DEM con los puntos de control terrestre, como los

puntos de control de elevación, los datos GNSS y los datos del satélite de elevación de hielo, nubes y tierra/altímetro láser geo científico (ICESat/GLAS) recopilados de datos topográficos a gran escala como mapas (Yue et al., 2017).

Existen dos grupos de métodos que se pueden utilizar para la generación de Modelos Digitales de Elevación:

1. Métodos Directos. Para su obtención se puede utilizar la toma directa de datos mediante levantamientos con estación total o con GPS, ya que se realizan directamente sobre el terreno. Se puede utilizar un radar o un láser para transportar altímetros desde una plataforma aérea ((N.d.). Org.Mx, 2023).
2. Métodos Indirectos. Para generar un modelo digital de elevación, se pueden utilizar tanto documentos analógicos como digitales previamente elaborados. Ejemplos de estos documentos son:
 - La conversión automática, a través de escáner y vectorización, o manual, mediante el uso de tableta digitalizadora o en pantalla, de curvas de nivel y puntos de altura presentes en la cartografía topográfica.
 - Procesos fotogramétricos como la restitución fotogramétrica numérica, analítica y digital ((N.d.). Org.Mx, 2023).

Características y usos de los DEM en diferentes aplicaciones.

Los Modelos Digitales de Elevación son ampliamente empleados en diversas aplicaciones relacionadas con la utilización y gestión de los recursos naturales. Estas aplicaciones se pueden clasificar en categorías generales, que se detallan a continuación: geodesia y fotogrametría, ingeniería civil, planificación y gestión de recursos naturales, así como aplicaciones en ciencias

de la tierra, como el ámbito militar, cartografía especializada y la prevención y concientización sobre desastres naturales, entre otras.

Es una capa simbolizada con una rampa de color, se pueden usar efectos espaciales como sombreado para la simulación de relieves. Los DEM al ser ejecutadas se producen pendientes y orientaciones, llegando a ser utilizadas para estudios de propiedades como la superficie, visibilidad y flujo de agua (Arcgis.com, 2023).

2. Fuentes de datos de DEM de dominio público

Alaska Satellite Fairbanks (ASF ALOS PALSAR)

La instalación satelital de Alaska (ASF), que forma parte del Instituto Geofísico de los Fairbanks de la Universidad de Alaska, opera el archivo de datos de radar de apertura sintética (SAR) de la NASA. Su principal objetivo es brindar servicios a investigadores que respaldan el proyecto ESDIS de la NASA. ASF se encarga de reducir, procesar, archivar y distribuir datos de teledetección a científicos de todo el mundo. Además, promueve, facilita y participa en el avance de la teledetección para apoyar la investigación científica nacional e internacional de la Tierra, así como las operaciones de campo y las aplicaciones comerciales. Comprometido con la calidad, ASF se dedica a proporcionar datos y servicios de la más alta calidad de forma inmediata (ASF, 2019).

Además, el satélite de la Red Europea Alaska Satélite Fairbanks (ASF) ha desarrollado e implementado una interfaz de usuario para resaltar el contenido del grupo de datos ASF DAAC SAR preprocesado, facilitando la búsqueda, visualización y entrega masiva de los activos del grupo de datos ASF DAAC (ASF, 2019).

Para la búsqueda y descarga de datos ofrece tres formas:

- Interfaz gráfica a través de Vertex, donde crea búsquedas, refina resultados y descarga datos de teledetección del archivo ASF (ASF, 2019).
- Módulo de búsqueda de Python, donde simplifica los procesos de búsqueda y descarga, permitiendo a los usuarios descargar datos SAR en pocas líneas de Python, siendo una alternativa a SearchAPI de ASF (ASF, 2019).
- ASF SearchAPI, es una API REST disponible públicamente que proporciona acceso al catálogo de datos ASF (ASF, 2019).

ASTER GDEM

El Radiómetro Avanzado de Emisión y Reflexión Térmica en el Espacio (ASTER) es un instrumento altamente avanzado que se encuentra en la plataforma Terra. Cuenta con una alta resolución espacial y utiliza 14 longitudes de onda diferentes del espectro electromagnético. Este instrumento fue construido en Japón por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI). La capacidad como lente es importante para la detección de cambios, calibración/validación y estudios de superficie terrestre, teniendo una resolución de 15 a 90 m²/píxel (Blumenfeld, 2019).

Dada la alta resolución y su capacidad de cambiar los ángulos de visión, ASTER produce imágenes estereoscópicas² y modelos detallados de altura de terreno. Este instrumento no recopila datos de manera continua, sino, recopila un promedio de 8 minutos de datos por órbita.

² Técnica capaz de recoger información visual tridimensional y/o crear la ilusión de profundidad mediante una imagen estereográfica, un estereograma o una imagen 3D (tridimensional)

Estos datos proporcionados por ASTER son utilizados para la generación de mapas detallados de temperatura de la superficie terrestre, la reflectancia y la elevación (Blumenfeld, 2019).

Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológicas (SIG TIERRAS)

SIGTIERRAS, es un programa desarrollado por el Gobierno Nacional del Ecuador y ejecutado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en colaboración con los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM), siendo su principal objetivo contribuir a una gestión y administración territorial eficiente en el país (PROGRAMA SIGTIERRAS, 2023).

Se encarga en gestionar ortofotografías³ basadas en fotografía aérea, así como cartografía temática a nivel nacional y el catastro de 57 cantones. El uso de la información generada por el programa SIGTIERRAS se difunde de manera pública y transparente con un previo registro (PROGRAMA SIGTIERRAS, 2023).

Los archivos que se pueden descargar son los siguientes:

- Ortofotografías y Modelo digital de terreno (MDT).
- Mapas de Geomorfología, Geopedología, Cobertura, Uso de tierra.
- Mapas, memorias técnicas y metadatos.
- Accesibilidad con Metadatos.

³Producto cartográfico resultante de la digitalización de fotografías aéreas, corrigiendo todas las distorsiones anteriores y dotándolas de una precisión geométrica similar a un mapa.

Ventajas y limitaciones de utilizar datos de DEM de dominio público

Los datos DEM están disponibles para su obtención con libre acceso y sin costo, lo que hace accesible a diferentes usuarios como: investigadores, estudiantes y profesionales. Ofrece una cobertura extensa a nivel regional, nacional o global, lo que permite realizar análisis y estudios en áreas extensas sin tener que generar datos por separado. Las fuentes de acceso son productos de calidad, confiables y sujetas a estándares de garantía, lo que es esencial para las diferentes aplicaciones y usos que se vaya a dar. La compatibilidad de estos facilita la integración con sistemas y softwares, permitiendo el análisis y procesamiento de manera eficiente y eficaz.

Dentro de las limitaciones de los datos DEM de dominio público podemos encontrar la resolución limitada en áreas detalladas o accidentadas, lo que afecta la precisión y el nivel de detalle a los estudios que se planea realizar. Además, la actualización de los datos no es de manera frecuente, lo que resulta en información desactualizada en áreas con cambios significativos en la topografía. La precisión de estos datos puede variar dependiendo la fuente y la técnica que se utilice, teniendo en cuenta que pueden no ser uniformes en todas las áreas, generando errores y limitaciones.

3. Levantamiento de relieve con drones

Introducción al uso de drones en la obtención de datos topográficos y generación de modelos de elevación

Los sistemas aéreos no tripulados se han utilizado cada vez más en la topografía, siendo en la actualidad uno de los métodos con más alta precisión y de bajo costo (Casella et al., 2020). Se basa en la captura de la reflectancia o rayos de luz solar, reflejados por los objetos en la

superficie terrestre. La reflectancia ⁴es capturada en fotografías aéreas mediante la combinación de cámara y GPS instalado en el dron (Biblioteca UAJMS, 2023). El método de seguimiento in situ más común para medir la topografía son los estudios GNSS-RTK (Sistema Global de Navegación por Satélite-Cinemática en Tiempo Real) que pueden dar como resultado información muy precisa a lo largo de los trayectos medidos (Casella et al., 2020).

El uso de drones para la producción de datos topográficos ha generado una variedad de áreas para su aplicación, ya que los drones se pueden usar para fotografiar los sitios deseados y proporcionar las imágenes de forma rápida y precisa, produciendo orto imágenes, modelos de elevación digital (DEM) y modelos de superficie digital (DSM) con imágenes adquiridas de sensores montados en drones, siendo los resultados adquiridos en el campo con puntos de control (Kim et al., 2022).

Ventajas del levantamiento de relieve con drones en términos de precisión, resolución y eficiencia

Los drones pueden superar la brecha de escala entre la teledetección de campo y el aérea, proporcionando así datos de alta resolución y multitemporales. Son fáciles de usar, flexibles y proporcionan datos con una resolución a escala de centímetros (Jakob et al., 2017). La captura de imágenes con cámaras de última generación aporta mucha información gráfica en cuanto a la resolución y el realismo del terreno, además de garantizar la seguridad de la persona que realiza el levantamiento del relieve con el dron (Cortés Ospina, 2021).

⁴ Fenómeno en que un espectro de la luz es reflejado por la superficie de un objeto.

Consideraciones técnicas y metodológicas para realizar un levantamiento de relieve con drones

La planificación de un vuelo se lo realiza en función a la resolución o escala que se necesite obtener. Las principales consideraciones dentro de la planificación de vuelo es la ubicación, detalles, extensión, condiciones meteorológicas, velocidad del viento (Cortés Ospina, 2021). El avance de la tecnología responde a los requerimientos y necesidades del mundo moderno, siendo los levantamientos topográficos producidos con sensores remotos aerotransportados un equivalente a métodos convencionales.

La detección y el alcance de la luz activa batimétrica⁵ aerotransportada (LiDAR⁶) es una de las metodologías que proporciona datos continuos de resolución submétrica con una precisión vertical en el rango. Los estudios LIDAR son costosos y probablemente no se justifican para áreas pequeñas, permitiendo mínima flexibilidad en el diseño del estudio (Casella et al., 2022). El procesamiento de las imágenes del dron se realiza utilizando UgCS, que es uno de los softwares más representativos para el procesamiento de imágenes de drones y se usa a menudo para la fotogrametría de drones (Kim et al., 2022).

⁵ Levantamiento topográfico del relieve de superficies del terreno cubierto por el agua.

⁶ Light Detection and Ranging (detección y medición de la luz), es una tecnología de detección del tiempo de vuelo que emite impulsos láser de baja potencia y mide el tiempo que tarda el láser en completar un viaje de ida y vuelta entre el sensor y un objetivo.

4. Topografía de precisión generada con RTK

Descripción del sistema de posicionamiento RTK (Real-Time Kinematic)

El GNSS-RTK es un método fácil y eficiente en tareas topográficas y de construcción. Se combina con el Software de campo CHCNAV LandStar 7 y el controlador HCE320 de Android. Este receptor integra tecnologías de posicionamiento y comunicación en una unidad que proporciona flexibilidad en el trabajo. La tecnología GNSS cuenta con 432 canales de las señales GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou y proporciona una calidad de datos sólida (Sistema GNSS RTK i50 CHC, 2023).

Ventajas de la topografía generada con RTK en términos de precisión y rapidez

Los estudios GNSS-RTK pueden dar como resultado información muy precisa a lo largo de los trayectos medidos (Casella et al., 2020). La autonomía en zonas remotas es de las principales ventajas ya que no es necesaria la conexión a internet. La precisión que proporciona es centimétrica. Se utiliza dos receptores, Base (estático) y Rover (móvil), lo que permite es que la base permanezca en el lugar y envíe correcciones al receptor móvil (Emlid.com, 2023).

Consideraciones y protocolos para el uso de RTK en levantamientos topográficos

Existen dos tipos de receptores según la cantidad de datos que pueden recibir de los satélites: Monobanda y Multibanda. La distancia máxima entre el Rover y la base se llama línea base. En la monobanda, la línea base es de 10 km, mientras que la línea base en la multibanda es de 60 km. Además, la cantidad de Rovers conectados a una base no es limitada mientras que sus ajustes de entrada coincidan con la salida de la base (Emlid.com, 2023).

5. SISTEMAS DE I.G ARCMAP

ArcMap es una herramienta de software que permite la representación visual de información geográfica a través de mapas cartográficos. Su funcionalidad abarca desde la creación y edición de mapas hasta el análisis detallado de datos geoespaciales en un entorno bidimensional (ArcMap, 2023) . Con ArcMap, se puede visualizar y diseñar mapas de alta calidad, aplicando una amplia gama de simbología y estilos para representar datos geográficos de manera efectiva. Además, brinda herramientas de edición que permiten realizar modificaciones en los elementos del mapa, como líneas, polígonos y etiquetas, facilitando la personalización y actualización de la información cartográfica. (ArcMap, 2023)

Capítulo 1

Puntos de control para datos de precisión centimétrica mediante GNSS RTK

Con la técnica de posicionamiento Real Time Kinematic (RTK) se obtuvieron las coordenadas UTM que se utilizaron como puntos de control dentro de la Universidad. Por la extensión de la zona de estudio, se ubicó un punto de control y uno de referencia, cuyas coordenadas se encuentra en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1
Coordenadas de puntos de control

Descripción	Norte	Este	Cota
BASE	9680803.080	723432.134	2552.124
RF1	9680762.998	723370.580	2552.804

Fuente: Autor

La ubicación de los puntos de control geodésico mostrados en la Tabla 1 se pueden visualizar a continuación. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Imagen 2

Ubicación de los puntos de control geodésico



Elaborado por: Daniela Vásquez Pugo

Especificaciones técnicas

Los puntos de control para datos de precisión centimétrica en la Universidad Politécnica Salesiana mediante GNSS RTK fueron generados por el equipo GNSS RTK CHCi50 que se encuentra combinado con el Software de campo CHCNAV LandStar 7 y el controlador HCE320 de Android.

Se generó un puntos de GEODESIA IGM de levantamiento estático con los siguientes parámetros en el periodo de adquisición de datos:

- Equipo Base GNSS-3219086 D4:F5:13:16:53:2A.
- Cada Site RF 2 horas continuas.
- Sistema de coordenadas: UTM WGS 84 UTM Zona 17 S.
- Altura inclinada: 1.75cm
- Magnitud: metros.
- Intervalo 1HZ.
- Duración 10 sec.
- Mascara de elevación 10°.
- Método Survey: Estático Diferencial.
- Dirección Positiva ⁷Norte Este.
- Zona horaria: UTC - 05:00

⁷ Distancia hacia arriba del elipsoide.

Imagen 3

Levantamiento Estático (Base)



Fuente: Autor

Se estableció un levantamiento móvil Rover RTK, que generó el rastreo de señales satelitales GNSS, en donde sólo una estación de referencia emitió las señales de radio, proporcionando correcciones en tiempo real, obteniendo una exactitud centimétrica. Se conectó con la base GNSS-3219086 D4:F5:13:16:53:2A mediante Bluetooth.

Para el puntos de referencia se optó un levantamiento estático con los siguientes parámetros en el periodo de adquisición de datos:

- Modo de trabajo: Base manual.
- Equipo Base GNSS-3219096 D4:F5:13:16:53:2A.
- Enlace de Datos: Radio interno.

- Formato de corrección: RTCM3.2
- Protocolo CHC.
- Valor de paso 25KHz.
- Potencia 1W.
- Formato de coordenadas Local N/E/H
- Altura Inclínada: 1.60 cm

Tras obtener la información del firmamento de satélites y a la vez medir una fase portadora, con una frecuencia independiente de los satélites, los posibles errores fueron comparados y corregidos por la Base y el Rover, siendo estos errores corregidos con la diferencia en el tiempo. Se mantuvo la precaución con las obstrucciones físicas, anti spoofing⁸ o la disponibilidad selectiva.

⁸ El anti-espionaje es la disponibilidad selectiva para tener acceso al sistema GNSS

Imagen 4
Levantamiento Móvil (Rover)



Fuente: Autor

Capítulo 2

Modelo de Elevación Digital actualizado con Dron de la zona de estudio

Reconocimiento de la zona

Como actividad previa al levantamiento de la información con drones, se realizó la revisión de la zona con el objetivo de determinar el alcance de sobrevuelo y los polígonos para cada vuelo. La zona de estudio tiene restricciones por la cercanía del aeropuerto, lo cual se analizó y coordinó en los tiempos de vuelo y fechas.

El terreno cuenta con la estabilidad correcta para garantizar la permanencia de las marcas que se implante como puntos de control.

Puntos de control terrestre

Los puntos de control son las referencias que se colocan en el entorno y que serán establecidas para la precisión. Los puntos de control fueron colocados en zonas visibles, donde no interfiere árboles, vegetación, edificaciones, entre otros. Los puntos de control se detallan en la Tabla 1.

Planificación del vuelo

La planificación de la misión se realizó mediante el sistema UgCS. La información para el plan de vuelo fue la siguiente:

- Modelo digital de elevación de la zona a levantar, en zonas donde no se tenía información se realizó un vuelo previo con la finalidad de obtener un modelo digital de terreno actual.
- Polígono por levantar realizado en formato .kmz
- Imagen cargada por Google Earth por el acceso a internet de la zona.

Especificaciones técnicas

Una vez cargada el MDT, el polígono y la ortofoto, se ingresan los parámetros que se describen a continuación:

- Marca y modelo de dron empleado: Autel EVO 2 Enterprise.
- Altura de despegue sobre el nivel del suelo.
- Altitud máxima sobre la tierra (altura máxima de vuelo sobre el punto de despegue): 60m
- Altura de retorno a la base con respecto al punto de despegue: 60 m
- Punto de despegue fue dentro del polígono: 9 680 803.080 N, 723 432.134 E
- Velocidad de vuelo: 4m/s
- Tipo de cámara: Cámara óptica 48 MP
- Resolución del terreno o tamaño de píxel (Ground Sapling Distance): 1.5cm/píxel.
- Superposición frontal: 80%
- Superposición lateral: 75%

- Modo de altitud: permite seleccionar la altura de vuelo, puede ser con respecto a la superficie terrestre o con respecto a la altura sobre el nivel del mar. Una de las bondades del software es que permitió incorporar un modelo digital de elevación, lo que se realizó el vuelo a una altura constante sobre la superficie, por lo tanto, se eligió el modo AGL (Above Ground Level).
- Tolerancia AGL: 15 m
- Angulo de inclinación de la cámara: 90°
- Modo de captura: automático, con esto garantizó que el traslape⁹ frontal y lateral se mantenga dentro de los parámetros establecidos (80% y 75% respectivamente)

Imagen 5

Autel EVO 2 Enterprise



Fuente: Autel EVO 2 Enterprise. (2022, February 25). El Vuelo Del Drone.
<https://elvuelodeldrone.com/drones-profesionales/drones-autel/autel-evo-2-enterprise/>

⁹ Traslape: Disposición de dos cosas de manera que una cubra total o parcialmente otra.

Características resultantes del plan de vuelo

- Tiempo de Vuelo: 1 hora
- Distancia total del Vuelo: 5 359 m
- Número de líneas de Vuelo: 24
- Espacio entre líneas de vuelo: 25 m
- Altura máxima y mínima de vuelo con respecto al punto de partida 60 m
- Número de Fotos: 608

Preparación del Equipo

Previo a la planificación del vuelo, se llevó a cabo una exhaustiva verificación de la correcta instalación de los componentes del equipo, con el fin de asegurar la obtención de resultados de la calidad esperada. La preparación del equipo implicó una serie de actividades específicas, que se detallan a continuación.

En primer lugar, se realizó una minuciosa revisión del nivel de carga de la batería inteligente, así como del control y dispositivo móvil utilizado. Asimismo, se llevó a cabo una inspección de las hélices, asegurándose de que estuvieran en óptimas condiciones. Además, se procedió a retirar el protector de la cámara, ya que su presencia podría ocasionar daños en el motor responsable de la estabilización y rotación de esta.

Posteriormente, se colocó la tarjeta de memoria destinada a almacenar las fotografías capturadas durante el vuelo. Por último, se completó la calibración precisa del equipo, asegurando su correcto funcionamiento y precisión en la obtención de los datos.

Operación de vuelo

Durante la realización del vuelo, el software UgCS nos brindó la capacidad de monitorear diversos aspectos clave. Se verificó la altura de vuelo del dron, asegurándonos de que se mantenga dentro de los parámetros establecidos. Además, se supervisó que el equipo se mantenga en la ruta predefinida, lo cual nos brindó un control preciso en tiempo real sobre su trayectoria (Erena et al., 2019).

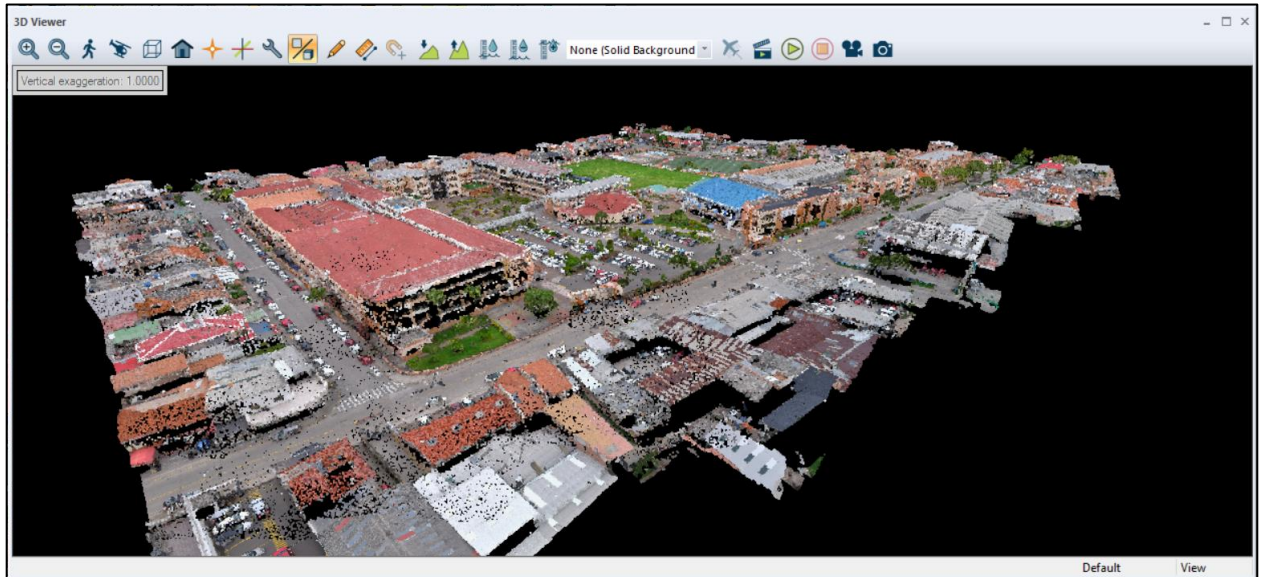
Productos Modelo Digital de Superficie y Modelo Digital de Terreno

a) Modelo Digital de Superficie (MDS)

Contiene archivos en formato LAZ recortados al polígono de límite del proyecto. El modelo digital de superficie corresponde a un gran número de nubes de puntos y es producto del levantamiento y procesamiento de datos. Incluye todas las características existentes en el área de estudio, como árboles, edificios, caminos, etc. Este producto formó la base para crear un modelo digital del terreno (DTM) del proyecto. El producto creado fue el siguiente:

Imagen 6

Nube de Puntos en formato LAZ



Fuente: CINARQ

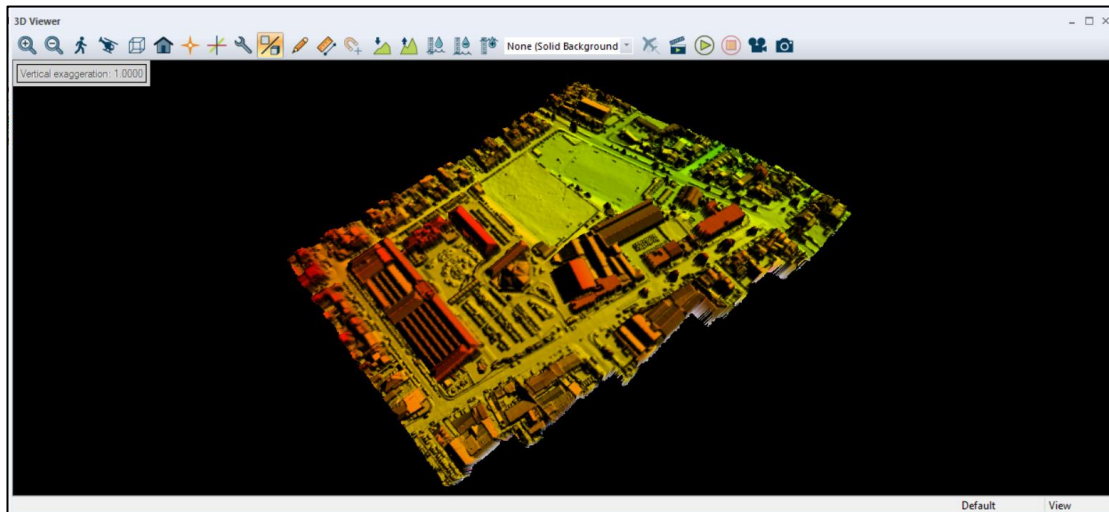
Elaborado por: Daniela Vásquez Pugo

b) Modelo Digital de Terreno (MDT)

Contiene archivos en formato DEM (.dem) y TIFF (.tif) recortados al polígono de límite del proyecto. El modelo digital del terreno corresponde a una nube de puntos o superficie triangular que es filtrada por MDS, dejando solo aquellos puntos que pertenecen al terreno. Este Modelo Digital del Terreno (MDT) es un producto de elevación del proyecto. El DEM generado se puede visualizar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Este se utilizó como modelo de referencia para la evaluación de la precisión con los diferentes DEM obtenidos de plataformas de dominio público.

Imagen 7

Modelo Digital del Terreno (MDT) en formato DEM

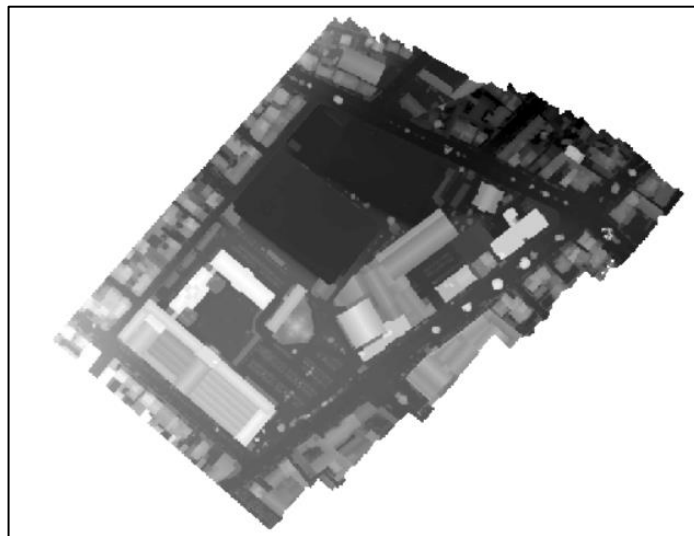


Fuente: CINARQ

Elaborado por: Daniela Vásquez Pugo

Imagen 8

DEM Dron



Fuente: CINARQ

Elaborado por: Daniela Vásquez Pugo

Capítulo 3

Procesamiento de información de modelos de elevación digital de ASF ALOS PALSAR, ASTER GDEM y SIG TIERRAS

Obtención de Modelos Digitales de Elevación

Los modelos digitales de elevación se obtuvieron de las plataformas Alaska Satellite Fairbanks (ASF ALOS PALSAR), El Radiómetro Avanzado de Emisión y Reflexión Térmica en el Espacio (ASTER) y el Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIG TIERRAS). Los DEM han sido obtenidos de plataformas oficiales.

Tabla 2

Modelos Digitales de Elevación de dominio público y generado por Dron

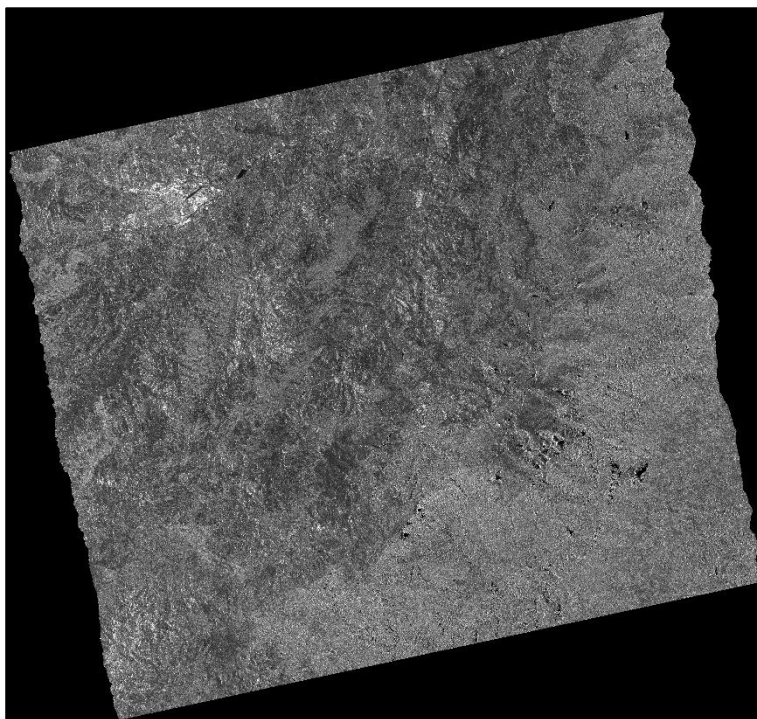
DEM	Fuente Primaria	Resolución	Fabricante	Sistema de Coordenada	Año de Adquisición
ASF	ASF ALOS PALSAR	12.5 m	EARTH DATA	WGS84 UTM17S	2010
ASTER	ASTER GDEM	1" (~ 30 m)	NASA	WGS84 UTM17S	2013
SIG TIERRAS	PROGRAMA SIGTIERRAS	3 - 5 m	GOBIERNO NACIONAL ECUADOR	WGS84 UTM17S	2023
MDE	CINARQ	1.5 cm/pixel	DANIELA VASQUEZ	WGS84 UTM17S	2023

Fuente: Autor

El Modelo Digital de Elevación ASF cuenta con una dirección de vuelo ascendente, cuenta con 19 fotogramas coincidentes y una polarización HH¹⁰+ HV¹¹. El área de interés seleccionado fue el polígono que se localizó entre, 722436.60 E - 9679838.00 N, 724651.60 E - 9681665.20 N.

Imagen 9

DEM Alaska Satellite Fairbanks



ALPSRP252367120 Fuente: (ASF, 2010)

¹⁰ Señales de radar que se transmiten y reciben horizontalmente.

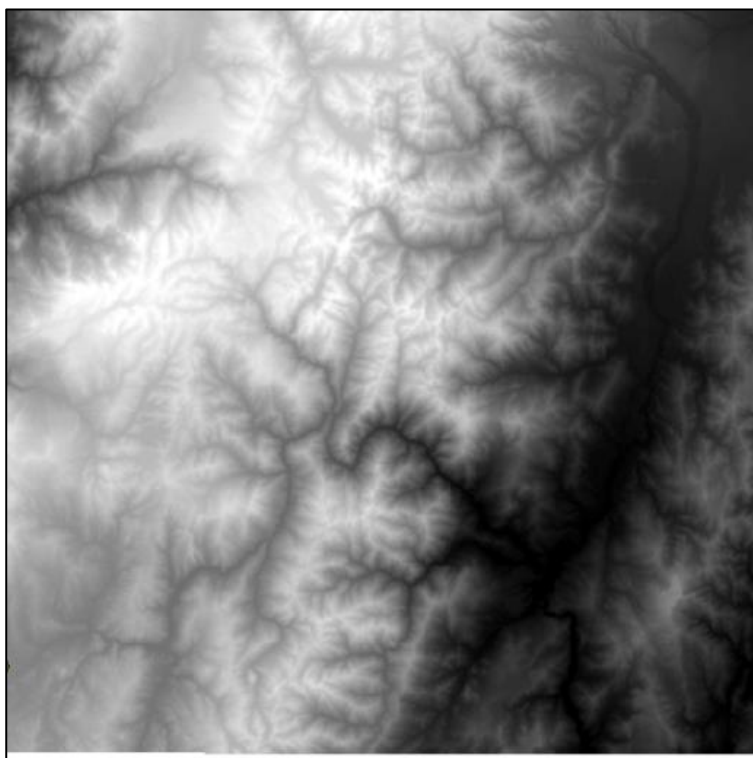
¹¹ Señales de radar que se transmiten horizontalmente y se reciben verticalmente.

La cobertura geográfica del ASTER GDEM se extiende de 83° Norte a 83° Sur. Cada mosaico se distribuye en formato GeoTIFF y se proyecta sobre el geoide del Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS84)/Modelo Gravitacional de la Tierra de 1996 (EGM96). Cada uno de los 22.912 mosaicos de la colección contiene al menos un 0,01% de superficie terrestre.

El producto ASTER GDEM incluye capas para el DEM y el número de escenas (NUM). La capa NUM indica el número de escenas que se procesaron para cada píxel y la fuente de los datos.

Imagen 10

DEM ASTER

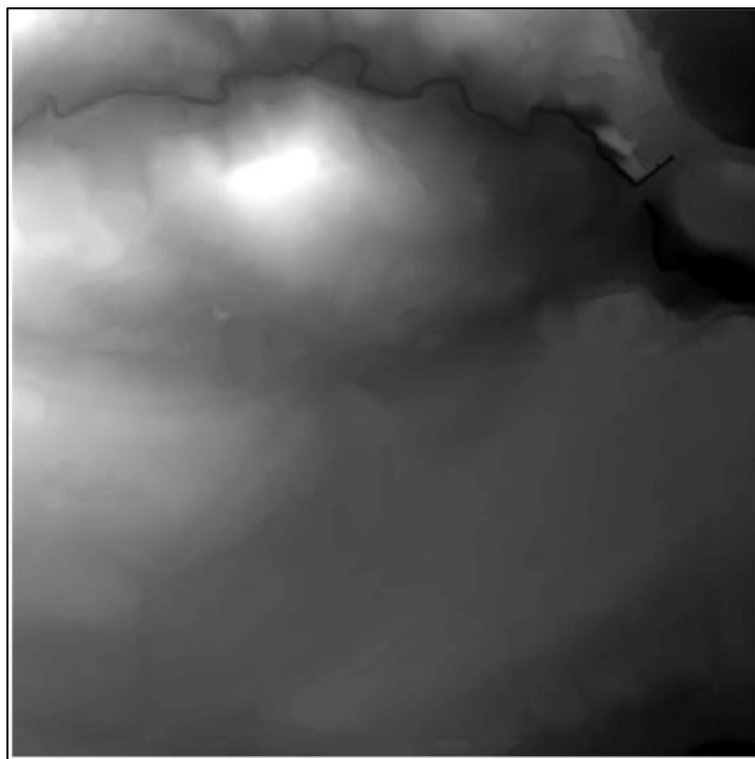


ASTGTMV003_S03W079 Fuente: (EARTHDATA, 2013)

El Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIG TIERRAS) cuenta con resolución de las fotografías aéreas que varían de acuerdo con la región en la que se encuentre, en este caso de estudio es de 30 cm en la Sierra y tiene 1m de exactitud posicional.

Imagen 11

DEM SIG TIERRAS



Fuente: (PROGRAMA SIGTIERRAS, 2023)

Delimitación de la zona de estudio

Para proceder al análisis se empezó importando los MDE en el Software ArcMap. Se ubicó el punto de control geodésico en el cual se analizaron los MDE.

Imagen 12

Coordenadas de punto de control geodésico

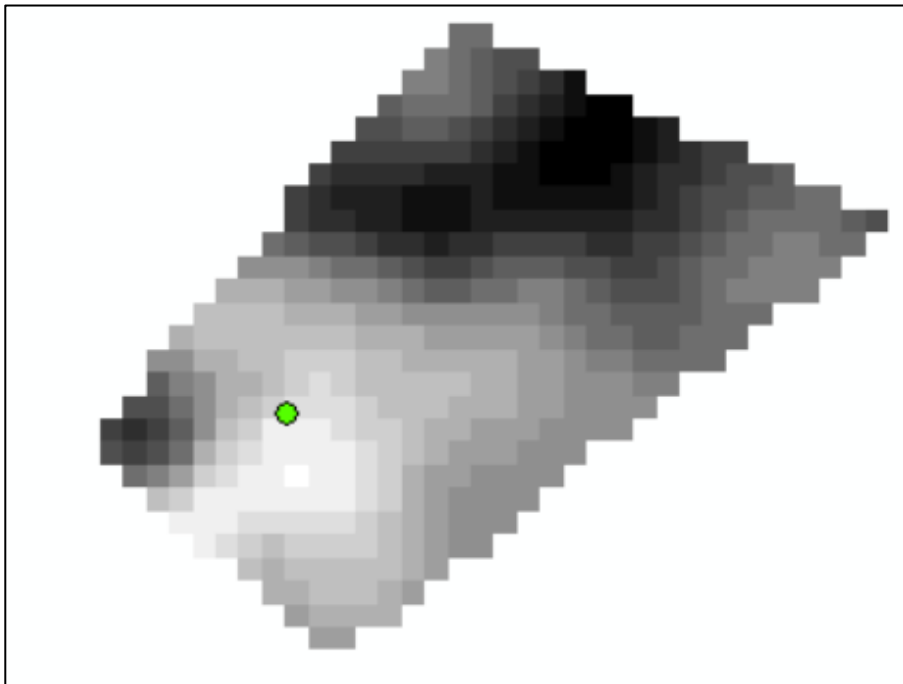
X:	723 370.58 m
Y:	9 680 762.998 m

Fuente: Autor

Para la delimitación de la zona de estudio se generó un polígono, en base al cual se interpoló los MDE y el polígono para realizar un corte de la zona de estudio. El resultado se detalla a continuación.

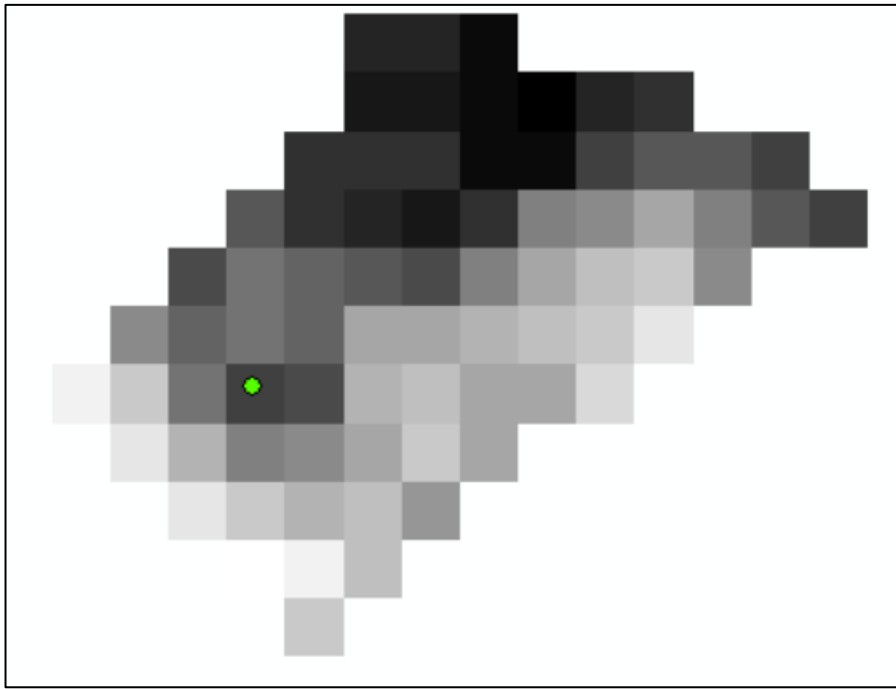
Imagen 13

ASF delimitación de zona de estudio



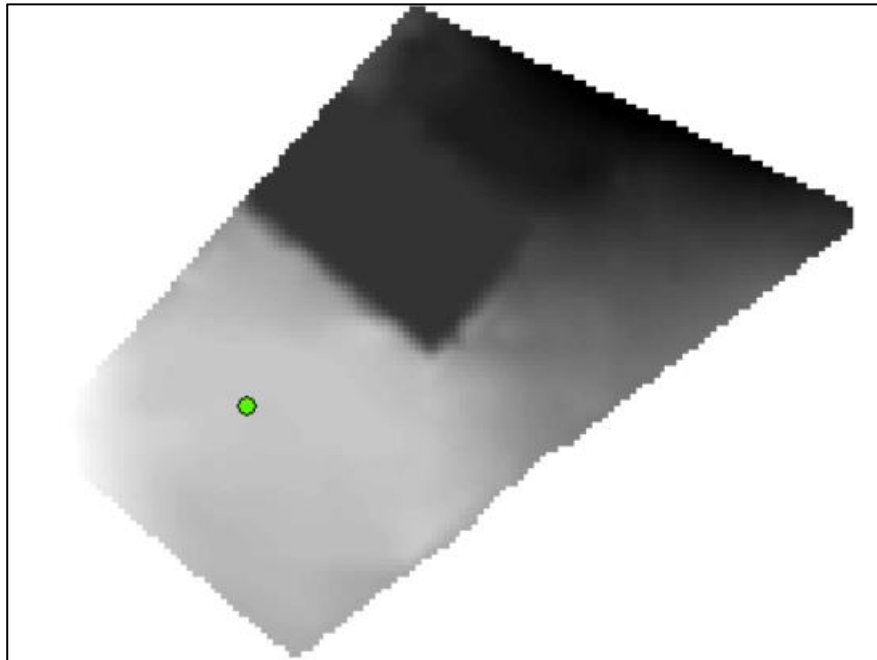
Fuente: Autor

Imagen 14
ASTER delimitación de zona de estudio



Fuente: Autor

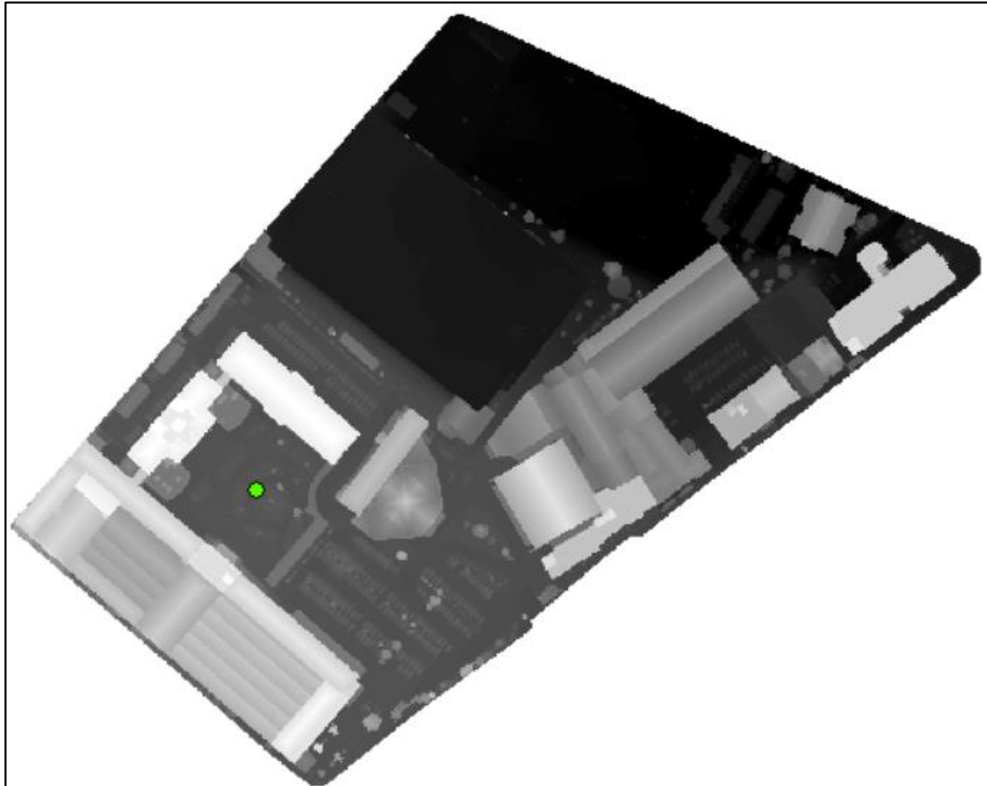
Imagen 15
SIG TIERRAS delimitación de zona de estudio



Fuente: Autor

Imagen 16

Dron delimitación de zona de estudio



Fuente: Autor

Correcciones geométricas y radiométricas

Se procedió a generar correcciones geométricas, encerrando los productos para que se encuentren en la misma línea de estudio con respecto a la elevación. Teniendo en cuenta que se va a trabajar con el sistema geodésico WGS84 UTM 17S.

Se realizaron 3 evaluaciones dentro de la zona de estudio, obteniendo así la evaluación de residuales ¹²de altura en el perfil, la evaluación de residuales de altura por uso del suelo y la

¹² Diferencia absoluta entre DEM evaluado y el DEM referencia

evaluación de residuales de altura por pendiente. Los residuales consiste en la diferencia del DEM evaluado con el DEM referencial.

Procesamiento de Residuales de Altura en el Perfil

Se generó una ruta desde los puntos de control geodésico que se obtuvo al inicio del proyecto, la ruta consta de 184.895 m de longitud en las siguientes coordenadas.

Tabla 3

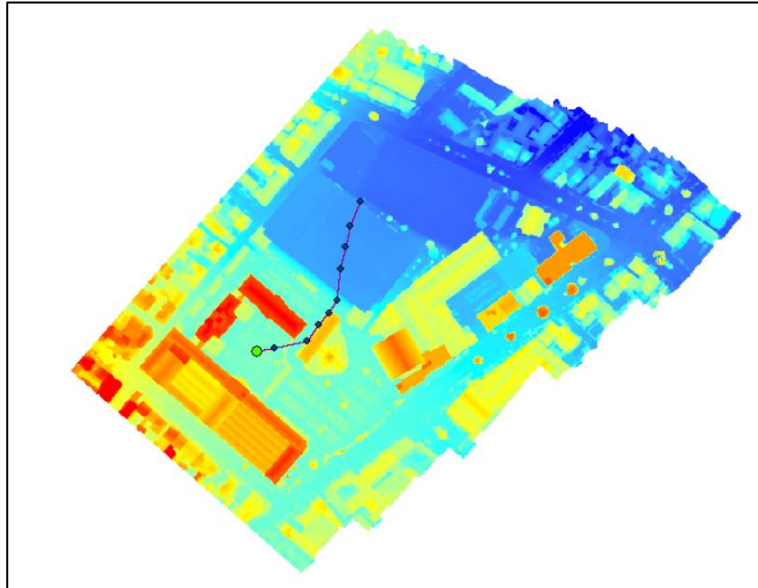
Coordenadas de la ruta para la evaluación de elevación de perfiles

	Norte	Este	Cota
1	9680762.998	723370.580	2552.804
2	9680765.834	723386.083	2552.649
3	9680772.226	723416.016	2552.456
4	9680786.638	723425.78	2552.181
5	9680797.979	723435.278	2552.110
6	9680803.080	723432.134	2552.124
7	9680837.954	723445.812	2547.352
8	9680857.765	723450.954	2547.381
9	9680876.872	723454.907	2547.237
10	9680899.155	723463.792	2547.269

Fuente: Autor

Imagen 17

Ruta para la evaluación de elevación en perfiles



Fuente: Autor

En base a esta ruta generada con polilínea, se interpoló los MDE delimitados y se obtuvieron las tablas con valores en X y Y, siendo X la longitud a la que se encuentra la coordenada y Y la elevación. Los datos de ASF, se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4

Datos del perfil de ASF

Datos ASF	
X Longitud	Y Elevación
0.000	2552.039
7.880	2552.251
15.760	2552.137
25.963	2552.028
36.166	2551.388
46.368	2550.522
55.072	2550.124
63.776	2550.124

71.173	2549.691
78.569	2549.236
85.270	2549.070
91.972	2548.032
101.623	2546.588
111.275	2544.646
120.927	2543.021
131.161	2541.231
141.394	2539.784
151.150	2539.124
160.906	2539.124
172.901	2539.885
184.895	2541.410

Fuente: Autor

De la misma manera se procedió de forma homologa con del DEM de ASTER, los datos se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5
Datos del perfil de ASTER

Datos ASTER	
X	Y
Longitud	Elevación
0.000	2552.901
15.760	2553.249
46.368	2556.633
63.776	2558.693
78.569	2558.541
91.972	2556.210
120.927	2551.534
141.394	2549.902
160.906	2550.823
184.895	2550.045

Fuente: Autor

Los datos del perfil de SIG TIERRAS se detalla a continuación en la Tabla 6

Tabla 6

Datos del perfil de SIG TIERRAS

Datos SIGTIERRAS	
X	Y
Longitud	Elevación
0.000	2552.138
2.627	2552.090
5.253	2552.057
7.880	2552.042
10.507	2552.043
13.134	2552.054
15.760	2552.063
18.543	2552.074
21.325	2552.085
24.108	2552.095
26.890	2552.106
29.673	2552.118
32.455	2552.130
35.238	2552.143
38.021	2552.156
40.803	2552.159
43.586	2552.159
46.368	2552.158
49.269	2552.148
52.171	2552.122
55.072	2552.089
57.974	2552.063
60.875	2552.044
63.776	2552.026
66.735	2552.005
69.693	2551.975
72.652	2551.972
75.611	2552.000
78.569	2552.051
81.250	2552.105
83.930	2551.879
86.611	2551.205

89.291	2550.081
91.972	2548.663
94.867	2547.187
97.763	2546.070
100.658	2545.563
103.554	2545.448
106.449	2545.439
109.345	2545.439
112.240	2545.439
115.136	2545.439
118.031	2545.439
120.927	2545.439
123.851	2545.439
126.775	2545.439
129.699	2545.439
132.623	2545.439
135.547	2545.439
138.470	2545.439
141.394	2545.439
144.182	2545.439
146.969	2545.439
149.756	2545.439
152.544	2545.439
155.331	2545.439
158.119	2545.439
160.906	2545.439
163.905	2545.439
166.903	2545.439
169.902	2545.439
172.901	2545.439
175.899	2545.439
178.898	2545.436
181.896	2545.388
184.895	2545.262

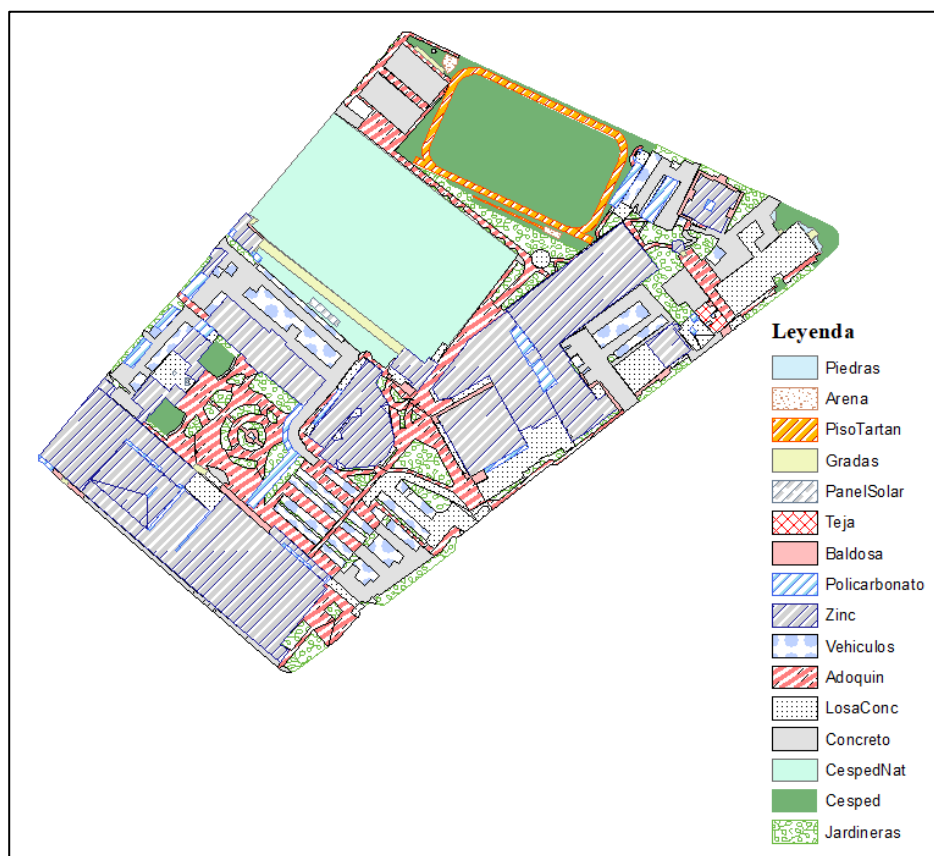
Fuente: Autor

Procesamiento de Residuales de Uso y Cobertura de Suelo

Para la clasificación de la cobertura del suelo, se generaron polígonos para delimitar y categorizar las áreas en función del material presente en cada una de ellas. Este enfoque permitió analizar y comprender las áreas que presentan una mayor predominancia de ciertas características físicas en el terreno. Mediante la generación de un mapa temático, fue posible visualizar de manera efectiva las distintas categorías de cobertura del suelo y comprender su distribución espacial en la zona de estudio. La clasificación resultante para las áreas de cobertura del suelo en la zona de estudio fue la siguiente:

Imagen 18

Cobertura del Suelo de la zona de estudio



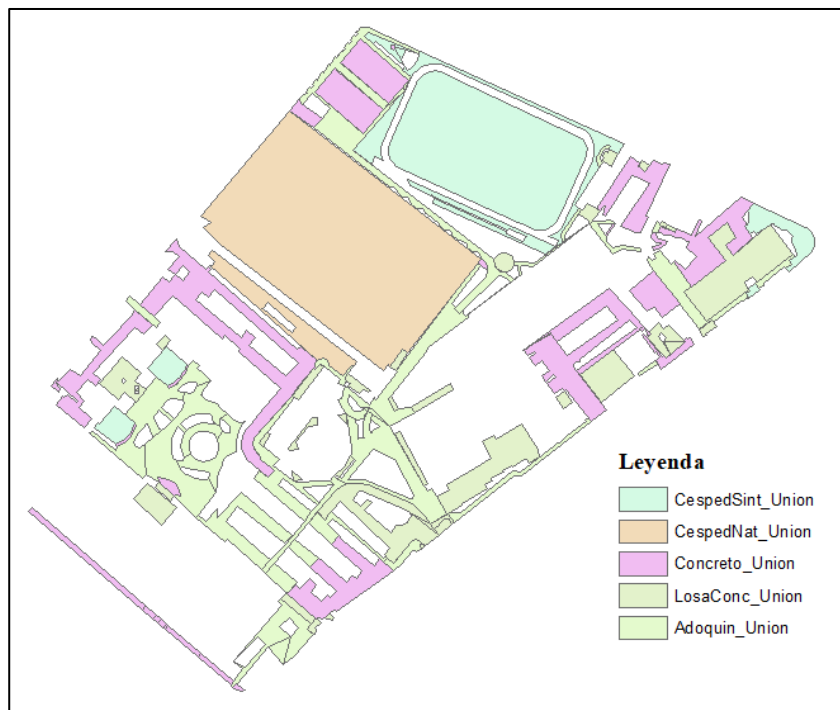
Fuente: Autor

Procesamiento de Residuales de Altura por Uso del Suelo

Para el procesamiento de este residual se procede a calcular la altura promedio por clase de suelo con la herramienta "Zonal Statistics as Table" de ArcMap, esta herramienta genera una tabla que muestra la altura promedio para cada uso de suelo basándose en los datos de elevación. Se generó la unión de polígonos tomando las coberturas con áreas significativas como son del césped sintético, césped natural, concreto, losa de concreto y adoquín, esto se puede visualizar en Imagen 19. Se interpoló los respectivos polígonos con los MDE corregidos y delimitados de la zona, este análisis permite identificar los patrones con desviaciones significativas. No se realizó con las zonas de cobertura más pequeñas por que la resolución espacial de cada MDE analizado es mayor que las áreas que los usos de suelo más pequeños que se encuentran en la zona.

Imagen 19

Coberturas para el residual de uso de suelo



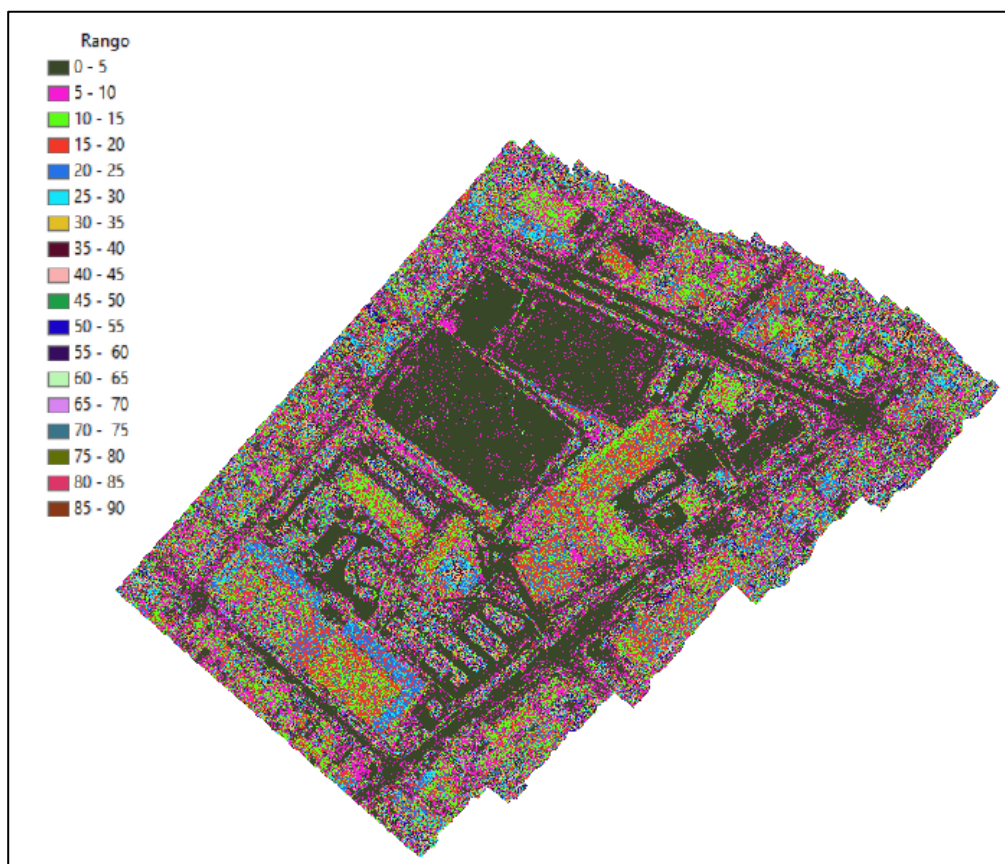
Fuente: Autor

Procesamiento de Residuales de Altura por Pendiente

El procesamiento de residuales de altura por pendiente contó con los datos necesarios de los DEM en ArcMap, especialmente los datos de elevación y los de pendiente. Ambos conjuntos se encontraron en la misma proyección y sistema de coordenadas (WGS84 UTM17S). Una vez preparados se procedió a calcular la pendiente con la herramienta "Pendiente" de ArcMap, esta herramienta generó un nuevo conjunto de datos que representa la pendiente del terreno en cada píxel. Se procedió a agrupar las pendientes en intervalos de 5, este enfoque facilita su interpretación y visualización, esto se puede apreciar a continuación en la Imagen 20.

Imagen 20

Pendientes agrupadas en rangos



Fuente: Autor

Se procedió a generar los residuales del MDE de SIGTIERRAS y de ASF con respecto al MDE dron, esto brindó un mapa donde se puede visualizar los patrones y áreas de interés del terreno. Posteriormente se realizó el cálculo de los residuales de altura, para ello se resta los valores de elevación original con los valores calculados en la pendiente, el resultado fue el conjunto de datos que representa los residuales de altura en cada píxel.

Capítulo 4

Procesamiento de datos fotogramétricos para la impresión

3D con modelo a escala de la zona en estudio

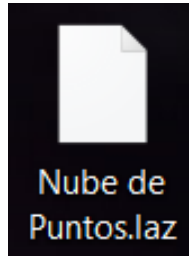
Importación de Nube de puntos en GLOBAL MAPPER

GLOBAL MAPPER es un software capaz de leer archivos con extensión .laz. Este nos permite ver una imagen en 2D y 3D del objeto que se escaneó y se obtuvo una nube de puntos. Para importar el archivo una vez abierto el programa se escogió la opción “Open data files” y se seleccionó la nube de puntos.

Se abrió una ventana como la que se muestra en la Imagen 23 en donde nos permite escoger las opciones de importación. Una vez seleccionadas se selecciona “OK”.

Imagen 21

Formato LAZ de nube de puntos



Fuente: Autor

Imagen 22

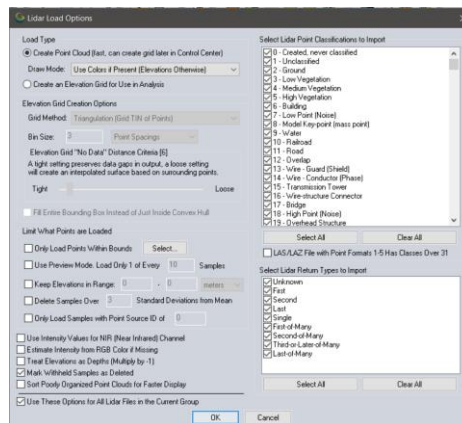
Open Data Files of Global Mapper



Fuente: Autor

Imagen 23

Selection Data Files of Global Mapper



Fuente: Autor

A partir de la nube de puntos abierta se tomó ciertos puntos para realizar el diseño 3D del edificio. En la vista en 2D se puede tomar la medida del perímetro del Edificio Guillermo Mensi. Así como medidas de ancho y largo de ciertas estructuras del edificio.

Imagen 24

Vista 2D y 3D de la edificación



Fuente: Autor

Se define el perímetro en el que se va a trabajar el proyecto. En la Imagen 25 se muestra el perímetro que se pudo tomar a partir de la nube de puntos en vista 2D.

Imagen 25

Perímetro del proyecto



Fuente: Autor

Dimensionamiento en RECAP

Para tomar las medidas de alturas del edificio se usó el software RECAP de Autodesk. Este a diferencia de Global Mapper permite realizar una estimación de medidas a partir de la nube de puntos. Las medidas de perímetro y área del edificio fueron similares que el software anterior. En las siguientes imágenes se muestran las medidas tomadas a partir de este software. Así como la nube de puntos que se ha generado con la toma de datos.

Imagen 26

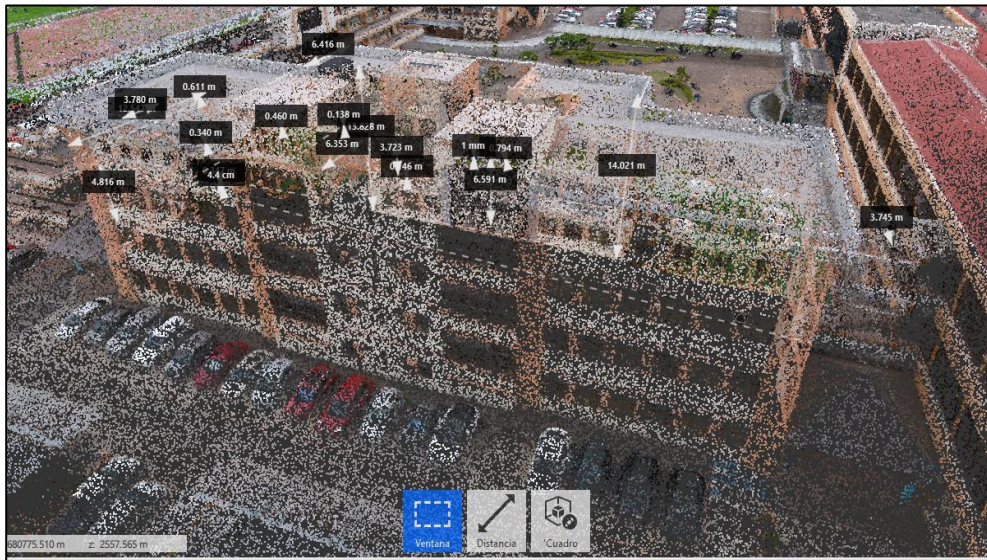
Medidas a partir de la nube de puntos de la parte frontal del edificio



Fuente: Autor

Imagen 27

Medidas a partir de la nube de puntos de la parte posterior del edificio



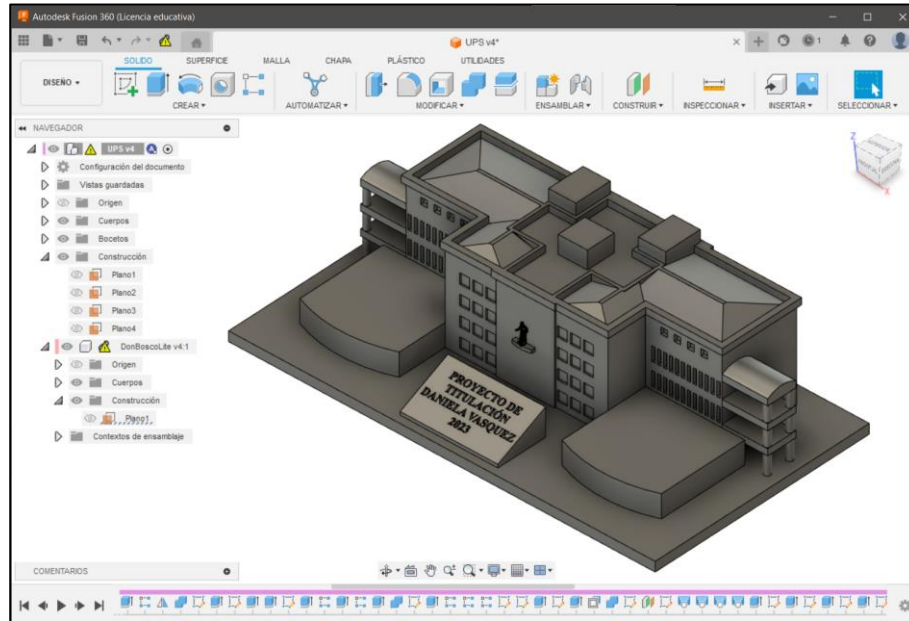
Fuente: Autor

Modelado 3D en Fusión 360

Fusión 360 es un programa de diseño colaborativo de Autodesk. A partir de las mediciones realizadas con ayuda de los dos programas antes mencionados se realizó el diseño del edificio. De igual forma se realizaron ciertas modificaciones al diseño como las columnas de los pasillos ya que con la nube de puntos no se reflejaba con precisión los pilares. Esto ayuda de igual manera al proceso de impresión 3D del edificio. Las fachadas es otro sistema de modelamiento, lo cual no se tomó como consideraciones en este proyecto.

Imagen 28

Modelamiento 3D del proyecto



Fuente: Autor

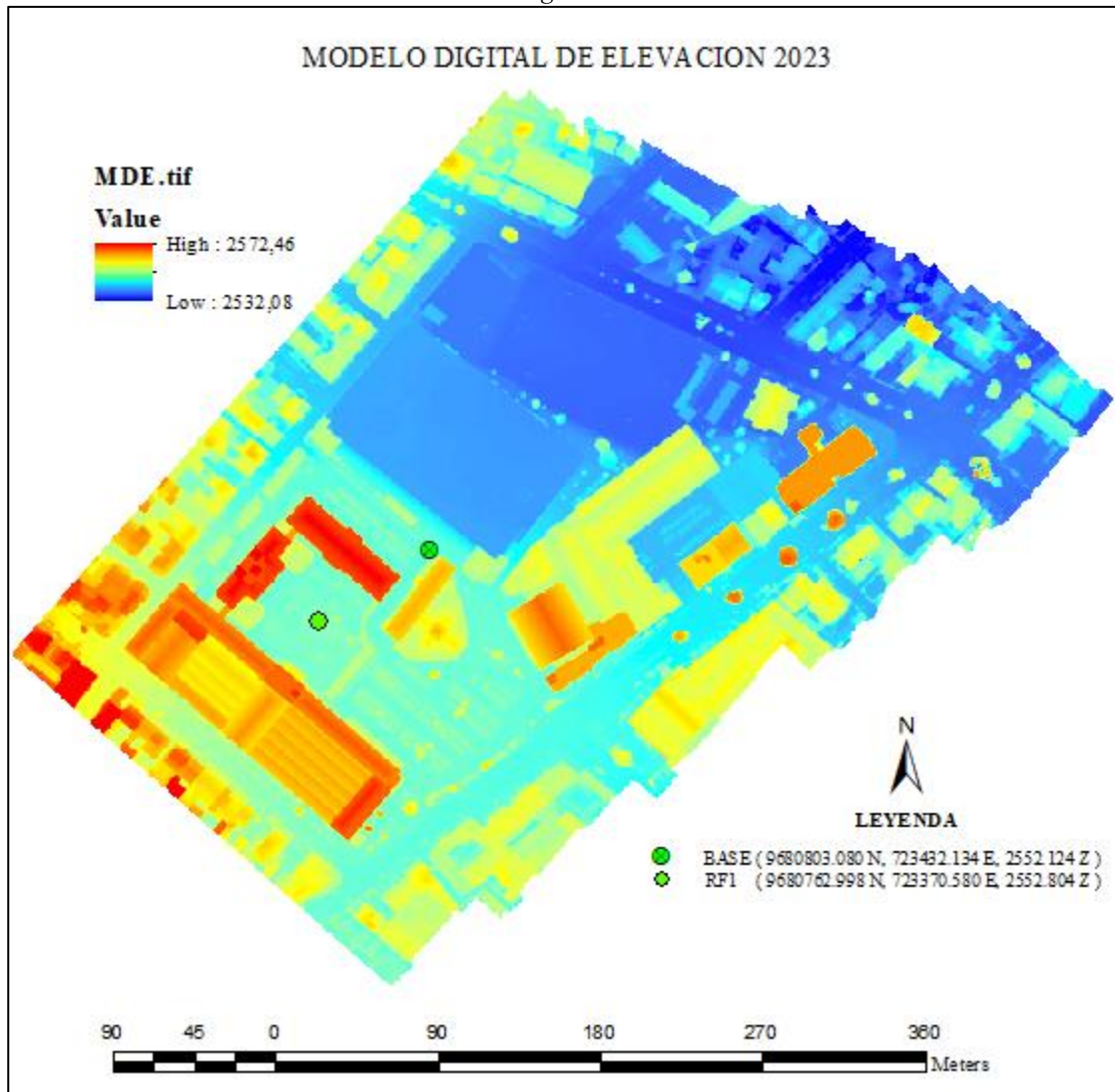
7. RESULTADOS

Modelo digital de elevación actualizado con dron y puntos de control de la zona de estudio

En la Imagen 29 se puede observar el modelo digital de elevación con dron, el cual fue utilizado como modelo de referencia para la evaluación de la precisión de los diferentes DEM. Cuenta con dos puntos de control geodésico dentro de la zona de estudio, denominados BASE y RF1, las coordenadas del mismo se encuentran en el sistema de referencia WGS84 UTM17S . El entregable de este archivo se encuentra en formato TIFF y DEM.

Imagen 29

Modelo Digital de Elevación 2023



Fuente: Autor

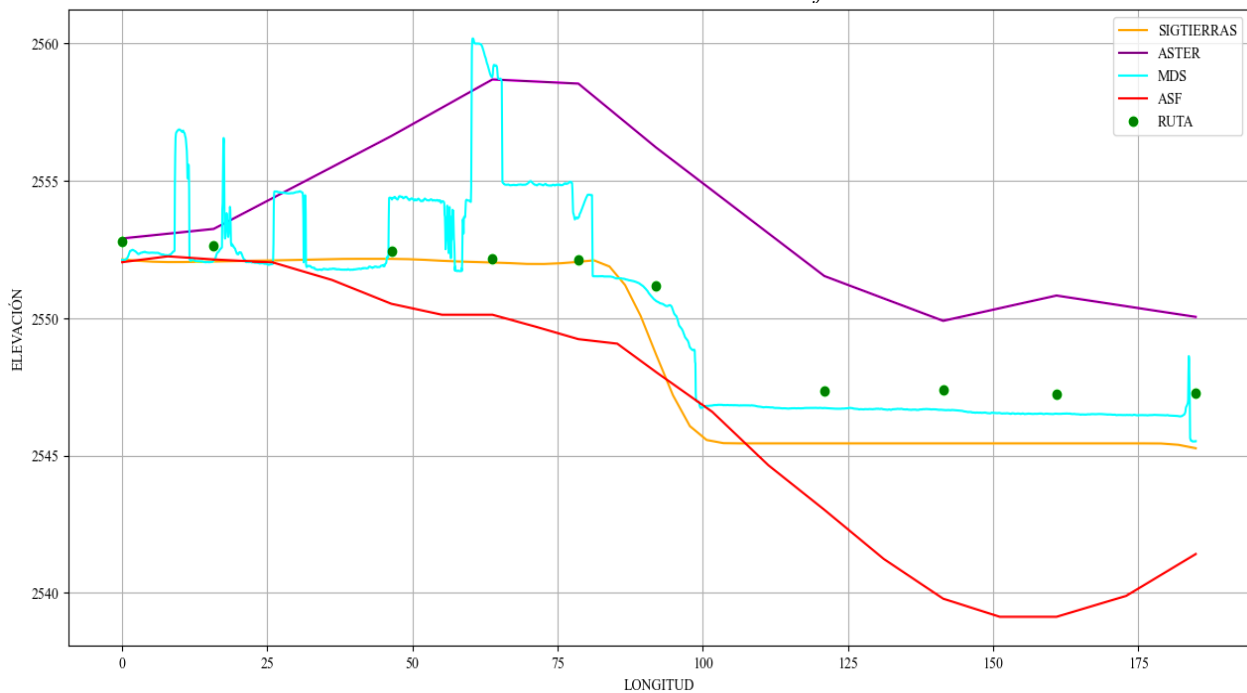
Residuales de Altura en el Perfil

En la Imagen 30 al tener como punto de referencia el Modelo Digital de Superficie (MDS) obtenido con el dron, se puede realizar un análisis de la presencia de la elevación de los edificios. Se observa que el ASTER se ajusta al perfil longitudinal, coincidiendo con las alturas de los edificios. En una primera etapa, al alcanzar el borde de la cancha de césped natural, se aprecia una uniformidad en la altura. No obstante, en la sección correspondiente al edificio

Guillermo Mensi, el ASTER se ajusta más a la altura de este. Por otro lado, el ASF se ajusta a la elevación del terreno, siguiendo de manera cercana el modelo proporcionado por el SIGTIERRAS, el cual no considera las alturas de los edificios y se limita a mostrar el perfil topográfico. En relación con el modelo de referencia, el SIGTIERRAS exhibe una diferencia de nivel, aunque se adecua a la pendiente del terreno. Esta discrepancia es más notable en presencia de cambios significativos en la pendiente.

Imagen 30

Residual de Altura en el Perfil



Fuente: Autor

Residuales de Uso y Cobertura de Suelo

El análisis de este residual reveló una variedad de categorías del suelo en la zona de estudio. El material predominando en el área corresponde al Zinc con 19 040.33 m². Mediante la generación de polígonos y posterior a la clasificación, se logra comprender la distribución espacial de estas categorías. Se observa que las áreas de cobertura del suelo presentan una notable heterogeneidad en términos de los materiales predominantes. Algunas categorías destacadas se observan en la Imagen 18 mientras que en la Tabla 7 se puede observar el área en m² del mismo.

Tabla 7

Área de cobertura de la zona de estudio

Cobertura	Área (m ²)
Piedra	50.25
Arena	86.60
Piso Tartán	1177.91
Gradas	570.61
Panel Solar	84.74
Teja	150.43
Baldosa	699.15
Policarbonato	1551.96
Zinc	19040.33
Vehículos	3469.54
Adoquín	8256.48
Losa de concreto	4840.25
Concreto	7726.49
Césped Natural	10273.35
Césped Sintético	7058.91
Jardineras	5849.31

Fuente: Autor

Residuales de Altura por Uso del Suelo

Al analizar la cobertura del suelo en el área del césped sintético en el MDE de ASTER, se encontró una desviación estándar de 1.55 y un rango de variación de 5.14 metros. Para el césped natural, no es necesario analizar el valor más alto; se analiza el valor más bajo. En este caso, el césped representa el valor más bajo, mientras que el concreto es el valor más alto. El rango para el concreto es de 27.33m, la media es de 26.27m y la desviación estándar es de 7.06m. Esto indica que ASTER se ajusta menos al concreto que a otros tipos de suelo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que tanto el césped sintético, el césped natural como el concreto tienen una pendiente uniforme y prácticamente plana. Para la losa de concreto, se encontró un residual muy pequeño de 0.031. El valor mínimo es de 28.44 y el máximo es de 28.47, con un rango de 0.03 y una media de 28. La desviación estándar es de 0.016. Es importante tener en cuenta que la medición de la losa de concreto se realizó en la zona donde se encuentra el edificio Juan Botasso, y el modelo digital fue creado antes de la construcción del edificio, por lo que coincide aproximadamente con su altura, pero no se ajusta perfectamente. De manera similar, se observa un comportamiento similar en el césped sintético y el césped natural, con desviaciones estándar y rangos de valores cercanos.

En el caso de los adoquines, que son una de las áreas extensas en la universidad, se encontró un valor mínimo de 23.37 y un máximo de 31.62, con un rango de 8.24 y una media residual de 27.69, que representa la diferencia entre la elevación del ASTER y la elevación de referencia. Al analizar la desviación estándar en la Tabla 8 del DEM de ASTER, se observa que el césped sintético, el césped natural y los adoquines presentan un rendimiento similar, con desviaciones estándar de 1.55, 2.19 y 3.37 respectivamente. El mejor ajuste se encuentra en el

césped natural, aunque el césped sintético también se ajusta de manera cercana. Los adoquines muestran un buen reajuste con una media residual de 27.69, pero la diferencia no es significativa. En general, todos tienen un rango de trabajo similar, lo que indica que no se ajustan de la mejor manera.

Tabla 8

Residual de Atura por Uso de Suelo del MDE ASTER

COBERTURA	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
Césped Sintético	6675.079	25.284	30.430	5.147	28.905	1.550	202.335
Césped Natural	10489.410	22.383	30.280	7.897	27.883	2.191	306.710
Concreto	10489.410	17.492	44.826	27.334	26.275	7.069	289.030
Losa Concreto	1907.165	28.440	28.471	0.031	28.456	0.016	56.911
Adoquín	2860.748	23.377	31.624	8.247	27.694	3.378	83.082

Fuente: Autores

En el modelo digital de ASF se observa en Tabla 9 un residual mínimo bastante bajo. Esto significa que el residual más pequeño en relación con el DEM de referencia, se encuentra en un rango de 7×10^{-3} y 0.12 metros. Es importante destacar que este análisis del residual se refiere a las alturas del terreno y no a la superficie en sí. Además, se observa un diferencial máximo de altura entre 4.44 y 15.5 metros, y este máximo se compara con la altura de los edificios en relación con el terreno.

Antes de generar el modelo de elevación digital, Alaska Satellite Fairbanks realiza una corrección preliminar a la altura de los edificios. Esto se hace para ajustar adecuadamente la altura de los edificios en el modelo. Aunque la dirección estándar aparentemente es más alta, como se puede observar en el residual del ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), que también considera la altura de los edificios, al igual que el modelo digital de elevación de referencia.

Tabla 9

Residual de Atura por Uso de Suelo del MDE ASF

COBERTURA	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
Césped Sintético	6875.000	0.034	8.808	8.774	2.230	1.527	98.141
Césped Natural	10156.250	0.052	4.665	4.613	2.280	1.286	148.230
Concreto	7343.750	0.129	15.032	14.902	2.221	2.873	104.409
Losa Concreto	4687.500	0.003	15.950	15.948	8.500	5.807	255.004
Adoquín	8593.750	0.007	6.386	6.379	1.808	1.412	99.456

Fuente: Autores

En relación con el modelo digital de elevación obtenido a través del portal de SIGTIERRAS, se observa un comportamiento muy similar al presentado por Alaska Satellite Fairbanks, ya que ambos proporcionan el modelo digital de elevación del terreno y no de la superficie. El valor mínimo se encuentra en un Rango de 0.015 a 0.389m, mientras que los valores máximos se sitúan en un rango de 9.847 a 19.39m. Esta diferencia se debe a que los valores máximos analizan las disparidades de las alturas de los edificios con respecto al terreno. En general, el comportamiento y rendimiento en general es satisfactorio.

Tabla 10

Residual de Atura por Uso de Suelo del MDE SIGTIERRAS

COBERTURA	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
Césped Sintético	7065.000	0.015	11.137	11.122	1.661	1.176	1303.577
Césped Natural	10242.000	0.238	9.847	9.609	2.103	0.449	2393.628
Concreto	7758.000	0.024	18.647	18.622	1.682	2.046	1450.001
Losa Concreto	4887.000	0.389	19.394	19.005	10.474	6.559	5687.242
Adoquín	8289.000	0.019	17.801	17.782	1.651	1.910	1520.790

Fuente: Autores

Residuales de Altura por Pendiente

En el modelo digital de SIGTIERRAS se puede observar una tendencia al crecimiento a medida que nos acercamos a una pendiente de 40 a 45 grados, un error comienza a bajar, pero de forma similar comienza a ascender de forma análogo al tramo anterior hasta llegar a un valor de un residual de 1.019m en la pendiente que tenemos del 85 al 90% por lo que se puede inferir que a medida que aumenta la pendiente el grado de exactitud que sé que tiene el modelo va a disminuir.

Tabla 11

Residual de Atura por Pendiente del MDE SIGTIERRAS

OBJECTID	RANGO	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	0 - 5	32814	0.015	19.394	19.379	2.691	3.777	9809.599
2	10-15	7902	0.032	17.838	17.806	8.528	4.943	7487.681
3	15 - 20	7740	0.045	18.960	18.915	9.104	4.480	7829.702
4	20 - 25	4536	0.087	18.617	18.530	8.827	4.899	4448.580
5	25 - 30	2007	0.273	19.248	18.974	7.272	5.106	1621.665
6	30 - 35	1224	0.666	17.395	16.728	5.326	4.337	724.282
7	35 - 40	891	0.559	17.911	17.351	4.272	3.810	422.963
8	40 - 45	918	0.075	15.911	15.836	4.123	3.634	420.498
9	45 - 50	855	0.042	17.849	17.808	4.564	3.941	433.612
10	5 - 10	8127	0.004	19.178	19.174	4.785	4.746	4321.220
11	50 - 55	558	0.347	14.209	13.862	4.024	3.379	249.504
12	55 - 60	567	0.472	14.626	14.154	4.030	3.488	253.878
13	60 - 65	576	0.508	18.274	17.767	4.162	3.955	266.387
14	65 - 70	405	0.118	18.870	18.752	3.705	3.877	166.739
15	70 - 75	495	0.609	15.660	15.051	4.203	4.011	231.181
16	75 - 80	342	0.786	15.102	14.316	4.169	3.788	158.422
17	80 - 85	666	0.947	16.529	15.583	5.732	4.332	424.177
18	85 - 90	1008	1.019	18.388	17.369	6.545	4.370	732.986

Fuente: Autor

En el modelo digital del ASF se tiene una tendencia de crecimiento a medida que se aumenta la pendiente, sin embargo, esta no es tan clara como la del modelo de SIGTIERRAS, esto se debe a que la resolución por píxel que presenta el ASF es mayor que la de SIGTIERRAS por lo que hay cierto rango de imprecisión en relación con el residual obtenido. Cabe destacar que en ambos casos los valores máximos corresponden a las alturas de los edificios por lo que es

impreciso analizar la tendencia de crecimiento con las pendientes en este caso, de igual manera ocurre para los rangos la desviación estándar y la sumatoria de los residuales. Se destaca que en la sumatoria de los residuales hay rangos de pendiente en donde la sumatoria es menor, pero hay que tener en cuenta que el área que cubre estas zonas es relativamente más baja por lo que al analizar resto es recomendable analizar también la sumatoria ponderada por área.

Tabla 12

Residual de Atura por Pendiente del MDE ASF

OBJECTID	RANGO	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	0 - 5	0.755386	0.003	21.469	21.467	2.996	3.702	689.022
2	5 - 10	0.124803	0.244	17.991	17.747	3.712	3.804	141.058
3	10 - 15	0.174067	0.052	19.492	19.440	7.590	4.927	402.284
4	15 - 20	0.174067	0.029	18.037	18.008	8.490	4.802	449.973
5	20 - 25	0.095244	0.224	20.300	20.076	8.145	5.366	236.206
6	25 - 30	0.029559	0.454	14.033	13.579	6.043	3.909	54.385
7	30 - 35	0.013137	1.573	8.944	7.371	4.240	2.809	16.962
8	35 - 40	0.013137	0.007	13.404	13.396	5.010	5.374	20.040
9	40 - 45	0.019706	0.499	6.386	5.887	2.080	2.062	12.482
10	45 - 50	0.019706	0.018	13.214	13.196	3.997	4.576	23.985
11	50 - 55	0.006569	3.141	3.958	0.817	3.550	0.409	7.100
12	55 - 60	0.003284	1.805	1.805	0.000	1.805	0.000	1.805
13	60 - 65	0.006569	1.179	2.417	1.238	1.798	0.619	3.596
14	65 - 70	0.006569	0.130	6.277	6.146	3.203	3.073	6.407
15	70 - 75	0.006569	2.515	5.441	2.926	3.978	1.463	7.956
16	75 - 80	0.006569	0.219	1.595	1.376	0.907	0.688	1.814
17	80 - 85	0.003284	1.113	1.113	0.000	1.113	0.000	1.113
18	85 - 90	0.02299	0.606	16.937	16.331	5.985	6.173	41.896

Fuente: Autor.

Impresión 3D del procesamiento de los datos fotogramétricos de la zona de estudio

Como resultado de la impresión 3D se tiene una escala 1:100, que tuvo una duración de 8h17min de impresión continua. El material que se utilizó fue el filamento PLA.

Imagen 31

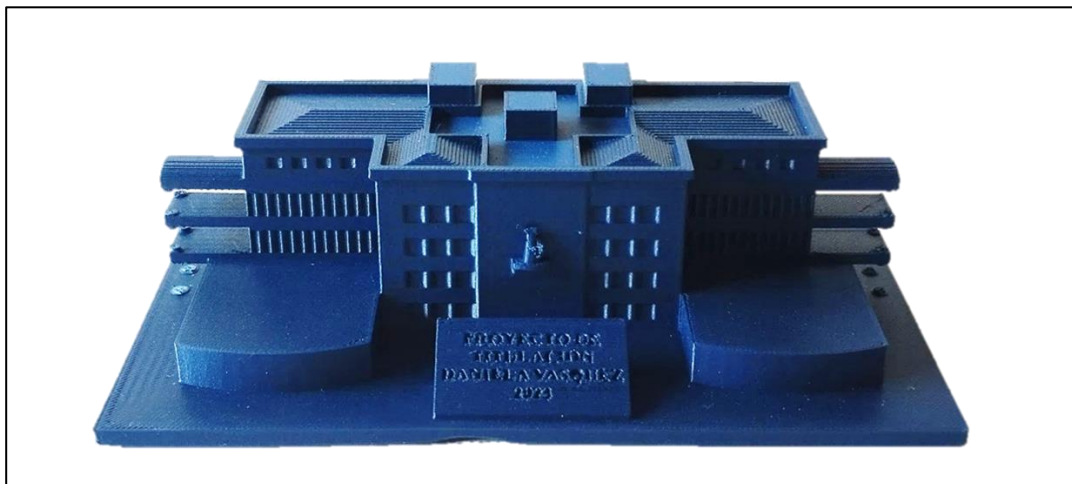
Plano frontal de impresión 3D de la zona de estudio



Fuente: Autor

Imagen 32

Plano picado de impresión 3D de la zona de estudio



Fuente: Autora

Imagen 33

Plano posterior de impresión 3D de la zona de estudio



Fuente: Autor

8. CONCLUSIONES

El Modelo Digital de Elevación actualizado de la zona brinda información de la representación y análisis del terreno, lo que facilita la toma de decisiones en sus diversas áreas, además de disponer de puntos de control geodésico en el estudio se analiza los MDE desde la misma entrada, generando una red geodésica de referencia dentro de la Universidad Politécnica Salesiana, lo que abre paso a futuras prácticas, proyectos, investigaciones y más.

El haber evaluado la precisión de diferentes modelos digitales de elevación nos proporciona una visión clara y detallada de las alturas, pendientes, perfiles, coberturas y usos del suelo en la zona de estudio. La información obtenida es de gran relevancia para la planificación del uso del suelo, la gestión ambiental y la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo urbano. Se pudo observar una diferencia significativa entre los MDE por su toma de información a nivel del terreno y al nivel de la superficie, además de evidenciar la fecha de la información

obtenida, existiendo variaciones por las construcciones actuales de la zona. En el residual de altura por pendiente se presentó limitaciones al procesar esta información con el MDE de ASTER, ya que la resolución espacial del mismo es mayor que el área de la zona de estudio.

Los datos fotogramétricos proporcionan información detallada y precisa de la zona, capturando la estructura tridimensional con fotografías de diferentes ángulos y perspectivas. La impresión 3D sirve como base para modelos de alta fidelidad. Sin embargo, el análisis y procesamiento de esta información conlleva una carga computacional considerable debido al volumen y la complejidad de los datos involucrados. La captura fotogramétrica contribuye a la preservación y difusión de los patrimonios, en este caso se realizó del edificio Guillermo Mensi siendo de las primeras edificaciones de la Universidad Politécnica Salesiana.

9. RECOMENDACIONES

Realizar una validación rigurosa de los resultados para garantizar su exactitud y confiabilidad en la toma de decisiones pertinentes, mencionando que la precisión y la validez de los resultados están directamente relacionadas con la calidad de los datos de entrada y los métodos utilizados en la clasificación de la cobertura del suelo.

Los MDE obtenidos en plataformas de disponibilidad abierta, se recomienda analizar en zonas montañosas, boscosos y desérticas, con pendientes altas y bajas, para evaluar su relación en estas superficies y estudiar la conservación de la vegetación, la planificación agrícola o desarrollo urbanístico.

Generar una evaluación fotogramétrica de las superficies verticales en construcción como paso importante para obtener modelos precisos y de alta calidad para la impresión 3D, este

enfoque capturará la geometría exacta de las fachas, proporcionando información métrica de las dimensiones, formas, texturas que puedan ser utilizadas en modelos digitales tridimensionales.

10. BIBLIOGRAFIA

(N.d.). Org.Mx. (21 de Junio de 2023). *Retrieved*. Obtenido de

<https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>

Arcgis.com. (21 de Junio de 2023). *Modelos digitales de elevación—Conceptos relacionados*.

Obtenido de Modelos digitales de elevación—Conceptos relacionados:

<https://learn.arcgis.com/es/related-concepts/digital-elevation-models.htm>

ArcMap. (28 de Junio de 2023). *Representación cartográfica y visualización en ArcGIS Desktop*.

Obtenido de Arcgis.com: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/main/mapping-and-visualization-in-arcgis-for-desktop.htm>

ASF. (20 de Octubre de 2010). *ASF Data Search Vertex*. Obtenido de ALPSRP252367120:

<https://search.asf.alaska.edu/>

ASF. (Febrero de 2019). *Alaska Satellite Facility*. Obtenido de Alaska Satellite Facility:

<https://asf.alaska.edu/about-asf/>

Biblioteca UAJMS. (06 de Junio de 2023). *Edu.bo*. Obtenido de Levantamiento topografico con la aplicacion de drones:

https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=14288

Blumenfeld, J. (05 de Agosto de 2019). *Earthdata*. Obtenido de New version of the ASTER

GDEM. Earthdata.: <https://www.earthdata.nasa.gov/news/new-aster-gdem>

- Carrera-Hernández, J. J. (2021). Not all DEMs are equal: An evaluation of six globally available 30 m resolution DEMs with geodetic benchmarks and LiDAR in Mexico. *Remote Sensing of Environment*, 261, 112474. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112474>
- Casella, E., Drechsel, J., Winter, C., Benninghoff, M., & Rovere, A. (2020). Accuracy of sand beach topography surveying by drones and photogrammetry. *Geo-Marine Letters*, 40(2), 255–268. <https://doi.org/10.1007/s00367-020-00638-8>
- Casella, E., Lewin, P., Ghilardi, M., Rovere, A., & Bejarano, S. (2022). Assessing the relative accuracy of coral heights reconstructed from drones and structure from motion photogrammetry on coral reefs. *Coral Reefs*, 41(4), 869–875. <https://doi.org/10.1007/s00338-022-02244-9>
- Cortés Ospina, E. J. (2021). LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS MEDIANTE EL USO DE DRONES TOPOGRAPHIC UPRISING THROUGH THE USE OF DRONES. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 8(2), 100–113. <https://doi.org/10.26495/icti.v8i2.1912>
- Erena, M., Atenza, J. F., García-Galiano, S., Domínguez, J. A., & Bernabé, J. M. (2019). Use of drones for the topo-bathymetric monitoring of the reservoirs of the Segura River Basin. *Water (Switzerland)*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/w11030445>
- EARTHDATA. (30 de Noviembre de 2013). *ASTER Global Digital Elevation Model V003*.
Obtenido de ASTGTMV003_S03W079:
[https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules/granule-details?p=C1711961296-LPCLOUD&pg\[0\]\[v\]=f&pg\[0\]\[gsk\]=-start_date&g=G1726736718-LPCLOUD&sb\[0\]=-](https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules/granule-details?p=C1711961296-LPCLOUD&pg[0][v]=f&pg[0][gsk]=-start_date&g=G1726736718-LPCLOUD&sb[0]=-)

79.10596%2C-2.94636%2C-78.92139%2C-2.775&fi=ASTER&tl=1683299670!3!!&lat=-
2.5751953125000004&long=-78.886

Emlid.com. (21 de Junio de 2023). *Emlid.com*. Obtenido de Como funciona el RTK:

<https://docs.emlid.com/reach/es/tutorials/basics/rtk-introduction/>

GEOSUR. (2020). *DECLARACIÓN A LOS DATOS DE LAS ESTACIONES DE LA REDES GRAVIMÉTRICAS DEL ECUADOR COMO DE LIBRE ACCESO Y DE MANERA GRATUITA*. Obtenido de DECLARACIÓN A LOS DATOS DE LAS ESTACIONES DE LA REDES GRAVIMÉTRICAS DEL ECUADOR COMO DE LIBRE ACCESO Y DE MANERA GRATUITA:

<https://www.geoportaligm.gob.ec/geodesia/index.php/download/resolucion-nro-igm-igm-2021-0007-r/>

Gonzales P, Torres P. (2014). *Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas*. Obtenido de LEVANTAMIENTO MEDIANTE GPS DE UNA RED DE PUNTOS ESTABLECIDOS PARA CORRELACIONAR LOS DISTINTOS ESPACIOS DE LA UNIVERSIDAD EN EL MISMO SISTEMA DE COORDENADAS.

Jakob, S., Zimmermann, R., & Gloaguen, R. (2017). The Need for Accurate Geometric and Radiometric Corrections of Drone-Borne Hyperspectral Data for Mineral Exploration: MEPHySTo—A Toolbox for Pre-Processing Drone-Borne Hyperspectral Data. *Remote Sensing*, 9(1), 88. <https://doi.org/10.3390/rs9010088>

Kim, D.-P., Kim, S.-B., & Back, K.-S. (2022). Analysis of Mine Change Using 3D Spatial Information Based on Drone Image. *Sustainability*, 14(6), 3433. <https://doi.org/10.3390/su14063433>

LEVANTAMIENTO MEDIANTE GPS DE UNA RED DE PUNTOS ESTABLEIDOS PARA CORRELACIONAR. (s.f.).

Mazzoleni, M., Paron, P., Reali, A., Juizo, D., Manane, J., & Brandimarte, L. (2020). Testing UAV-derived topography for hydraulic modelling in a tropical environment. *Natural Hazards*, 103(1), 139–163. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03963-4>

PROGRAMA SIGTIERRAS. (21 de Junio de 2023). *Gob.ec*. Obtenido de *Gob.ec*.: <http://www.sigtierras.gob.ec/la-institucion/>

Sistema GNSS RTK i50 CHC. (21 de Junio de 2023). *RMS Geoespacial*. Obtenido de RMS Geoespacial: <https://rmsgeoespacial.com/producto/sistema-gnss-rtk-i50-chc/>

Stott, E., Williams, R. D., & Hoey, T. B. (2020). Ground Control Point Distribution for Accurate Kilometre-Scale Topographic Mapping Using an RTK-GNSS Unmanned Aerial Vehicle and SfM Photogrammetry. *Drones*, 4(3), 55. <https://doi.org/10.3390/drones4030055>

Tsironi, M., Kosma, I. S., & Badeka, A. V. (2022). The Effect of Whey Protein Films with Ginger and Rosemary Essential Oils on Microbiological Quality and Physicochemical Properties of Minced Lamb Meat. *Sustainability*, 14(6), 3434. <https://doi.org/10.3390/su14063434>

Wolock, D. M., & Price, C. V. (1994). Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography-based watershed model. *Water Resources Research*, 30(11), 3041–3052. <https://doi.org/10.1029/94WR01971>

Yue, L., Shen, H., Zhang, L., Zheng, X., Zhang, F., & Yuan, Q. (2017). High-quality seamless DEM generation blending SRTM-1, ASTER GDEM v2 and ICESat/GLAS observations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 123, 20–34. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.11.002>