

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL /
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**LEVANTAMIENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO CON UAV PARA LA
OBTENCIÓN DE LA ORTOFOTO Y CURVAS DE NIVEL DEL
BARRIO EL RECREO DE APROXIMADAMENTE 8 HA QUE
SIRVAN A FUTUROS ESTUDIOS DE ALCANTARILLADO, SANTO
DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS.**

**AEROFOTOGRAMETRÍA CON UAV, PROCESAMIENTO CON
AGISOFT**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

BRYAN PAÚL CAIZA MAILA

bryan.caiza@epn.edu.ec

DIRECTOR: Ing. CARLOS JENRY CÓRDOVA MESA, M.Sc.

jenry.cordova@epn.edu.ec

DMQ, enero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Bryan Paúl Caiza Maila declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Bryan Paúl Caiza Maila

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Bryan Paúl Caiza Maila, bajo mi supervisión.

Ing. Carlos Jenry Córdova Mesa
DIRECTOR

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

NOMBRE_REVISOR1
REVISOR1 DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

NOMBRE_REVISOR2
REVISOR2 DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Bryan Paúl Caiza Maila

Ing. Carlos Jenry Córdova Mesa

DEDICATORIA

Al finalizar esta importante etapa de mi vida agradezco a Dios por darme la gran satisfacción de tener a mi familia unida y con salud, que, a pesar de los problemas logramos seguir adelante con sabiduría, amor y paciencia.

Por eso, este trabajo está dedicado principalmente a mis padres Miguel y Mercedes quienes me forjaron desde pequeño para poder destacar y llegar hasta donde estoy ahora. Cada uno de ellos supo mostrarme su amor y cariño a su manera en cada etapa del transcurso de mi vida, mi padre un hombre inteligente el mejor de 500 personas en su trabajo, incorruptible, todólogo, fue y es mi inspiración, aunque aún no he logrado un reconocimiento tan meritorio como el suyo, estuve con los mejores del país aprendiendo de gigantes y sé que pronto lo lograré.

A mi madre, que supo corregirme desde pequeño con mano dura para ser una persona responsable, mi guía, mi luz, mi instructora de la vida ya que con sus conocimientos supe defenderme de ese mundo lejos de casa, mi orgullo, que a pesar de mis malos genios supo comprenderme. La mejor administradora sin título que he conocido, para mi tiene un doctorado nunca nos faltó nada.

A mis adoradas hermanas Vanessa y Melany, que a pesar de nuestras peleas me consentían cada vez que llegaba a casa. A mi pequeño Sebastián la alegría del hogar. A mis Abuelitos Miguel y María que recuerdo con nostalgia los pocos momentos que pasábamos cuando era niño. A mis abuelitos Consuelo y Pablo que al fin tendrá su primer nieto ingeniero.

En especial a una persona que siempre estuvo a mi lado incondicionalmente, ayudándome, cuidándome, conociendo lugares que nunca pensé llegar a conocer, jamás he conocido un amor tan puro, bonito y sincero, que perdura aún en tiempos de cólera, quizás nunca encuentre alguien igual ni en otro mundo ni en otra vida, mi ángel de la guarda G.T.

Finalmente, puedo decir que lo hemos logrado pues mi motivación y mis ganas de salir adelante siempre fueron ustedes, cada día especial ausente, las noches sin dormir ha valido la pena y en este trabajo queda plasmado el fruto del esfuerzo de años de cada uno de ustedes para que yo pueda adquirir ese conocimiento que espero transmitir a la sociedad y emplearlo para un mejor futuro para todos.

Con amor Paúl C.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por mantener a mis seres amados con vida en estos tiempos tan difíciles donde muchos han perdido algún ser querido. A mi familia por todo el apoyo brindado, esto no sería posible sin su paciencia, comprensión y sobre todo amor. En especial a mi padre que estuvo hasta los últimos días apoyándome en este trabajo al igual que mi madre y mis hermanas.

Agradezco a Gaby ML, una amiga incondicional que estuvo siempre a mi lado en las buenas y en las malas para poder seguir adelante, gracias, la espera ha terminado. Gracias a las personas que me ayudaron de alguna manera a culminar este trabajo, la Ing. Gaby Taco una bonita amistad formada desde el laboratorio, a la Ing. Josselyn Tituaña una de las pocas personas que puedas encontrar en este mundo que está dispuesta ayudarte sin esperar nada a cambio.

A mis amigos que desde los primeros semestres siempre estuvimos el uno para el otro, Mishell las fotos en el curso, Kevin, Dani, en especial Juan nunca olvidaré ese único día que nos sacaron de clase por tu contagiosa risa. A Ely, Dani, Jessy, Fer, Jenny, Fati las mejores personas que he conocido y que tuvimos la oportunidad de formarnos académica y humanamente para hacer de este mundo un lugar mejor para vivir. Así también como a Cinthia gracias por tu apoyo y opiniones.

A mis maestros, en especial al Ing. Jenrry Córdova por considerarme y compartir su valioso conocimiento por medio de este trabajo desarrollado, gracias por su tiempo y paciencia. A mi tutora Ing. Nathalia Valencia que supo escucharme y apoyarme desde mis inicios en la universidad. A la Ing. Gissela Vilaña la persona que influyo en mi visión para combatir la problemática de los residuos. A todos mis profesores en general pues gracias a ellos logré adquirir habilidades y conocimientos para poder desenvolverme en mi vida profesional.

Finalmente, a mi compañera de proyecto Josselyn por su apoyo, las amanecidas, las risas, hemos concluido una importante etapa de nuestra vida y que mejor tras haber adquirido este conocimiento crucial que estoy seguro nos servirá por toda la vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
LISTADO DE FIGURAS.....	VIII
LISTADO DE TABLAS.....	IV
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Fotogrametría.....	2
1.4.1.1 Tipos de AeroFotogrametría.....	3
1.4.1.2 Aerofotogrametría fotográfica.....	3
1.4.1.3 Aerofotogrametría Lidar.....	4
1.4.2 Imagen Digital.....	4
1.4.2.1 Características de la Imagen Digital.....	5
1.4.3 Productos Fotogramétricos.....	5
1.4.3.1 Modelo Digital de Terreno (MDT).....	5
1.4.3.2 Modelo Digital de Elevación (MDE).....	5
1.4.3.3 Ortofoto.....	6

1.4.4 Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs)	6
1.4.4.1 Clasificación y características.....	7
1.4.4.2 Aplicaciones de los VANTs.....	7
1.4.5 Software para procesamiento de fotogrametría con VANTs.....	8
1.4.6. Marco Legal en el Ecuador.....	8
2 METODOLOGÍA.....	9
2.1 Localización de la zona de estudio.....	9
2.1.1 Ubicación.....	9
2.1.2 Extensión y límites.....	9
2.1.3 Topografía.....	10
2.1.4 Riesgos y amenazas.....	10
2.2 Equipos y Materiales.....	11
2.2.1 RPAS FV8 Topodron.....	11
2.2.2 Sistemas GNSS integrado Trimble R8s.....	11
2.3 Planificación del Proyecto.....	12
2.3.1 Zona de vuelo del RPAS.....	12
2.3.2 Planificación del vuelo.....	14
2.3.3 Distribución de puntos de control terrestres (GCP).....	14
2.3.4 Localización de los puntos de control terrestres.....	15
2.3.5 Programa de ejecución de vuelo.....	16
2.3.5.1 Condiciones atmosféricas.....	17
2.3.5.2 Toma de puntos de control.....	18
2.3.6 Procesamiento de datos con el Software Agisoft PhotoScan.....	21
2.3.7 Productos complementarios con el Software AutoCAD y Civil 3D....	23

3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
3.1	Resultados.....	23
3.1.1	Exactitud y error posicional.....	23
3.1.2	Productos fotogramétricos.....	26
3.1.3	Productos obtenidos en el software AutoCAD y Civil 3D.....	33
3.2	Conclusiones.....	33
3.3	Recomendaciones.....	35
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
5	ANEXOS	39
	ANEXO I. Reglamento de operación de aeronaves piloteadas a distancia (RPAs).....	39
	ANEXO II. Ficha técnica del dron y cámara.....	41
	ANEXO III. Puntos de referencia proporcionados por el GAD de Santo Domingo.....	46
	ANEXO IV. Resultados obtenidos con el receptor GNSS TRIMBLE R8S.....	48
	ANEXO V. Procesamiento con el software Agisoft PhotoScan.....	50
	ANEXO VI. Ortofoto en Alta y Baja Calidad.....	63
	ANEXO VII. Perfil Longitudinal de la calle Alamor.....	65
	ANEXO VIII. Mapa topográfico del barrio El Recreo.....	66
	ANEXO IX. Planimetría del barrio El Recreo.....	67

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Socialización del proyecto en la Dirección de Planificación y Proyectos de Santo Domingo de los Tsáchilas.....	12
Figura 2. Barrio El Recreo-Cooperativa Asistencia Municipal Uno.....	13
Figura 3. Calle de Interés.....	13
Figura 4. Distribución de los GCP.....	15
Figura 5. Programación del vuelo 1.....	16
Figura 6. Programación de vuelo 2.....	17
Figura 7. Condiciones óptimas de vuelo.....	18
Figura 8. Toma de GCP mediante RTK.....	18
Figura 9. Ajuste geodésico a hito de control ECU 911.....	21
Figura 10. Error alta calidad.....	25
Figura 11. Error baja calidad.....	26
Figura 12. Modelo digital de elevación de alta calidad.....	26
Figura 13. Modelo digital de elevación de baja calidad.....	27
Figura 14. Modelo digital de terreno de alta calidad.....	28
Figura 15. Modelo digital de terreno de baja calidad.....	28
Figura 16. Imagen tomada con el dron FV6Atyges.....	30
Figura 17. Curvas de nivel de alta calidad.....	31
Figura 18. Curvas de nivel de baja calidad.....	32

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Materiales e insumos utilizados.....	11
Tabla 2. Coordenadas obtenidas mediante el método estático y RTK1.....	19
Tabla 3. Coordenadas obtenidas con estación total Sokkia Fx-105.....	19
Tabla 4. Coordenadas de puntos de control.....	21
Tabla 5. Coordenadas del RTK y estático corregidas.....	23
Tabla 6. Error posicional entre el método estático y RTK vs Estación total.....	24
Tabla 7. Error cuadrático medio.....	25
Tabla 8. Comparación en los tiempos de los procesos en Agisoft PhotoScan.....	33

RESUMEN

El avance tecnológico ha posibilitado desarrollar nuevas técnicas para levantamientos topográficos mediante la Aerofotogrametría empleando drones y softwares de procesamiento fotogramétrico con resultados confiables y precisos, reduciendo el protagonismo al uso de la estación total, generando una ventaja a los conocedores del tema.

El presente estudio tiene la finalidad de ejecutar un levantamiento Aerofotogramétrico en el barrio “el Recreo” empleando el UAV FV8 Topodron de la EPN, para lo cual fue necesario realizar la planificación del vuelo considerando las especificaciones técnicas más relevantes proporcionadas por el IGM [1]. Además, se emplearon diferentes métodos para la toma de los Puntos de Control Terrestre (GCP), los cuales son necesarios para la georreferenciación de las imágenes durante el procesamiento con el software Agisoft PhotoScan.

Se utilizó la metodología expuesta en el manual técnico de obtención de productos cartográficos a partir de imágenes RPA, escala 1:1000 del IGM [2] para el procesamiento con el software Agisoft PhotoScan con el fin de obtener: Modelos Digitales de Elevación (MDE), Modelos Digitales de Terreno (MDT), Ortofotos y Curvas de nivel en baja y alta calidad que servirán para generar el perfil longitudinal de la calle Amor, y el mapa planimétrico de la zona de estudio creado a partir del software Civil 3D.

Los resultados obtenidos fueron mejores para el procesamiento en baja calidad en la cual se consiguió un error medio cuadrático (EMC) milimétrico, curvas de nivel mejor elaboradas y una ortofoto de mejor calidad visual lo cual fue favorable para realizar la planimetría del barrio El Recreo y el perfil longitudinal de la calle Amor que son estudios necesarios para realizar obras como alcantarillado en la ciudad de Santo Domingo, Ecuador.

PALABRAS CLAVE: Aerofotogrametría, UAV, GCP, MDE, MDT, EMC, Ortofoto.

ABSTRACT

Technological progress has made it possible to develop new techniques for topographical surveys through Aerophotogrammetry using drones and photogrammetric processing software with reliable and precise results, reducing the prominence from the use of the total station, generating those who know the subject at an advantage.

The present study has the purpose of executing an Aerophotogrammetric survey in the "El Recreo" neighborhood using the UAV FV8 Topodron of the EPN, for which it was necessary to carry out the flight planning considering the most relevant technical specifications of the IGM [1]. In addition, different methods were used for the seizure of the Ground Control Points (GCP) which are necessary for the georeferencing of the images during the processing with the Agisoft PhotoScan software.

The methodology was used by the IGN technical manual for obtaining cartographic products from RPA images, scale 1:1000 of the IGN [2] is used for processing with the Agisoft PhotoScan software in order to obtain: Digital Elevation Models (DEM), Digital Terrain Models (MDT), Orthophotos and Contour lines in low and high quality that will serve to generate longitudinal profiles, cross sections and the planimetric map of the study area created from the Civil 3D software.

The results obtained were better for low-quality processing, in which achieved millimetric mean square error (MSE), better elaborated contour lines and an orthophoto of better visual quality which was favorable to perform the planimetry, longitudinal profile and cross sections that are necessary studies to carry out works such as sewerage for the "El Recreo" neighborhood located in the city of Santo Domingo, Ecuador.

KEYWORDS: Aerophotogrammetry, UAV, GCP, MDE, MDT, EMC, Orthophoto.

1. INTRODUCCIÓN

La topografía es una ciencia enfocada en los principios y las metodologías aplicadas para establecer una ubicación relativa de los puntos en la superficie de la Tierra, a través de medidas empleando tres componentes del espacio: distancia, dirección y una elevación [3] con el fin de incorporar sobre un plano a diferentes escala, su forma y accidentes [4]. El avance tecnológico ha logrado que se empleen técnicas e instrumentos como los vehículos aéreos no tripulados (VANTs) o Unmanned Aerial Vehicle (UAV), utilizados para los levantamientos de planos topográficos y mapas mediante la técnica de aerofotogrametría [5].

En los últimos años la Aerofotogrametría con drones en conjunto con el empleo de computadores y programas de procesamiento, ha posibilitado automatizar el flujo del trabajo fotogramétrico de una forma trascendental [6], pues el uso de esta tecnología reduce el tiempo de los levantamientos topográficos, muestra detalles de la zona de estudio que son necesarios para realizar trabajos de obra civil y ambiental como por ejemplo los sistemas de alcantarillado en una ciudad. Sin embargo, tiene ciertas desventajas en el levantamiento de planos pues la densa vegetación limita la visión de ciertos objetos que debe ser complementada con la topografía clásica [7].

Actualmente, la Escuela Politécnica Nacional (EPN) cuenta con un dron multirrotor modelo FV8 Topodron que puede ser empleado para realizar aerofotogrametría de alta precisión, sin embargo, no existen suficientes estudios de levantamientos topográficos con el UAV de la EPN que respalden su favorable aplicación de acuerdo a las especificaciones de la ficha técnica que determina que puede abarcar grandes extensiones de terreno. Además, que el uso de esta tecnología y los programas de procesamiento como Agisoft PhotoScan no son impartidos en el plan de estudio poniendo en desventaja al futuro ingeniero de la EPN.

Razón por la cual el presente estudio tiene como finalidad realizar un levantamiento Aerofotogramétrico con el UAV de la EPN para generar ortofotos y curvas de nivel por medio del procesamiento de imágenes en Agisoft PhotoScan con el fin de obtener el perfil longitudinal de la calle Alamor y la planimetría del barrio el Recreo perteneciente a la Cooperativa Asistencia Municipal uno en Santo Domingo de los Tsáchilas. Este estudio beneficiará a la comunidad del barrio el Recreo pues la información levantada servirá como base para futuros proyectos de alcantarillado pues son requisitos necesarios para la aprobación de estudios, planos y diseño de proyectos de infraestructura sanitaria en la provincia Tsáchila [8].

1.1 Objetivo general

Generar ortofotos y curvas de nivel de baja y alta calidad mediante el procesamiento de imágenes con el software Agisoft PhotoScan obtenidas con el UAV de la Escuela Politécnica Nacional para la obtención del perfil longitudinal de la calle Alamor y la planimetría del barrio el Recreo en Santo Domingo de los Tsáchilas.

1.2 Objetivos específicos

1. Planificar el vuelo del dron mediante la recopilación de datos del equipo, lugar y condiciones atmosféricas óptimas para la obtención de imágenes de calidad.
2. Localizar los puntos de control terrestre (GCP) a través del protocolo NTRIP combinando el método de RTK y modo estático para georreferenciar planimétrica y altimétricamente las imágenes obtenidas con el dron.
3. Procesar las imágenes obtenidas del UAV de la EPN por medio del software Agisoft PhotoScan para obtener la ortofoto y curvas de nivel de baja, y alta calidad de la zona de estudio.
4. Generar el perfil longitudinal de la calle Alamor y la planimetría del barrio “el Recreo” mediante el software civil 3D en base a los resultados obtenidos del software Agisoft PhotoScan.

1.3 Alcance

En el presente proyecto se procesarán las imágenes obtenidas del UAV de la EPN empleando el software Agisoft PhotoScan con el fin de generar Ortofotos y curvas de nivel de baja y alta calidad, para los cuales se analizará el tiempo de procesamiento y la calidad visual de cada una, pues estas servirán para la generación del perfil longitudinal de la calle Alamor y la planimetría del barrio El Recreo perteneciente a la Cooperativa Asistencia Municipal uno localizada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Fotogrametría

De acuerdo a la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS) se describe a la fotogrametría como: “la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, para de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado [9].

Por lo que se ha convertido en una herramienta clave para recopilar información sobre las superficies de la Tierra[10]. La información derivada de los datos e imágenes permite una amplia variedad de aplicaciones, incluida la generación de DEM, extracción de edificios y reconstrucción en 3D, investigación de defoliación e inventario de biomasa forestal. Sin embargo, las resoluciones espaciales y temporales de los sistemas estándar de adquisición remota (ALS, fotogrametría aérea, etc.) son limitadas debido a la rigidez y los altos costos de las plataformas voladoras [11].

1.4.1.1. Tipos de Fotogrametría

La fotogrametría se clasifica según el tipo de captura y procesamiento de las fotografías las cuales son [9]:

- a) *Fotogrametría analógica*: Fue la primera etapa en desarrollarse. Se emplea para la generación de mapas, con información altimétrica.
- b) *Fotogrametría analítica*: Esta es la segunda etapa en el desarrollo de la fotogrametría. Los niveles de detalle se realizan a varias escalas lo que facilita la información a programas de tipo CAD.
- c) *Fotogrametría digital*: Con el avance tecnológico, las imágenes analógicas han sido reemplazadas por imágenes digitales. El uso de computadoras y programas han contribuido al desarrollo de modelos digitales del terreno en 3D.

1.4.1.2. Aerofotogrametría fotográfica

El método estándar para la recopilación masiva de datos espaciales para áreas pequeñas está evolucionando y convirtiéndose en fotogrametría a partir de los UAV [11]. Esta nueva terminología que involucra el uso de un Vehículo Aéreo No Tripulado o llamado UAV es una plataforma de apoyo de medidas fotogramétricas [12].

Este sistema UAV estándar hace posible rastrear la posición y orientación de sensores que se implementan en sistemas locales o coordenadas globales, y está adecuado para ser aplicado en cartografía a pequeña escala. Sin embargo, no ha sido óptimamente utilizado para el mapeo topográfico, ya que es menos preciso que el levantamiento cartográfico terrestre [13].

Esto porque en general, el sistema UAV se obtiene mediante una cámara no métrica que tiene cierta limitación geométrica. No obstante, el uso de UAV tiene algunas ventajas, tales como: es rentable, la precisión puede ser mejorada por la calibración de la cámara, rápido en la producción de mapas y la plataforma UAV tiene menos peso que lo hace más portátil.

Por lo que las plataformas UAV son hoy en día una valiosa fuente de datos para problemas de inspección, vigilancia, mapeo y modelado en 3D [13]

1.4.1.3. Aerofotogrametría Lidar

La detección de luz y alcance (LIDAR) se está convirtiendo en una herramienta cada vez más utilizada para apoyar los procesos de toma de decisiones dentro de diversas actividades como son las operaciones forestales [14]. En la actualidad, LIDAR se ha estado desarrollando de forma rápida al representar objetos a través de colecciones asociadas a puntos distribuidos espacialmente con coordenadas, convirtiéndose en una tecnología de mapeo de última generación [15].

Además de acuerdo [16], LIDAR aerotransportado ha sido ampliamente explorado y empleado en una variedad de sensores remotos como por ejemplo en la segmentación de edificios, investigación de defoliación, inventario de biomasa forestal y análisis estructural de zonas arbustivas para la recuperación de páramos.

Por otra parte, un LIDAR de escaneo 3D volador en comparación con otros sistemas LIDAR 3D en tierra (escaneo láser basado en vehículos terrestres) logra una perspectiva óptima del suelo para representar así el fondo, la hierba o trincheras profundas. No obstante, la densidad de puntos LIDAR en el suelo es mucho más alta que el escaneo láser aéreo tradicional debido a que debe encontrarse a una altitud mucho más baja (desde unos pocos metros a algunas decenas de metros) [17].

Además, los sistemas de sensores LIDAR 3D pueden considerarse un complemento de otros sensores EO como: cámaras RGB, cámaras infrarrojas térmicas o imágenes hiperespectrales. Es importante mencionar que la fotogrametría se utiliza preferentemente en escenarios urbanos, incluyendo edificios, pues no tiene la capacidad de ver a través de la vegetación [17].

1.4.2 Imagen Digital

Es una matriz bidimensional, que consiste en un entramado (cuadrícula) de pequeños píxeles a los que se les asigna un valor digital según su nivel de tonalidad grisácea, conforme a su ubicación en la foto a través de sus filas y columnas dentro del entramado, donde el pixel es la unidad mínima de información y tiene un valor llamado Nivel Digital (Nd). Existen Imágenes Digitales compuesta por una sola matriz, que se visualizan en

niveles de gris, y otras compuestas por tres matrices es decir imágenes a color(RGB), donde se designa una para el color rojo, otra para el gris y otra para el azul [7], [18].

1.4.2.1 Características de la Imagen Digital

1.4.2.1.1 Resolución.

Es la calidad de la imagen digital y depende del tamaño del píxel, si el píxel es más pequeño la calidad será mejor, pero necesitará más espacio de almacenamiento. La resolución se expresa en píxeles por pulgada (PPP). Por otra parte la resolución de imágenes aéreas se denomina espacial, y tiene relación directa con el tamaño del píxel terrestre GSD (Ground Sample Distance) [7].

1.4.2.1.2 Dimensión.

Representa el ancho y alto de una imagen y puede ser expresada en centímetros, pulgadas o píxeles [7].

1.4.2.1.3 Profundidad de color

Está relacionada con el número de bits utilizados para describir el color de cada píxel, es decir mientras más colores tenga la imagen mayor será la profundidad [7].

1.4.3 Productos Fotogramétricos

1.4.3.1 Modelo Digital de Terreno (MDT)

El Modelo Digital del Terreno (DTM: Digital Terrain Model) muestra los accidentes topográficos de la Tierra, está compuesto por conjuntos tridimensionales de puntos en los cuales las posiciones horizontales están dadas por sus coordenadas X, Y, y las elevaciones corresponden a las coordenadas Z, las cuales proporcionan una representación digital, que muestra la continua variación del relieve de una zona [18].

1.4.3.2 Modelo Digital de Elevación (DEM)

Los DEM son arreglos de valores de elevaciones, generados a partir de retículas de dimensiones variables que dependen de la fuente de la información. Donde las posiciones horizontales de sus puntos están expresados en coordenadas X e Y referenciadas al sistema de coordenadas [18]. Un DEM puede ser obtenido por diferentes tipos de datos

tales como levantamientos geodésicos, imágenes satelitales (óptica o radar), fotografías aéreas (convencionales o dron) y escáneres láser (aéreos o terrestres) [19].

Sus aplicaciones son múltiples y entre ellas están: evaluar la tasa anual de descenso de la superficie, donde a partir de las ortofotos producidas se establece una base para el mapeo vegetal y geomorfológico [20].

1.4.3.3 Ortofoto

Son fotos representadas en proyecciones ortogonales del terreno, obtenidas por fotografías aéreas, a través de un proceso de rectificación diferencial, el cual elimina las variaciones de escala y los desplazamientos de imagen producidos por el relieve y la inclinación, y de esta forma permite que los detalles representados se expresen en su posición planimétrica real. Las ortofotos combinan las ventajas de los planos o mapas y las fotografías aéreas, mostrando los detalles en posiciones planimétricas (similar a los planos) pero con imágenes reales con el objetivo de facilitar su interpretación y comprensión, donde las distancias, ángulos y áreas reales se pueden determinar directamente a partir de ellas [18].

Además, se pueden elaborar de manera más rápida y económica que los planos o representaciones planimétricas. Finalmente las aplicaciones de los mapas generados por ortofotos incluyen la planificación y el diseño de ingeniería [18].

1.4.4 Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs)

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT) también denominados como Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) son aeronaves que vuelan sin tripulación, capaz de mantener un vuelo controlado y sostenido, impulsados por un motor eléctrico, de explosión o de reacción [21].

El uso de UAVs también conocido como UAS o drones es cada vez más común en diferentes disciplinas de las geociencias [22], [23]. El desarrollo reciente en tecnologías UAV y lidar han abierto posibilidades de pequeños sistemas aerotransportados para la adquisición de datos de alta resolución [17].

1.4.4.1 Clasificación y características

Actualmente, existen distintos tipos de drones los cuales se los puede clasificar según su uso, tipo de ala y por el medio en que se mueven [21] . Por lo que en este estudio se citan los dos principales según el tipo de ala.

Multirotor

Es un UAV que es propulsado por rotores y hélices (4 cuadricópteros, 6 hexacópteros), el cual se diferencia el UAV de ala fija porque su despegue y forma de aterrizaje vertical es muy sencillo y se lo puede mantener bajo vuelo suspendido [4]. Además, una plataforma multirotor puede llegar fácilmente a áreas a las que podría llevar tiempo llegar a pie o donde es imposible acceder con vehículos terrestres [17].

Ala Fija

Los sistemas UAV de ala fija son más adecuados para trabajos en los que se pretendan cubrir áreas más extensas, dada su mayor autonomía y estructura simple derivada de su diseño aerodinámico que les proporciona mayor eficiencia, velocidad y tiempo de vuelo, siendo este último de 45 a 60 minutos en promedio. Este hecho les hace más indicados para trabajos de cartografía y teledetección. También poseen una huella sonora menor, factor importante en el desarrollo de trabajos de vigilancia [6].

1.4.4.2 Aplicaciones de los VANTs

Los UAVS o vehículos aéreos no tripulados poseen múltiples aplicaciones como las siguientes [24] :

- a) *Cartografía y topografía*: facilita estudiar obras en licitación, calcular volúmenes y superficies en acopios y observar patologías como deslizamiento de taludes, en cartografía permite obtener datos espaciales en tiempos cortos y crear mapas catastrales en diversas áreas como agricultura, medio ambiente, urbanismo y actividades industriales.
- b) *Hidrología*: permite gestionar de manera sostenible el recurso hídrico, evaluar las tasas de sublimación (deshielo) de los glaciares, cuantificar parámetros relacionados con el uso del agua, sequías e inundaciones.

- c) *Ecología*: contribuye al inventario del estado de las comunidades vegetales permitiendo un adecuado manejo de las reservas naturales, realizar levantamientos cartográficos de la vegetación natural, evaluar la estructura de los bosques e identificación de especies arbóreas, monitorear la biodiversidad de un área de interés [25].
- d) *Medio Ambiente*: permite estimar el almacenamiento de carbono forestal, registrar en áreas repobladas la evolución de la vegetación posterior a un incendio, llevar a cabo el seguimiento de flora y fauna en peligro de extinción, detectar cambios en la cobertura y uso del suelo, además de contribuir de forma activa en combatir la contaminación [25].
- e) *Obras civiles*: hacer mediciones topográficas en lugares de difícil acceso, comprobar el estado de edificios, monumentos y otras estructuras.

Diferentes estudios demuestran que el uso de UAV se está expandiendo rápidamente y se espera que revolucione la teledetección para las ciencias naturales. En este estudio se evaluó un octocóptero UAV y un UAV de ala fija, dos de las primeras plataformas autorizadas para operar en EE. UU. por la Administración Federal de Aviación (FAA) [26].

Las plataformas UAV brindan una oportunidad única para adquirir imágenes de bajo costo en finas resoluciones espaciales y temporales, desde escalas locales a regionales, evitando complicaciones asociadas con otras plataformas, como logística de vuelo de aviones, tiempos de retorno de satélites, cobertura de nubes y efectos atmosféricos en las imágenes [26].

1.4.5 Software para procesamiento de fotogrametría con VANTs

Existen en el mercado una serie de programas de fotogrametría disponibles y su aplicación varía en función de los resultados que se desean obtener y aunque cada software tiene propiedades diferentes, todos siguen un similar flujo de trabajo para el procesamiento de la información [27]. Para el desarrollo del proyecto planteado en este documento se empleara el software Agisoft PhotoScan, este es un programa informático que permite procesar imágenes digitales que por medio de la combinación de técnicas de fotogrametría digital permite obtener una reconstrucción en 3D del entorno [28].

1.4.6. Marco Legal en el Ecuador

El 4 de noviembre del 2020 la Dirección General de Aviación Civil emitió el Reglamento de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs) el cual está dividido por cinco capítulos: generalidades, las reglas de vuelo y operación general, autorización técnica operación de RPAS en trabajos aéreos, autorización especial de vuelo de una RPA y la autorización de operador RPA [29].

Aplica a las aeronaves cuyo peso máximo de despegue sea superior a 0,25 kilogramos y menor o igual a 150 kilogramos por lo que los propietarios están obligados a registrar el UAV y contar con un seguro que dependerá del peso del dispositivo.

Uno de los puntos más importantes de este reglamento es que el operador deberá ser mayor de edad y contar con una autorización que tendrá una vigencia de 24 meses [29]. En el anexo tres se puede observar el reglamento y las consideraciones a tomar en cuenta para la autorización de operador de RPA.

2. METODOLOGÍA

2.1 Localización de la zona de estudio

2.1.1 Ubicación.

La ciudad de Santo Domingo de los Colorados, es sensiblemente plana (90%), con una cota en la parte central que oscila entre 550 y 553 msnm. Geográficamente está ubicada en las siguientes coordenadas: Longitud: 78°40' a 79°50' de longitud oeste y Latitud: 0°40' latitud norte a 1°0'5" de latitud sur [30].

2.1.2 Extensión y límites.

De acuerdo con el PDOT [30], la ciudad tiene una dimensión de 3.453,848 Km², en este sector geográfico convergen las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas, Los Ríos y Cotopaxi. Los límites cantonales son:

- **Norte:** Cantones Pedro Vicente Maldonado, Puerto Quito, San Miguel de los Bancos (Provincia de Pichincha) y Cantón La Concordia (Provincia de los Tsáchilas).
- **Sur:** Buena Fe y Cantones Valencia (Provincia de Los Ríos).
- **Este:** Cantones Mejía y Quito DM (Provincia de Pichincha), y Cantones: La Maná y Sigchos (Provincia de Cotopaxi).
- **Oeste:** Cantón El Carmen (Provincia de Manabí).

2.1.3 Topografía.

Santo Domingo registra altitudes que oscilan entre los 120 msnm en la zona occidental hasta los 3020 msnm en el sector de Chiriboga. La localidad presenta relieve irregular, mesetas y colinas bajas [30].

- **Edafología.**

Registra suelos de fuente volcánica, los cuales se diferencian por sus características físico-químicas dependiendo de las formas fisiográficas presentes, textura, profundidad, permeabilidad, pedregosidad, edad de formación y ubicación geográfica [30].

- **Clima.**

La temperatura media fluctúa entre 18° C y 26° C, la precipitación anual en la parte adyacente a la cordillera es de 2.280 mm y de 3.150 mm en las partes bajas. Presenta un clima tropical húmedo con temperaturas altas en invierno (diciembre a mayo) y bajas en verano (julio a diciembre) [30].

De enero a abril van los meses de máximas lluvias, mientras que los de menor lluvia son entre julio y agosto. El cantón Santo Domingo tiene una media de 287 días de precipitaciones que corresponden a 9,4 meses [30].

2.1.4 Riesgos y amenazas

En la dirección NW-SE se presenta una falla geológica que recorre a lo largo del Río Toachi. Actualmente, cubierta por los depósitos de este río; así como, zonas de derrumbe antiguos y escarpes erosionables, lo cual podría revelar cierta inestabilidad del lugar a escala regional. Lo que determina inseguridad en la construcción de obras civiles, debido a la falla geológica; y la caracterización de los materiales adyacentes [30].

La zona presenta áreas con alto riesgo de inundación desbordantes e intempestivas, principalmente en los valles de los Ríos Búa y Baba (Julio Moreno y San Gabriel del Baba), Toachi (Alluriquín) y Brasilia del Toachi Blanco (Valle Hermoso), donde se establece una franja de protección de 50 metros alrededor de los mismos, exigida por la normativa ecuatoriana [30].

2.2. Equipos y Materiales

Tabla 1. Materiales e insumos utilizados

Equipos	Insumos
RPAS FV8 Topodron	Clavos de acero
Cámara Sony α6000	Estacas
Sistema GNSS Integrado Trimble R8s	Cal
Controlador Trimble TSC 7	Spray blanco y rojo
Sistema GNSS SOKKIA 2700 ISX	Martillo
Estación total Sokkia Fx-105	Flexómetro
Trípode de Aluminio	
Bastón de aplomar	
Prisma sencillo basculante metálico	

2.2.1 RPAS FV8 Topodron

El RPAS FV8 es un dispositivo multirrotor de fabricación europea diseñado para mapeo y topografía con navegación por GPS y GLONASS y un canal de comunicación de largo alcance. Tiene un peso de 4000g y es capaz de mapear 50 ha con un pack de baterías con una autonomía de vuelo de 35 minutos máximo [31]. Posee una cámara Sony α6000 de 24.3 MP con obturador electrónico y 11 fotogramas por segundo [32]. Las especificaciones técnicas del dron y la cámara empleadas para la ejecución de este proyecto se encuentran detalladas en el Anexo (II).

2.2.2 Sistema GNSS Integrado Trimble R8s

El receptor Trimble R8s GNSS permite obtener mediciones GNSS estática de alta precisión con un error medio cuadrático (RMS) de 3mm + 1ppm en horizontal y vertical 3.5mm+ 0,4 ppm en la vertical. Para el método cinemático en tiempo real (RTK) se obtiene 8mm + 1ppm de RMS en la horizontal y vertical 15mm + 1 ppm [33] .

2.3 Planificación del Proyecto

Primero para conocer el área del proyecto se realizó una reunión previa con los dirigentes del barrio. A continuación, se determinaron las dimensiones del área de vuelo y posteriormente se realizó la socialización del proyecto con la colaboración de la dirección de planificación y proyectos del Municipio de Santo Domingo para que los estudios a realizarse puedan ser aceptados y validados para futuros proyectos que beneficien a la comunidad.

Después de ser aceptado el proyecto de manera positiva se solicitó la monografía de punto Geodésico para la georreferenciación del levantamiento Aerofotogramétrico. Al mismo tiempo se recopiló información del lugar y su accesibilidad para la colocación de puntos de control, se consideró también las condiciones climáticas de la zona y el nivel de seguridad social con el fin de salvaguardar la integridad de los participantes del proyecto.



Figura1. Socialización del proyecto en la dirección de Planificación y Proyectos de Santo Domingo de los Tsáchilas
Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

2.3.1 Zona de vuelo del RPAS

El área de estudio comprende el barrio El Recreo, perteneciente a la Cooperativa Asistencial Municipal uno, de aproximadamente 8 hectáreas de extensión. Sin embargo, se realizó el vuelo a un área mayor a la establecida (14 ha) con el fin de obtener detalles

como quebradas y pozos de alcantarillado por el cual se puede empatar el proyecto de estudio.

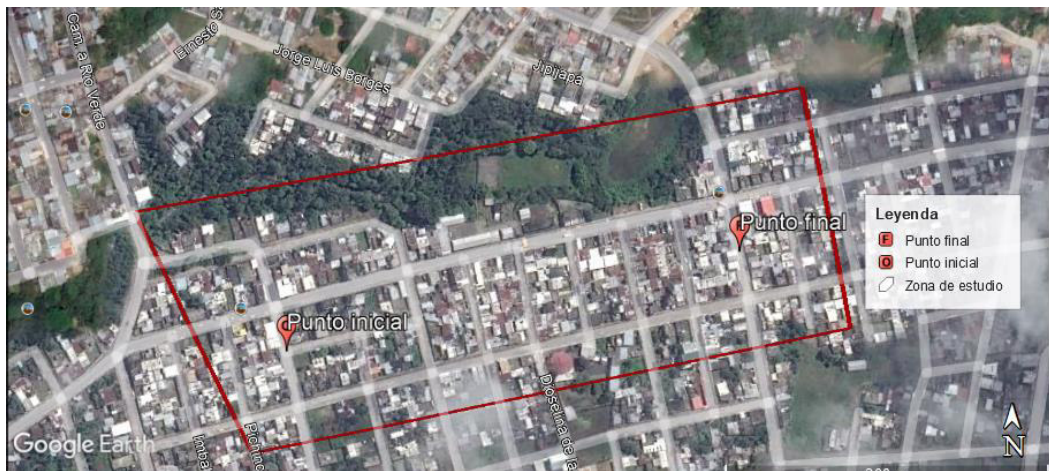


Figura 2. Barrio El Recreo-Cooperativa Asistencia Municipal Uno [34]
Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

En el mapa de la Figura 3 se observa los límites del proyecto los mismos que se encuentran delimitados por las siguientes calles:

- Norte: Tungurahua y Catacocha
- Este: Camino Río verde
- Sur: Calle Alamor
- Oeste: José Martí

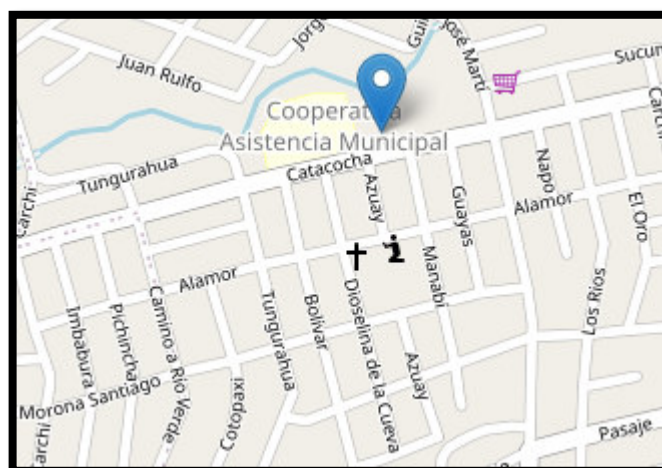


Figura 3. Calle de interés [35]
Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

2.3.2 Planificación del vuelo

Esta etapa se realizó en gabinete por lo que se identificó mediante el software Google Earth Pro las dimensiones del vuelo del RPAS y mediante la inspección del terreno se determinó que la topografía del mismo es relativamente plana, además que en la zona norte se observó una quebrada a la cual se vierten las aguas residuales de las casas cercanas al barrio y también se visualizó una gran cantidad de antenas de telefonía móvil, esta inspección ayudó en la determinación de la posible localización de los GCP.

A continuación, se hizo un reconocimiento de las calles, su accesibilidad y la seguridad del barrio para el pilotaje del dron, concluyendo así que el sector se encuentra en una zona insegura por lo que es necesario contar con personal extra para el cuidado de los equipos.

Finalmente se analizó las condiciones atmosféricas de la zona obteniendo que estas son muy variables debido a su clima tropical húmedo, específicamente en el período del 2 de diciembre al 24 de mayo donde existe una probabilidad del 45% de lluvia [36] por lo que se debe considerar volar el dron antes de una precipitación inesperada, se evaluó también la presencia de fuertes vientos en la zona que pudiesen afectar la ejecución de vuelo dificultando la obtención de imágenes de buena calidad.

2.3.3 Distribución de Puntos de Control Terrestre (GCP)

Los Puntos de Control Terrestre o Ground Control Point (GCP) son puntos de referencia levantados con equipos topográficos mediante métodos como RTK que facilitaron el compensar los errores en la medición a causa del movimiento de alta velocidad de la aeronave, postura inestable e inexactitud de los sensores GPS del UAV [37], por esta razón se consideró importante en nuestro proyecto los GCP pues fueron indispensables para la correcta georreferenciación de las imágenes obtenidas con el dron.

Por otra parte, para obtener el ajuste de la escala del modelo el número mínimo de GCP debe ser de tres, dos puntos en X, Y (planimétrico) y uno en Z (altimétrico). Para un levantamiento más preciso y una mejor distribución de puntos debe colocarse 5 puntos con coordenada X,Y,Z uno en cada esquina del bloque (planimétrico-altimétrico) y el quinto en el centro (altimétrico) permitiendo comprobar el basculamiento del modelo y las deformaciones de la imagen [38].

A continuación, y de acuerdo con el IGM (2016) [39] que recomienda una distribución homogénea de los GCP asegurando el perímetro y la parte central para una correcta

aerotriangulación, se procedió a ubicar los puntos de control de manera uniforme asegurando el perímetro y ubicando uno en el medio para mayor precisión altimétrica como se observa en la Figura 4.

Por último, es importante mencionar que se localizaron siete puntos de control para lo cual se empleó estacas y cal en la superficie de tierra y en los sitios con asfaltado se procedió a marcar con spray y clavos de acero. No se utilizó dianas debido a que el sector es inseguro y existía el riesgo de que fueran sustraídas al momento de volar el dron.



Figura 4. Distribución de los GCP [34]
Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

2.3.4 Localización de los puntos de control terrestre

Primero, antes de realizar el vuelo se localizaron dos GCP mediante el método estático el cual se usa para evaluar distancias de más de 20 Kilómetros con alta precisión. En este posicionamiento se visualizan por un periodo diferido dos o más receptores, según la precisión necesaria[40]. Sin embargo, debido a la distancia de la REGME del Carmen se plantó durante hora y media el receptor GNSS.

A continuación la toma de GCP se realizó mediante el protocolo NTRIP (Red de Transporte de datos en formato RTCM a través de un Protocolo de Internet) un servicio gratuito que otorga el IGM del Ecuador [41], por lo que fue necesario el uso de internet a través de datos de una telefonía móvil la cual se conectó a la controladora usando la ficha de estación permanente -REGME (Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador) del Carmen para enlazar el proyecto al Marco Geodésico Nacional.

2.3.5 Programación y ejecución de vuelo

Debido a las características del dron FV8 Topodron Atyges se empleó un receptor GNSS Trimble R8s para georreferenciar el vuelo, de esta manera se obtuvo una posición más precisa de las imágenes que fueron tomadas por el UAV, esta georreferenciación puede ser opcional al momento de volar el UAV. Una vez obtenidos los puntos de control estático se procedió a georreferenciar el vuelo del dron mediante el método RTK.

Para la ejecución de vuelo fue necesario crear un archivo kml desde Google Earth Pro para ser importado en la aplicación Ground Control. Es importante mencionar que la ejecución del vuelo fue realizada por el personal técnico de la Escuela Politécnica Nacional bajo las condiciones técnicas requeridas para el estudio por lo que se realizó dos vuelos bajo los siguientes parámetros:

Vuelo 1

- **Traslape Horizontal(%):80**
- **Traslape lateral (%):75**
- **Altura de vuelo(m):80**
- **Área (ha): 9,2578**
- **Tiempo (min): 22:57**

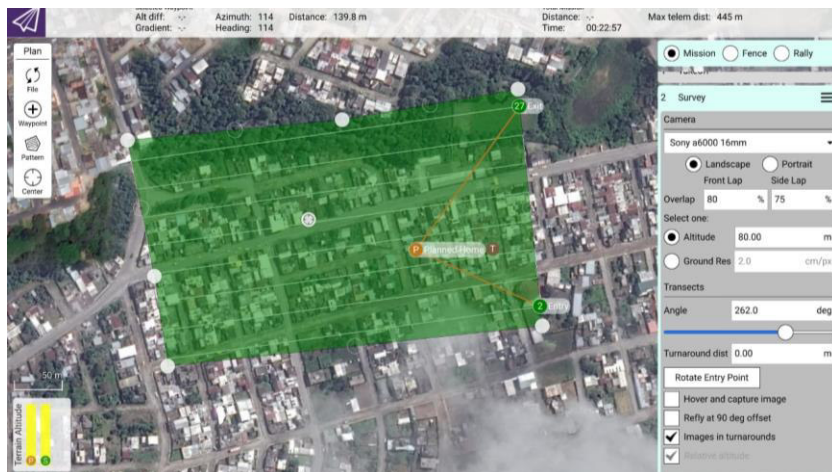


Figura 5. Programación del vuelo 1 [42].
Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

Vuelo 2

- **Traslape Horizontal(%):80**
- **Traslape lateral (%):75**
- **Altura de vuelo(m):80**
- **Área (ha): 9,752**
- **Tiempo (min): 24:17**

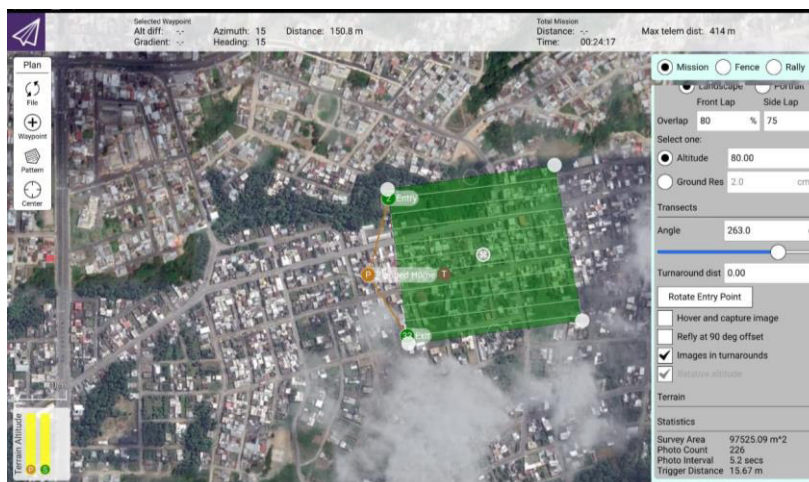


Figura 6. Programación del vuelo 2 [42].
Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

El traslape longitudinal y lateral que se empleó garantiza el recubrimiento estereoscópico del proyecto de acuerdo a las condiciones requeridas por el IGM para la realización de las ortofotos [39]. En total se utilizó un pack de baterías para el área del proyecto, debido al traslape utilizado el tiempo de vuelo fue mayor por lo que solo se lo realizó una vez, además se obtuvo un tamaño de pixel sobre el terreno o GSD (Ground Sample Distance) de 2.0 cm/px que se encuentra dentro de los Estándares Cartográficos Aplicados al Catastro [43]

2.3.5.1 Condiciones atmosféricas

Mediante la aplicación UAV Forecast se verificó la optimización de las condiciones climáticas para el vuelo como se observa en la figura 8. En el primer vuelo nos indicó que el clima del lugar era el adecuado para volar, sin embargo, ya al finalizar el vuelo empezó a precipitar por 15 minutos, por lo que se tuvo que parar las actividades de vuelo, así que se realizó el siguiente vuelo bajo condiciones no tan favorables debido a velocidades de viento relativamente altas.



Figura 7. Condiciones óptimas de vuelo [44]

Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

2.3.5.2 Toma de puntos de control

Finalizado el vuelo se procedió a tomar los GCP mediante el método RTK posicionando el Rover de manera que este aplomada, se espera durante 3 segundos sobre la marca puesta y se guarda la información en la colectora, el mismo proceso se realizó para las 5 marcas restantes como se observa en la siguiente figura.



Figura 8. Toma de GCP mediante RTK

Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

Las Coordenadas obtenidas mediante el método estático y RTK se muestran en la subsecuente tabla 2.

Tabla 2. Coordenadas obtenidas mediante el método estático y RTK

ID	X	Y	Z	Código
1	672286.05	9969943.1	268.205	REGME CARMEN
2	704695.69	9970591.8	576.366	B2
3	704735.14	9970490.8	561.102	ESTÁTICO1
4	704974.27	9970591.9	583.37	PC
5	704999.38	9970501.4	561.806	ESTÁTICO 2
6	704931.28	9970659	569.01	PCAN
7	704513.21	9970488.2	577.257	PEL
8	704864.1	9970433.2	583.043	IGLESIA

Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

Fuente: Trimble Business Center

Debido a la presencia de antenas en el sector fue necesario complementar la toma de GCP mediante el uso de estación total modelo Sokkia Fx-105 y el respectivo prisma para lo cual se consideró dos puntos conocidos con los cuales se empezó la toma de datos, estas coordenadas de referencia fueron facilitadas por el municipio y se los puede observar en el anexo III. La toma de puntos fue realizada con asesoría del topógrafo del municipio.

Tabla 3. Coordenadas obtenidas con estación total Sokkia Fx-105

ID	X	Y	Z	Código
1	704206.079	9970549.144	539.258	ECU 911
2	704390.774	9970888.908	553.989	SD14
3	704589.477	9970959.635	556.228	SD24
4	704696.628	9970590.258	551.423	B2
5	704735.753	9970489.157	557.288	ESTÁTICO 1
6	704975.153	9970589.660	558.371	PC12
7	705000.004	9970499.100	557.986	ESTÁTICO 2
8	704932.414	9970656.981	543.973	PCAN
9	704514.39	9970487.11	552.699	PEL
10	704864.561	9970431.207	558.221	IGLESIA
11	704632.286	9970412.800	553.534	ANT

Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

El levantamiento con estación total duro tres días y la precisión en la toma de datos dependió del operador del equipo y el ayudante, quién tuvo que aplomar bien el bastón con el prisma, de no tener aplomado correctamente puede producir errores en la toma de datos. Al momento de comparar las coordenadas obtenidas en ambos casos se identificó inconsistencias por lo que se procedió a revisar la ficha REGME de donde se referenció el método estático y RTK, esta información se puede observar en el anexo (IV).

A causa de estas inconsistencias se procedió a realizar un nuevo levantamiento de GCP mediante el Sistema GNSS Sokkia GSR 2700 IS para el cual se tomó dos puntos en estático y 5 el método estático relativo estándar el cual se usa para medir distancias superiores de 20 Kilómetros con absoluta precisión (5mm + 1ppm) por lo cual el receptor se plantó durante 30 minutos[45].

Para ejecutar el método estático y estático relativo estándar se plantó la base en el punto de Red Geodésico del GADM Santo Domingo de primer orden (anexo III) facilitado por el Municipio que sirve para estudio de control de niveles en sistema de alcantarillado y malla urbana, luego se ubicó el receptor móvil (Rover) en los puntos de interés durante una hora para el estático y media hora para el estático relativo estándar.

Debido a que de algunos puntos marcados se sustrajeron las estacas y algunos clavos de acero se tomó los GCP en lugares estratégicos que se pueda visualizar en las fotos ya tomadas por el dron, se logró localizar puntos ideales que pueden ser referenciados al momento de procesar las fotos en el software Agisoft PhotoScan.

Culminado el trabajo en campo se procesó los datos mediante el software Spectrum Survey 4.22 de Sokkia que es un programa de posprocesamiento completo que permite todas las fases de las operaciones topográficas con GPS. Es compatible con los métodos de recopilación estático, estático rápido, cinemático y continuo o Stop and Go [46]. El ajuste geodésico se puede apreciar en la figura 6.

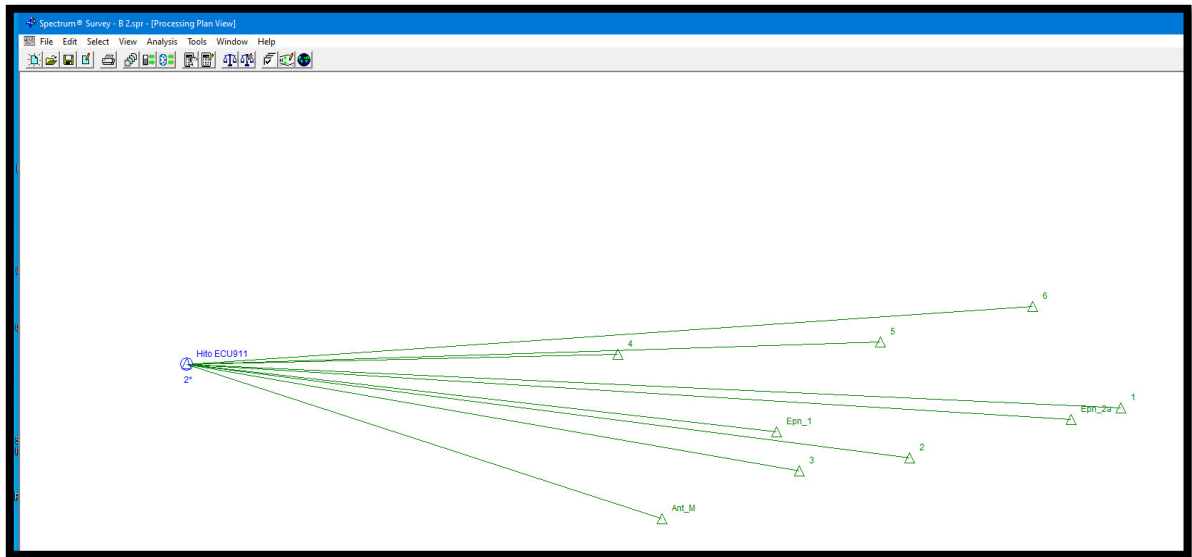


Figura 9. Ajuste geodésico a hito de control ECU 911 [46]
Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

De acuerdo a la confiabilidad de los métodos utilizados y el ajuste al hito de control de primer orden proporcionado por el municipio se usará las coordenadas presentadas en la tabla 4 para el proceso fotogramétrico en el software Agisoft PhotoScan.

Tabla 4. Coordenadas de puntos de control

ID	X	Y	Z	Código
1	704206.0790	9970549.1440	539.2580	ECU 911
2	704736.2500	9970489.7350	555.6980	ESTATICO 1
3	704633.0610	9970413.0890	551.8810	ANT
4	704593.6000	9970558.0720	546.9390	APOT
5	704966.2660	9970600.2620	556.7220	FRI
6	705045.4310	9970510.7050	556.2320	PZ
7	705000.5550	9970500.2460	556.4060	ESTATICO 2
8	704855.9130	9970466.4480	556.8190	IGLESIA

Elaboración: (Caiza Maila, 2022).

Por último, como el estudio del proyecto se centra en el proceso con el software Agisoft, sólo se comparará las coordenadas obtenidas con estación total y las coordenadas transformadas por medio del error posicional y el ECM (Error cuadrático medio).

2.3.6 Procesamiento de datos con el Software AGISOFT PHOTOSCAN

Para la obtención de los productos fotogramétricos se utilizó la versión de prueba del software con el cual se realizó el procesamiento de las imágenes y coordenadas obtenidas del trabajo de campo en las Workstation del CIERHI debido a que estos equipos cuentan con las características necesarias como la RAM (132GB) y tarjeta de video (NVIDIA Quadro K1200) sugeridos por [47].

A fin de obtener las Ortofotos y curvas de nivel, se siguió la secuencia que tiene el flujo de trabajo del software, cabe mencionar que se obtuvieron 430 imágenes que fueron clasificadas de acuerdo al área del proyecto para reducir el tiempo de orientación y generación de nube de puntos densa, de esa clasificación quedaron 375 imágenes. Las imágenes eliminadas no contemplaban el área del proyecto.

Se realizó variantes en los procesos de alta y baja calidad por lo que se trabajó con 365 imágenes y 6 GCP para alta calidad, para baja con 370 imágenes y los 7 puntos de control, tomados ambos para una orientación de 100.000 puntos clave por foto y 50.000 puntos de enlace por foto. A continuación, se resumen los pasos desarrollados en Agisoft PhotoScan, el procedimiento completo se encuentra en el anexo (V).

1. Orientación de fotos
2. Nube de Puntos densa
3. Malla
4. Textura
5. Teselas
6. Modelo Digital de Elevaciones
7. Ortomosaico
8. Modelo Digital de Terreno y Curvas de Nivel

Para la obtención del MDT (Modelo Digital de Terreno) se realizó un procedimiento extra, por lo que se debe crear una copia del proceso. A continuación se recapitula el desarrollo realizado.

- Clasificación de puntos del terreno
- Generación de malla
- Cerrar agujeros y suavizar malla
- Creación del MDT
- Curvas de Nivel
- Ortomosaico

2.3.7 Productos complementarios con el Software AutoCAD y Civil 3D

El perfil longitudinal de la calle Alamor se lo realizará en base a las curvas de nivel y la ortofoto obtenidas en el software Agisoft, dado que el proyecto se enfoca en la generación de las ortofotos y curvas de nivel no se especificara los procedimientos realizados en Autocad y Civil 3D. Los mapas de las Ortofotos fueron realizados en el software ArcGIS.

Para complementar el estudio se realizará el mapa planimétrico del Barrio “El Recreo” para lo cual se requerirá que la Ortofoto tenga una buena calidad pues esto permite visualizar a detalle las divisiones de las calles, veredas, pozos de alcantarillado sanitario y pluvial por lo que se eligió la Ortofoto de máxima calidad para poder representar la planimetría del terreno a escala 1:1000.

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Resultados

3.1.1. Exactitud y error posicional

La exactitud posicional hace mención a “la exactitud de la posición de los datos espaciales en un sistema de referencia, es decir la proximidad entre los valores reportados de las coordenadas correspondientes a valores aceptados como verdaderos” por ejemplo las coordenadas que se tomó con el GNSS Trimble, dicha proximidad entre valores se la determina como error [48].

A causa de la discrepancia entre las coordenadas obtenidas se obtuvieron los siguientes resultados al transformar las coordenadas dadas en RTK adaptadas a las coordenadas de la ficha de la REGME del Carmen.

Tabla 5. Coordenadas del RTK y estático corregidas

CÓDIGO	X	Y	Z	Altura Geoidal	Altura Ortométrica	A.O final
REGME CARMEN	672286.174	9969943.050	268.205	19.297	ECEC CARMEN	2.776
REGME CARMEN (FICHA IGM)	672287.174	9969941.94	284.726	19.297	265.429	265.429
B2	704696.82	9970590.68	576.366	22.314	554.052	551.276
EST1	704736.267	9970489.74	561.102			558.326
PC12	704975.395	9970590.77	583.37	22.314	561.056	558.28
EST 2	705000.509	9970500.29	561.806			559.03
PCAN	704932.405	9970657.86	569.01	22.31	546.7	543.924
PEL	704514.34	9970487.08	577.257	22.28	554.977	552.201
IGLESIA	704865.226	9970432.04	583.043	22.309	560.734	557.958

Elaboración: (Caiza Maila, 2022).

La altura Ortométrica final (H) se la determinó mediante la diferencia de la altura elipsoidal (N) y la geoidal (h)[49], no obstante el código EST 1 y EST 2 ya tenían los valores de altura ortométrica por lo que se le restó la diferencia de la altura ortométrica uno y la nueva calculada. Los valores con asterisco en la columna (N) significa que son altura ortométrica, exceptuando estos valores se realizó la suma de la altura geoidal (h) y se restó 2,776 para obtener la altura ortométrica final.

De acuerdo a la Guía para la evaluación de la exactitud posicional de datos espaciales [48] para calcular el error posicional en cada componente (X,Y,Z) se utilizó la Ecuación 1.

$$e_x = X_{CDE} - X_{CDR} \qquad e_z = Z_{CDE} - Z_{CDR} \qquad e_y = Y_{CDE} - Y_{CDR}$$

e: error

CDR: Conjunto de datos de referencia (datos receptores Trimble)

CDE: Conjunto de datos a evaluar (datos estación)

Tabla 6. Error posicional entre el método estático y RTK vs Estación total.

Código	e _x	e _y	e _z
B2	-0.192	0.422	0.147
EST1	-0.514	0.581	-1.038
PC12	-0.242	1.105	0.091
EST 2	-0.505	1.191	-1.044
PCAN	0.009	0.875	0.049
PEL	0.053	-0.024	0.498
IGLESIA	-0.665	0.837	0.263

Elaboración: (Caiza Maila, 2022).

Las diferencias con el método estático y la estación total son de un metro en Y, y en Z, así también los puntos tomados por RTK tienen un error posicional en centímetro y milímetro, esto genera incertidumbre en la altura y en la latitud por lo que se realizó un nuevo levantamiento de los GCP.

Para estimar la exactitud posicional se utilizó ECM (Error cuadrático medio) o RMSE usado por el NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) mediante la Ecuación 2.

$$ECM = \sqrt{\frac{\sum e_{xi}^2}{n}}$$

Tabla 7. Error Cuadrático Medio

	X	Y	Z
	0.036864	0.178083999	0.021609
	0.264196	0.337560998	1.077444
	0.058564	1.221024997	0.008281
	0.254924	1.418480999	1.0905625
	8.1E-05	0.765624997	0.002401
	0.002809	0.000576	0.248004
	0.4418261	0.700568996	0.0691164
SUMA	1.0592641	4.621920985	2.5174179
ECM	0.3890031	0.812572721	0.5996925

Elaboración: (Caiza Maila, 2022).

El ECM para x, y, z nos arrojan un resultado de 38, 81, 59 centímetros respectivamente, los valores determinados no son aceptables para el tipo de trabajo ejecutado pues el RMS para Catastro urbano debe ser de 0.33 m [50]. Sin embargo, para el cálculo y ajuste del bloque de la aerotriangulación el RMS tanto en planimetría como en altimetría debe ser inferior al GSD [39].

El software Agisoft permite conocer el error propio del programa al momento de colocar los GCP en las imágenes correspondientes al desmarcar las cámaras y optimizarlas observamos en la parte inferior el RMS. Los resultados obtenidos con las coordenadas tomadas por el Sistema GNSS Sokkia IS 2700 en alta y baja calidad se presentan en las figuras 10 y 11.

Nombre	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Total (cm)
agua pot	0.529604	-0.320416	0.562941	0.83669
antena	-0.769145	-1.4339	-0.212742	1.64101
estatico 1	1.47638	0.343913	-0.433385	1.57664
frigor	0.436798	-2.72818	0.0208024	2.76301
iglesia	0.138809	1.15732	0.450669	1.2497
pozo	0.296144	-0.012007	0.230961	0.375751
Total	0.747164	1.35767	0.366711	1.59248

Figura 10. Error Alta Calidad

Nombre	Error X (mm)	Error Y (mm)	Error Z (mm)	Total (mm)
agua pot	-0.00821663	-0.697647	0.0946481	0.704086
antena	-0.949149	0.508462	0.0878879	1.08034
escuela	-2.60633	3.54515	0.553613	4.4348
estatico 1	3.12874	-0.997895	-0.601665	3.33869
frigor	0.740605	-1.66127	-0.516611	1.89082
iglesia	-0.201214	-0.86799	0.0962651	0.896192
pozo	-0.108799	0.178061	0.262604	0.335416
Total	1.60729	1.59705	0.383645	2.29808

Figura 11. Error Baja Calidad

Como resultado de esto se obtuvo un error de 1,59 cm y para baja calidad 2 mm, y un EMC de 1,54 cm y 2,26 mm correspondientemente estos valores nos arrojan el programa y se encuentran dentro del rango permitido para este tipo de trabajo y los futuros productos fotogramétricos esperados.

3.1.2. Productos Fotogramétricos.

MDE (Modelo Digital de Elevaciones)

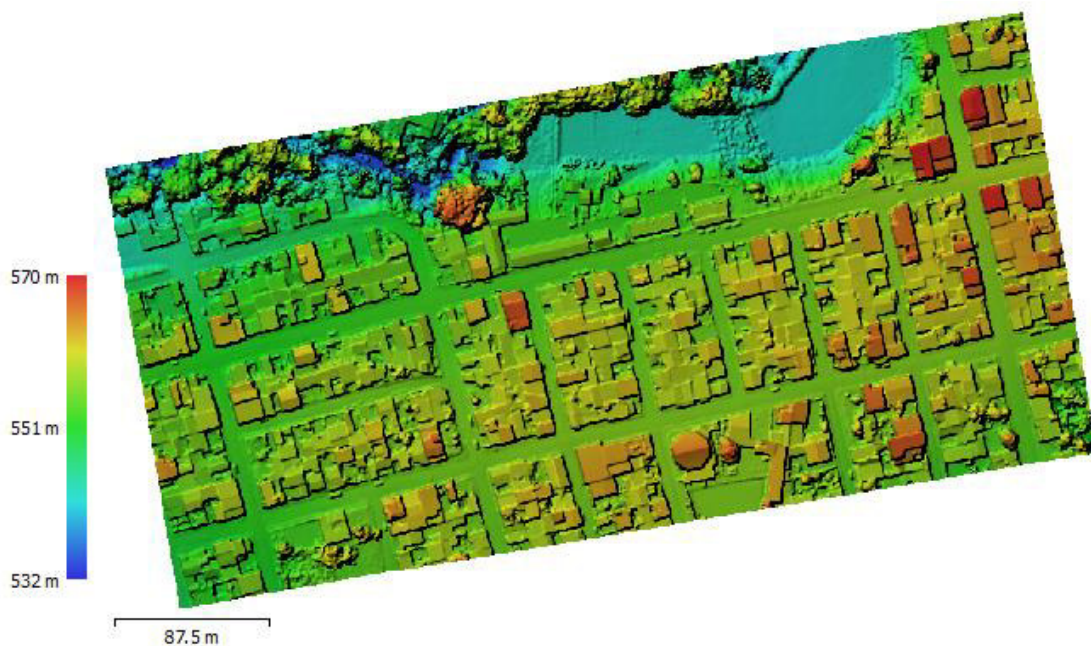


Figura 12. Modelo Digital de Elevación de Alta Calidad

Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

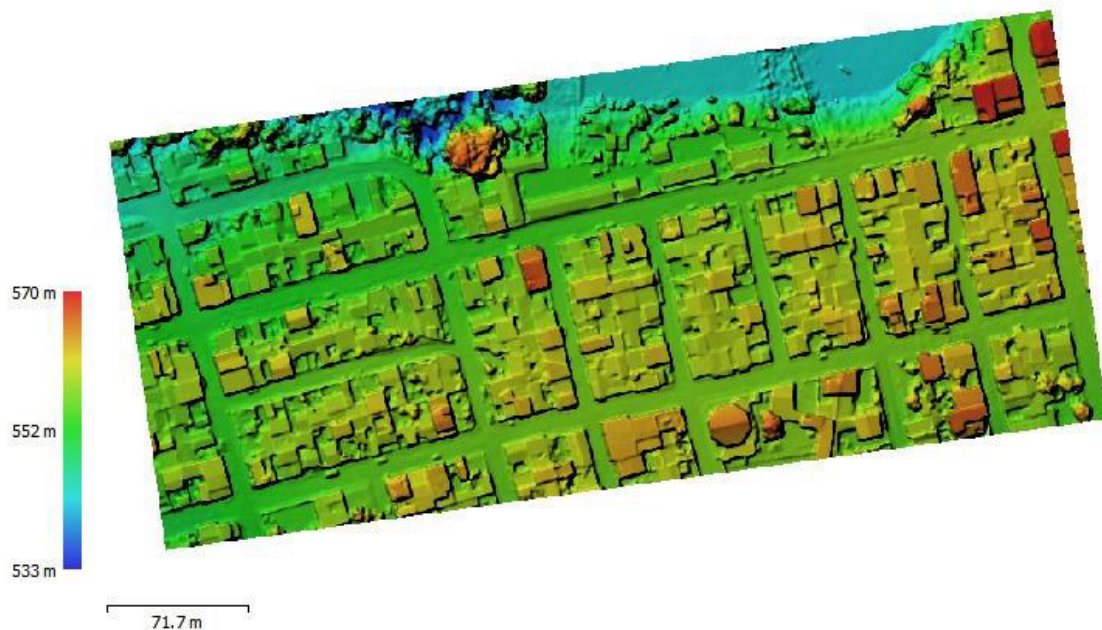


Figura 13. Modelo Digital de Elevación de Baja Calidad

Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

Las elevaciones obtenidas en la figura 12 se encuentran en un intervalo de 532-570m, mientras que en la de baja calidad, figura 13 fue de 533- 570 m esta diferencia de elevación en la parte inferior se debe al redimensionamiento del volumen de trabajo realizado, por otra parte se puede observar que en la figura 12 se abarca más espacio del barranco caracterizado con el color azul, así como también la correcta orientación y solapamiento de las imágenes se observa en el anexo (V) del proceso de malla.

Finalmente, se puede apreciar en ambas imágenes la información tanto planimétrica como altimétrica que contiene el MDE relacionada con: la espesa vegetación del terreno de la quebrada, las elevaciones de las casas que fueron representadas con el color rojo las de mayor elevación, por lo que en los distintos procesos se obtuvo el mismo resultado.

Modelo Digital de Terreno (MDT)

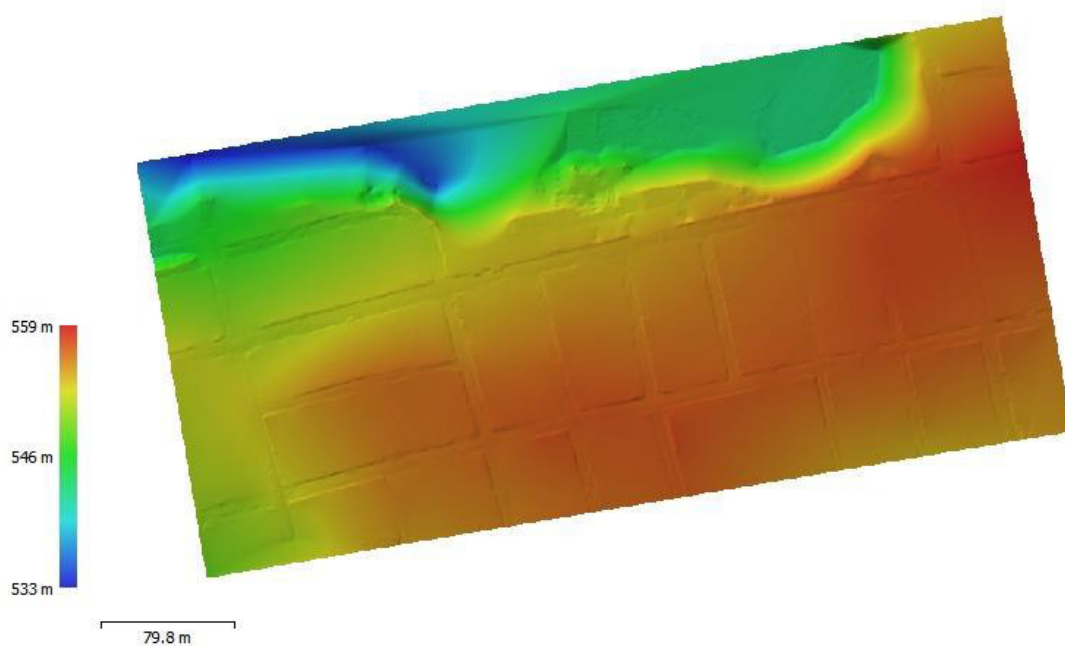


Figura 14. Modelo Digital de Terreno de Alta Calidad

Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

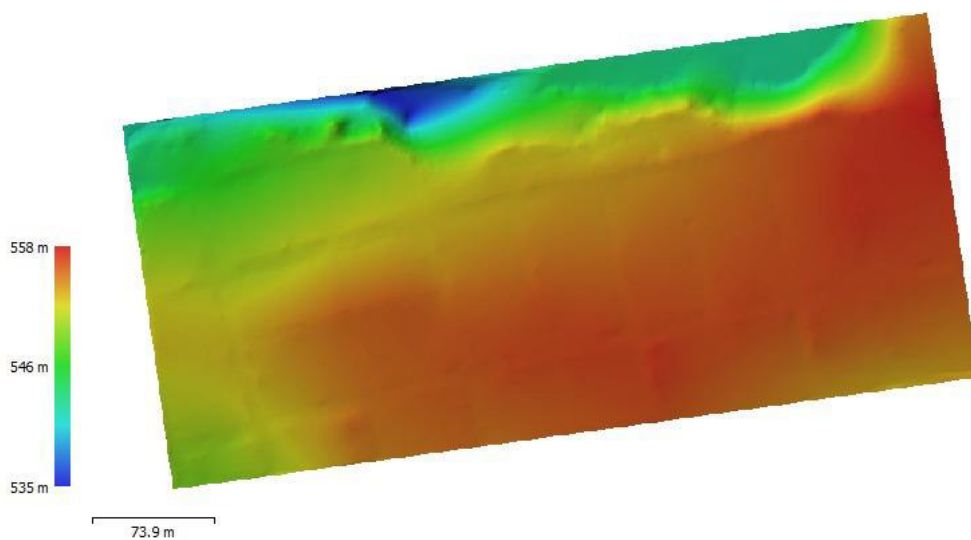


Figura 15. Modelo Digital de Terreno de Baja Calidad

Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

A diferencia del Modelo Digital de Elevación se puede observar en la figura 15 el MDT nos muestra la superficie netamente del terreno sin edificios, casas o vegetación, la información de este modelo es muy importante pues dará paso a la obtención de las curvas de nivel.

El modelo dependió del procesamiento realizado en la clasificación de nube de puntos del terreno este proceso fue exhaustivo y debió ser detallista para borrar toda infraestructura o arbolado que no afecte a la topografía real de terreno. La técnica de borrar la infraestructura tomo un tiempo estimado de dos horas para poder continuar con el proceso de obtener el MDT.

Se puede observar que el valor de la elevación disminuyó en ambas imágenes de 570 m en el MDE a 559 m en el MDT por lo que es un indicador que está tomando los valores reales de la superficie del terreno. Sin embargo, la elevación de la altura inferior incremento respecto al MDE esto se debe a la densa cobertura vegetal del barranco, este valor no afecta a nuestro estudio pues el área de interés es la topografía de las calles.

Ortofotos

En el anexo (VI) se puede observar la ortofoto de alta calidad, en la cual se logra apreciar específicamente el terreno y otros detalles que son necesarios para realizar el perfil longitudinal de la calle Alamor y la planimetría de la zona de estudio. Sin embargo, existieron pocas zonas en que la imagen se torna un poco borrosa, esto se debe a que la cámara tiene un obturador electrónico al momento de programar el vuelo automático este no tomó fotos con extrema calidad.

Además, el fuerte viento en pocas ocasiones desestabilizo el dron al momento de capturar las imágenes como se puede observar en el anexo (VI). Es menester mencionar que se eliminó la menor cantidad de imágenes posibles debido a que esto puede afectar la orientación y el solapamiento de las mismas.

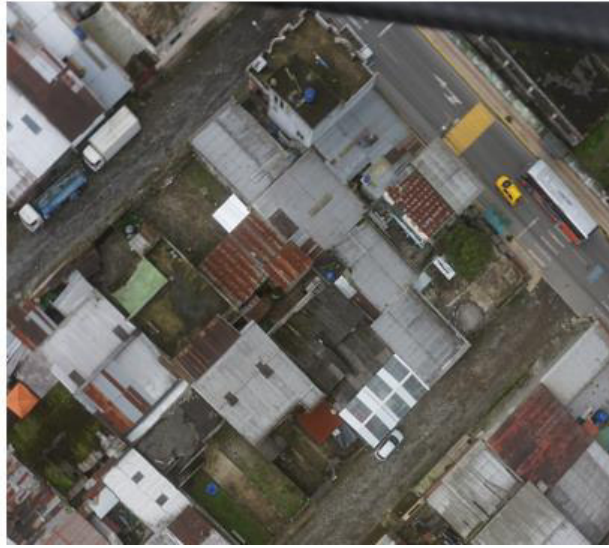


Figura 16. Imagen tomada con el dron FV8 Atyges.

Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

Las Ortofotos obtenidas contienen información que puede ser usada en procesamientos SIG (Sistemas de Información Geográfica) debido a que son imágenes RGB como se puede apreciar en el anexo VI.

Curvas de Nivel

Las curvas de nivel obtenidas en calidad alta y baja presentan similares características en la topografía del terreno, las cuales fueron creadas para tener una equidistancia de un metro como se puede apreciar en la figura 17 y 18.

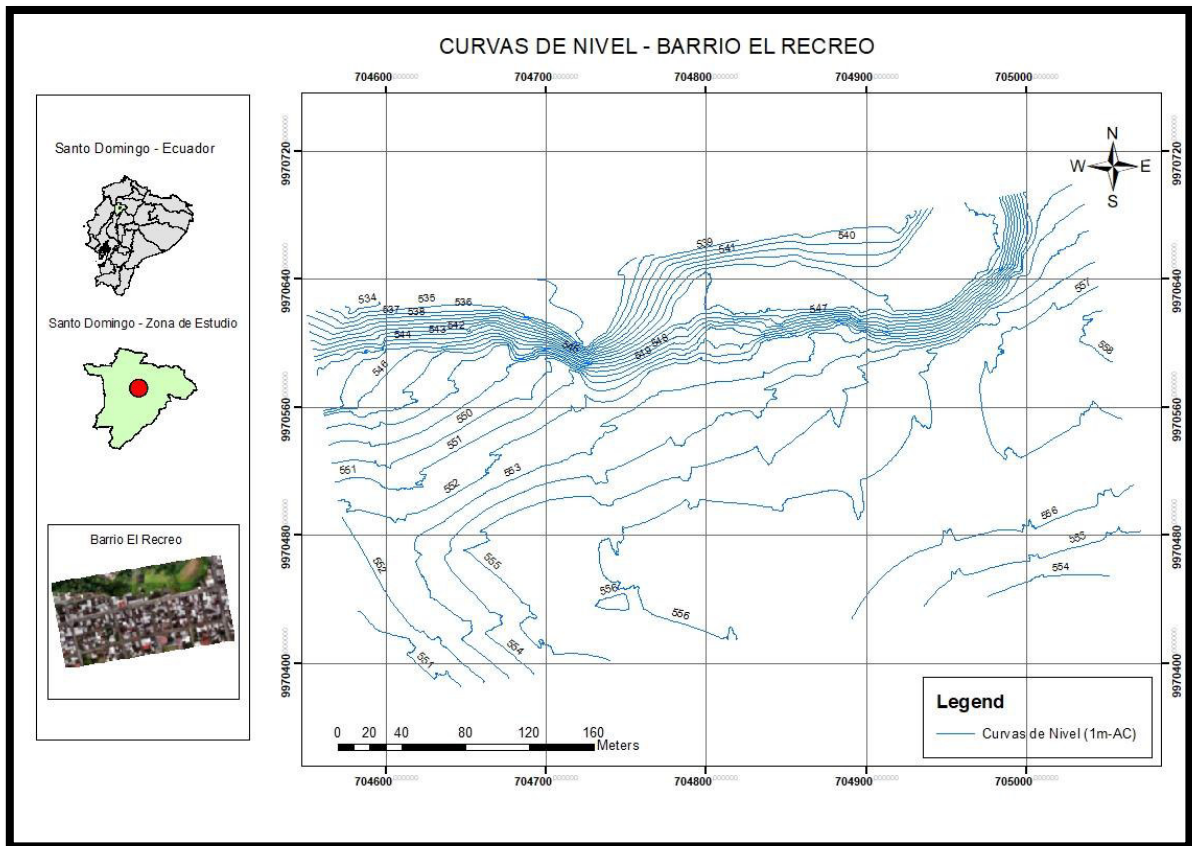


Figura 17. Curvas de nivel de Alta Calidad

Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

El resultado de estas depende del proceso realizado en la clasificación de la nube de puntos pues se generan a partir del MDT como se puede apreciar en las figuras 17 y 18 los resultados son distintos debido al trabajo minucioso realizado en la de baja calidad. Además, los productos obtenidos no son perfectos en las zonas donde existe exuberante vegetación, sin embargo, son los ideales para el trabajo a realizar. Algunos detalles de las curvas de nivel pueden ser corregidos en el software Civil 3D o Arcgis para la obtención del perfil longitudinal.

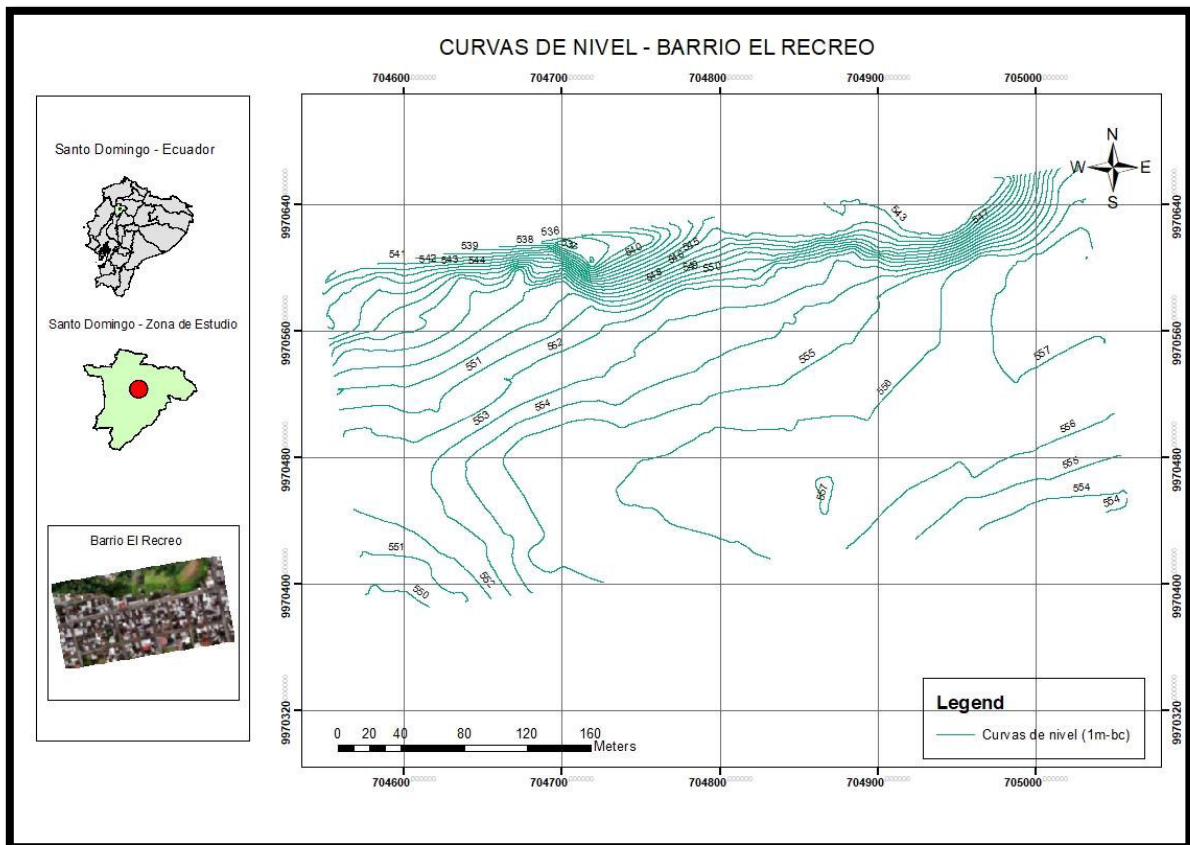


Figura 18. Curvas de nivel de Baja Calidad

Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

Tiempos de procesamiento en el Software Agisoft PhotoScan

El tiempo de procesamiento para obtener los productos fotogramétricos evidentemente fue mayor en el proceso de alta calidad siendo la generación de nube de puntos densa y la clasificación de terreno los procesos con mayor tiempo empleado de 3.29 h y 1.30 h respectivamente. Además, depende mucho de las características del equipo en especial la tarjeta de video y la RAM. Los tiempos específicos para cada parámetro se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Comparación en tiempo de los procesos en Agisoft PhotoScan.

	Alta Calidad	Baja Calidad
Orientación de fotos	1.10	0.18
Nube de Puntos densa	3.29	1.30
Textura	0.17	0.13
Teselas	0.68	0.30
MDE	0.0036	0.0008
Clasificación de puntos de terreno	1.30	2.00
MDT	0.0036	0.0008
Ortomosaico	0.05	0.18
Curvas de nivel	0.03	0.03
Tiempo total (h)	6.63	4.14

Elaboración: (Caiza Maila, 2022)

Productos Obtenidos en el software AutoCAD y Civil 3d

El perfil Longitudinal de la calle Alamor, el mapa topográfico y la planimetría del barrio el Recreo se presentan en los anexos VII, VIII, IX, correspondientemente donde se puede apreciar las características propias del terreno determinando que existe una cota de (552m) en la calle río verde la cual se puede considerar para conectarse al alcantarillado sanitario y pluvial.

3.2. Conclusiones

La planificación del vuelo mediante la recopilación de la información de los equipos a usar (dron, cámara) para la aerofotogrametría nos permite anticipar cualquier inconveniente que pudiese suscitar al momento de ejecutar el vuelo del dron, sin embargo, las especificaciones técnicas citadas del dron multirrotor FV8 topodron PPK del mapeo de 50 ha con una batería, no son aplicables para un levantamiento Aerofotogramétrico en la zona urbana debido a que los traslapes solicitados en las especificaciones técnicas para cartografía del IGM hacen que el tiempo de vuelo del dron para 14 hectáreas sea de aproximadamente una hora por lo que se utilizaron dos baterías.

La toma de los puntos de control mediante el método estático, estático relativo estándar ofrecen precisiones milimétricas y centimétricas al momento de georreferenciar las imágenes en el software Agisoft PhotoScan, a pesar de que el tiempo para la toma de puntos es relativamente extenso en comparación al método tradicional con estación total es menor, pues con el método tradicional se realizó la toma de GCP en tres días, aunque esto depende de la experiencia del operador y su ayudante.

Se determinó que el protocolo NTRIP nos arroja resultados centimétricos en planimetría al realizar las diferencias posicionales del receptor GNSS SOKKIA y el receptor Trimble para el método estático, sin embargo, estos resultados no se presentan en el estudio ya que no se logró verificar los valores de altimetría debido a los errores “groseros” entiéndase por colocar erróneamente los valores de la ficha técnica de la REGME del Carmen en la controladora para realizar la toma de los GCP.

Se logró procesar las imágenes obtenidas del vuelo del UAV de la EPN, no obstante, es necesario el uso de una maquina como mínimo de 16gb de RAM y una tarjeta de video de 4gb para facilitar los procesos realizados en el software Agisoft PhotoScan, de esta manera se reduce considerablemente los tiempos para obtener los productos fotogramétricos de baja y alta calidad. De otra manera, el uso de una maquina convencional queda totalmente obsoleta para la obtención del MDT, Ortofoto y curvas de nivel.

La variación en los parámetros de orientación no afecta significativamente la calidad de los productos fotogramétricos, pues se obtuvo similares resultados en elevación y percepción visual de los modelos digitales de elevación, sin embargo, para la obtención del modelo digital de terreno y curvas de nivel depende mucho del proceso en la clasificación del terreno pues esto generará errores en la generación de las curvas de nivel. No obstante, se obtuvo mejores resultados en el proceso de baja calidad debido a las variaciones realizadas en el proceso con el software.

El uso combinado de la Ortofoto y las curvas de nivel generadas mediante el software Agisoft son de utilidad para la generación de la topografía del terreno de estudio obtenidos de programas como el software Civil 3D, debido a que permite complementar los estudios topográficos a través de la generación de perfiles longitudinales de las calles de interés, y demás productos como mapas a escala, según para el tipo de trabajo solicitado.

Los levantamientos aerofotogramétricos con drones ofrecen buenos resultados en los modelamientos del terreno, logrando obtener la topografía de la zona de estudio de interés, por lo que se debería impartir en clases pues el levantamiento topográfico se realizó a un

menor costo y en corto tiempo, esta técnica es ideal para mapeo en zonas urbanas, debido a la poca o inexistente cobertura vegetal en las calles, por otro lado, la aerofotogrametría con tecnología lidar realizaría un trabajo completo y preciso, sin embargo, sus costos son elevados por lo que su uso es poco accesible.

3.3. Recomendaciones

Obtener un certificado de calibración de los equipos como: la cámara, el sensor, la estación total para que respalden la confiabilidad de los datos que se consigan en futuros proyectos, pues estos pueden mejorar considerablemente los productos esperados, por ejemplo: las ortofotos del proyecto realizado.

Cerciorarse al menos una o dos veces de ser necesario la digitación de coordenadas de referencia al momento de realizar la toma de los puntos de control terrestre, además, al realizar el procesamiento de los datos GNSS en los respectivos softwares se debe especificar qué tipo de altura se requiere en el proyecto, ya que ésta puede ser elipsoidal u ortométrica.

Emplear dianas para marcar los puntos de control el vuelo del UAV, pues esto permite tener mayor precisión y exactitud al momento de georreferenciar las imágenes en Agisoft PhotoScan.

Enmascarar los objetos en movimiento como vehículos, personas, luego o al mismo tiempo de colocar los marcadores en las imágenes o después de realizar el procedimiento, ésta opción se la encuentra en (imágenes – tijeras inteligentes- añadir selección) esto permite obtener una mejor calidad en las Ortofotos quitando los efectos fantasmas producidos por los movimientos.

Acoplarse al reglamento vigente interpuesta por la Dirección General de Aviación Civil como contar con un seguro para el UAV pues su peso supera los 0,25 kg especificados en el reglamento, así también como dotar de capacitaciones al personal de la EPN para que obtengan una licencia de vuelo para el RPAS.

Analizar la posibilidad de adaptar un sensor lidar al dron de la EPN, debido a que el uso de éste permite obtener datos más precisos y detallados del modelo digital de terreno, pues esta técnica de avanzada alcanza una posición óptima del suelo, especialmente para zonas donde existe una densa cobertura vegetal como en la quebrada localizada en la zona de estudio.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IGM, "Especificaciones Técnicas para la producción de cartografía escala 1:5000". 2016.
- [2] IGN, "Obtención de Productos Cartográficos a Partir de Imágenes RPA Escala 1:1000". . 2018.
- [3] F. García, *Curso básico de topografía: planimetría, agrimensura y altimetría*. México: Árbol, 1994, p.1. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/23340466/Curso_Basico_de_Topografia_Fernando_Garcia_Marquez
- [4] Á. Torres y E. Villate, *Topografía*. Tomo 8. Bogotá: Norma, cap. 1, p.1, 1968. [En línea]. Disponible en: <https://oopmufps.files.wordpress.com/2014/08/topograf3ada-torres-y-villate1.pdf>
- [5] C. Galindo, "Fotogrametría Aplicada a la Ingeniería". México, 1970, p.1. [En línea]. Disponible en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/4004>
- [6] P. D. Gonzales, "Aerofotogrametría Inteligente AFI", 2018. p.6-30. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/467656/Libro_Aerofotogrametr_a_Inteligente_AFI.pdf
- [7] E. Quirós, *Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil*, Fotogrametría digital aplicada" Primera. Cáceres, 2014. Cap. 1, secc 7, p. 57-110. [En línea]. Disponible en: https://mascvuex.unex.es/ebooks/sites/mascvuex.unex.es/mascvuex.ebooks/files/files/file/Fotogrametria_9788469713174_0.pdf
- [8] EPMAPA-SD, (2021, noviembre 07) *Empresa Pública Municipal Agua Potable y Alcantarillado Requisitos*. [En línea]. Disponible https://www.epmapasd.gob.ec/?page_id=852.
- [9] L. Jauregui, "Fotogrametría Básica". 2010, cap. 1, p1. [En línea]. Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/fotogrametria-basica-luis-jauregui.html> .
- [10] P. Nevalainen *et al.*, "Estimating the Rut Depth by UAV Photogrammetry", *Remote Sens.*, vol. 9, n.º 12, p. 1279, dic. 2017, doi: 10.3390/rs9121279.
- [11] B. Yang y C. Chen, «Automatic registration of UAV-borne sequent images and LiDAR data», *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 101, pp. 262-274, mar. 2015, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2014.12.025.
- [12] K. G. Nikolakopoulos, K. Soura, I. K. Koukouvelas, y N. G. Argyropoulos, "UAV vs classical aerial photogrammetry for archaeological studies", *J. Archaeol. Sci. Rep.*, vol. 14, pp. 758-773, ago. 2017, doi: 10.1016/j.jasrep.2016.09.004.
- [13] A. B. Cahyono y R. A. Zayd, "Rapid mapping of landslide disaster using UAV-photogrammetry", *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 974, p. 012046, mar. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/974/1/012046.
- [14] L. Wallace, A. Lucieer, y C. S. Watson, "Evaluating Tree Detection and Segmentation Routines on Very High Resolution UAV LiDAR Data", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 52, n.º 12, pp. 7619-7628, dic. 2014, doi: 10.1109/TGRS.2014.2315649.
- [15] R. H. Fraser, I. Olthof, T. C. Lantz, y C. Schmitt, "UAV photogrammetry for mapping vegetation in the low-Arctic", *Arct. Sci.*, vol. 2, n.º 3, pp. 79-102, sep. 2016, doi: 10.1139/as-2016-0008.
- [16] Y. Lin, J. Hyyppä, y A. Jaakkola, «Mini-UAV-Borne LIDAR for Fine-Scale Mapping», *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 8, n.º 3, pp. 426-430, may 2011, doi: 10.1109/LGRS.2010.2079913.
- [17] M. Tuldahl, H. Larsson, G. Tolt, F. Bissmarck, C. Grönwall, y J. Nordlöf, "Application and capabilities of lidar from small UAV", en *Laser Radar Technology and Applications XXI*, may 2016, vol. 9832, pp. 256-270. doi: 10.1117/12.2224258.

- [18] P. R. Wolf y C. D. Ghilani, *Topografía*. México: Alphaomega grupo editor. 2016. Cap 27. pp 789 - 828. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/45601336/Topograf%C3%ADa_Topograf%C3%ADa_Decimocuarta_edici%C3%B3n
- [19] N. Polat y M. Uysal, "An Experimental Analysis of Digital Elevation Models Generated with Lidar Data and UAV Photogrammetry", *J. Indian Soc. Remote Sens.*, vol. 46, n.º 7, pp. 1135-1142, jul. 2018, doi: 10.1007/s12524-018-0760-8.
- [20] F. Neugirg *et al.*, "Erosion processes in calanchi in the Upper Orcia Valley, Southern Tuscany, Italy based on multitemporal high-resolution terrestrial LiDAR and UAV surveys", *Geomorphology*, vol. 269, pp. 8-22, sep. 2016, doi: 10.1016/j.geomorph.2016.06.027.
- [21] R. Adeva, (2021, diciembre 09). "Tipos de drones: Clasificación según su uso y características". [En línea]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/reportajes/drones/tipos-drones/>.
- [22] J. Langhammer y T. Vacková, "Detection and Mapping of the Geomorphic Effects of Flooding Using UAV Photogrammetry", *Pure Appl. Geophys.*, vol. 175, n.º 9, pp. 3223-3245, sep. 2018, doi: 10.1007/s00024-018-1874-1.
- [23] R. M. Mateos *et al.*, «The combined use of PSInSAR and UAV photogrammetry techniques for the analysis of the kinematics of a coastal landslide affecting an urban area (SE Spain)», *Landslides*, vol. 14, n.º 2, pp. 743-754, abr. 2017, doi: 10.1007/s10346-016-0723-5.
- [24] R. G. Herrera *et al.*, «Drones, aplicaciones en ingeniería civil y geociencias.», *Interciencia*, vol. 44, n.º 6, pp. 326-331, 2019.
- [25] R. A. Chisholm, J. Cui, S. K. Y. Lum, y B. M. Chen, «UAV LiDAR for below-canopy forest surveys», *J. Unmanned Veh. Syst.*, vol. 01, n.º 01, pp. 61-68, dic. 2013, doi: 10.1139/juvs-2013-0017.
- [26] T. Sankey, J. Donager, J. McVay, y J. B. Sankey, «UAV lidar and hyperspectral fusion for forest monitoring in the southwestern USA», *Remote Sens. Environ.*, vol. 195, pp. 30-43, jun. 2017, doi: 10.1016/j.rse.2017.04.007.
- [27] A. J. Rossi, H. Rhody, C. Salvaggio, y D. J. Walvoord, «Abstracted workflow framework with a structure from motion application», en *2012 Western New York Image Processing Workshop*, nov. 2012, pp. 9-12. doi: 10.1109/WNYIPW.2012.6466647.
- [28] *GeoBit Consulting SL*, (2022, enero. 05). "Agisoft Metashape". [En línea]. Disponible en: <https://www.geobit.es/producto/agisoft-photoscan-profesional/>
- [29] DGAC, Dirección General de Aviación Civil. (2015). Resolución Nro.251. Operación de los Sistemas de Aeronaves Piloteadas a Distancia RPA o conocidas como drones .Quito, Ecuador, 2015.[Internet]. Disponible en: <https://www.aviacioncivil.gob.ec/ecuador-ya-cuenta-con-un-reglamento-para-el-uso-de-drones/>
- [30] PDOT, *Santo Domingo Documento PDOT*. Santo Domingo, 2015. [En línea]. Disponible en: [https://www.santodomingo.gob.ec/docs/transparencia/2018/05-Mayo/Anexos/s\)/PDOT%202030/PDOT%202030%20SANTO%20DOMINGO.pdf](https://www.santodomingo.gob.ec/docs/transparencia/2018/05-Mayo/Anexos/s)/PDOT%202030/PDOT%202030%20SANTO%20DOMINGO.pdf)
- [31] COTECMI, (2021, diciembre. 05). "Atyges Topodron, cotecmi". [En línea]. Disponible en: <https://www.cotecmi.com/atyges>.
- [32] SONY, (2021, diciembre. 04). "Sony Cámara α6000 con montura E y sensor APS-C, Sony". [En línea]. Disponible en: <https://www.sony.com.ec/electronics/camaras-lentes-intercambiables/ilce-6000-body-kit>
- [33] Geospatial Trimble. (2021, diciembre 06). "Trimble R8s GNSS". [En línea]. Disponible en: <https://www.geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2020-12/Datasheet%20-%20Trimble%20R8s%20GNSS%20-%20Spanish%20Lat%20Amer%20-%20Screen.pdf>
- [34] Softonic International S.A. (2021, diciembre 01). "Google Earth Pro". [En línea]. Disponible en: <https://google-earth-pro.softonic.com/descargar>

- [35] Ubica Ecuador. (2021, diciembre 10). "Ubicación de Santo Domingo de los Colorados". [En línea]. Disponible en: <https://www.ubica.ec/explore/osm/santodomingo/p249599781#!/?reflat=-0.23055&reflng=-79.16939&ref=Santo%20Domingo%20de%20los%20Colorados>
- [36] Weather Spark. (2021, diciembre 10) "El clima en Santo Domingo de los Colorados, el tiempo por mes, temperatura promedio (Ecuador) - Weather Spark", <https://es.weatherspark.com/y/19366/Clima-promedio-en-Santo-Domingo-de-los-Colorados-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>.
- [37] J. W. Park y D. J. Yeom, "Method for establishing ground control points to realize UAV-based precision digital maps of earthwork sites", *J. Asian Archit. Build. Eng.*, vol. 21, n.º 1, pp. 110-119, ene. 2021, doi: 10.1080/13467581.2020.1869023.
- [38] J. A. Pérez Álvarez, " *Apuntes de Fotogrametría III*. Mérida, 2001, cap 6. pp. 123-193. [En línea]. Disponible en: <http://redgeomatca.rediris.es/cartoprofesores/Fotogrametria/ApuntesFotogrametria3.pdf>
- [39] IGM, *Especificaciones Técnicas Para La Producción De Cartografía Básica Escala 1:1 000*, Primera Edición. Ecuador, 2016.
- [40] J. Peñafiel y J. Zayas, "Fundamentos del Sistema GPS y Aplicaciones en la Topografía.", p. 135, 2001.
- [41] IGM. (2021, diciembre 12) "Registro de usuarios para el acceso al servicio NTRIP".[En línea]. Disponible en: <http://www.geoportaligm.gob.ec/ntrip/public/register>
- [42] Ground Control. (2022, enero 12). "Aplicación para vuelo de UAV Atyges FV8 Topodron" [En línea]. Disponible en: <https://play.google.com/store/search?q=GROUND%20CONTROL&c=apps&hl=es&gl=US>
- [43] SNCP y SUNARP, *Estándares Cartográficos Aplicados al Catastro*, Primera. Lima, Perú, 2011. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/41537182/Est%C3%A1ndares_Cartogr%C3%A1ficos_Aplicados_al_Catastro
- [44] UAV Forecast. (2021, diciembre 27). "Weather Forecast" [En línea]. Disponible en: <https://www.uavforecast.com/>
- [45] M. Farjas, "Tema 12: Aplicaciones Topográficas del G.P.S", pp. 35-38, 2006.
- [46] SOKKIA. (2021, noviembre 20) "Spectrum Survey | Suite Software/ Firmware | SOKKIA SINGAPORE". [En línea]. Disponible en: <https://www.sokkia.com.sg/support/spectrum-survey-suite.html>
- [47] Aufiero. (2022, enero 26) "Requerimientos del sistema – Metashape". [En línea]. Disponible en: <https://www.metashape-la.com/comprar/requerimientos-del-sistema/>.
- [48] F.J. Ariza-López, J.L. García-Balboa, J. Rodríguez-Avi, y J. Robledo Ceballos, *Guía para la evaluación de la exactitud Posicional de Datos Espaciales.*, : : Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Montevideo. pp. 16-33, 2018.
- [49] IGAC, "Guía metodológica para la obtención de alturas sobre el nivel medio del mar utilizando el sistema GPS". 1997. pp. 1-2. [En línea]. Disponible en: https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/obtencion_de_alturas.pdf
- [50] MIDUVI, (2020, mayo 12). "Acuerdo Ministerial Nro. 017-20». [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/Acuerdo-Ministerial-No-017-20-Norma-Tecnica-para-Formacion-Acutalizacion-y-Manternimiento-del-Catastro-Urbano-y-Rural.pdf>

5. ANEXOS

ANEXO I. Reglamento de Operación de Aeronaves Piloteadas a Distancia (RPAs)

DIRECCIÓN GENERAL
DE AVIACIÓN CIVIL



Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R

Quito, D.M., 04 de noviembre de 2020

DIRECCIÓN GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL

CONSIDERANDO

Que, la Constitución de la República en el artículo 226 consagra el principio de legalidad o de habilitación legal previa, por el cual: *"Las instituciones del Estado, sus organismos, dependencias, las servidoras o servidores públicos y las personas que actúan en virtud de una potestad estatal ejercerán solamente las competencias y facultades que les sean atribuidas en la Constitución y la ley. [...]"*;

Que, la Constitución de la República en el artículo 394 establece que: *"El Estado garantizará la libertad de transporte [...], aéreo, [...] dentro del territorio nacional, sin privilegios de ninguna naturaleza"*;

Que, la Ley de Aviación Civil en el artículo 5 establece que la *"Dirección General de Aviación Civil es una entidad autónoma de derecho público, con personería jurídica y fondos propios, con sede en el Distrito Metropolitano de Quito"*, y que *"El Director General de Aviación Civil, es la máxima autoridad de la Entidad y será designado por el Presidente de la República, de una terna propuesta por el Consejo Nacional de Aviación Civil"*;

Que, el señor Presidente Constitucional de la República del Ecuador, mediante Decreto Nro. 728 de 29 de abril de 2019, designó al señor Anyelo Patricio Acosta Arroyo como Director General de Aviación Civil;

Que, la Dirección General de Aviación Civil con Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0074-R de 30 de agosto de 2020, aprobó el nuevo Reglamento que norma la **"Operación de Aeronaves Piloteadas a Distancia (RPAs)"**;

Que, el Comité de Normas, en reunión efectuada el 28 de septiembre de 2020, creó un grupo de trabajo, para la revisión de la Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0074-R de 30 de agosto de 2020, que trata sobre Reglamento para la **"Operación de Aeronaves Piloteadas a Distancia (RPAs)"**, a fin de adecuarlo a las necesidades que implica esta materia y se revise la carga regulatoria establecida, y con Memorando Nro. DGAC-SGAC-2020-0559-M de 29 de septiembre de 2020, designó y se conformó el grupo de trabajo para tal efecto;

Que, el grupo de trabajo luego del análisis respectivo, remite al Comité de Normas mediante memorando Nro. DGAC-OGOP-2020-0659-M de 05 de octubre de 2020, su informe con el que considera algunas modificaciones al Reglamento de RPAs y recomienda que *"[...] todos los Apéndices sean retirados del Reglamento por ser éstos, procedimientos propios de cada Gestión para el cumplimiento de la norma, y pueden ser"*

Capítulo E: Autorización de operador RPA.

Art. 35.- Aplicabilidad.

Este capítulo establece los requisitos para emitir una autorización de operador de aeronaves pilotadas a distancia (RPA).

Art. 36.- Requisitos de idoneidad: Generalidades.

Para optar por una autorización de operador de RPA, una persona debe:

- (a) Tener al menos dieciocho (18) años de edad.
- (b) Ser capaz de leer, hablar y entender el idioma español.
- (c) Haber culminado la enseñanza media o equivalente.
- (d) Demostrar de manera aceptable a la AAC, el haber aprobado satisfactoriamente un curso teórico/práctico para operador de RPA, dentro de los últimos veinticuatro (24) meses.

Art. 37.- Emisión de la autorización para operador de RPA.

El solicitante a una autorización de operador de RPA, presentará la documentación de manera prescrita por la ACC.


- (a) La autorización para operador de RPA tendrá una vigencia de 24 meses contados a partir de su emisión.
- (b) La Autorización será suscrita por el Director de Seguridad Operacional.
- (c) En caso de modificación a la autorización del operador deberá notificar a la ACC en el término de 5 días de antelación a la realización de sus actividades.

Art. 38.- Renovación de la autorización de un operador de RPA.

- (a) Para renovar una autorización de un operador de RPA, el solicitante deberá presentar el registro de vuelo que sea aceptable para AAC, que incluya:
 - (1) Haber efectuado operaciones en RPA ejerciendo las funciones de operador de RPA que correspondan, no menos de quince (15) horas de vuelo en los últimos seis (6) meses que preceden a su solicitud.
 - (2) Cuando no se hayan cumplido los requisitos de experiencia reciente indicados en el párrafo anterior, el solicitante deberá haber aprobado satisfactoriamente un curso teórico/práctico para operador de RPA, dentro de los últimos doce (12) meses.

Anexo II. Características y ficha técnica de los equipos

RPAS FV8 Topodron

<p>MARCA: ATYGES</p> <p>MODELO: FV8 TOPODRON PPK</p> <p>TIPO: DRON MULTIROTOR</p>	
<p>CARACTERISTICAS:</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Vehículo Aéreo No Tripulado ✓ Diseñado para aplicaciones de mapeo y topografía <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fabricación Europea ✓ Robusto, compacto, ligero y rápido de instalar <ul style="list-style-type: none"> ✓ Radio de comunicación de largo alcance ✓ Navegación por GPS y GLONASS ✓ Solución escalable con diferentes cámaras opcionales <ul style="list-style-type: none"> ✓ Baterías fácilmente intercambiables ✓ Certificado de fábrica para operación en altura sobre 4.000 m sobre el nivel del mar
<p>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:</p> <p>Modo de despegue y aterrizaje</p> <p>Autonomía de vuelo</p> <p>Rendimiento</p> <p>Opción para otros sensores</p> <p>Velocidad de crucero</p> <p>Altura máxima de vuelo</p> <p>Altura máxima de funcionamiento</p> <p>Indicaciones climáticas de vuelo</p> <p>Sistema de Georreferenciación</p> <p>Capacidad de carga</p> <p>Peso</p>	<p>VTOL (vertical), automático con un botón</p> <p>Hasta 35 minutos en condiciones normales</p> <p>50 ha. Con 1 batería</p> <p>Termal / video HD /multiespectral (adicionales)</p> <p>45 a95 Km / h</p> <p>250 m</p> <p>4500 m.s.n.m.</p> <p>Cielo despejado</p> <p>Sistema PPK</p> <p>Hasta 3500g.</p> <p>4000g</p>
<p>Precisión estimada del Levantamiento después del POST proceso de datos.</p>	<p>2 cm</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ GPS, GLONNAS y BEIDOU, ✓ BAROMETRO

<p>SENSORES INTERNOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ACELERÓMETRO ✓ RADIO COMUNICACIÓN
<p>APLICACIONES</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ TOPOGRAFÍA ✓ CONTROL DE OBRA ✓ ORTOFOTOS DE ALTA RESOLUCIÓN <ul style="list-style-type: none"> ✓ MAPEO ✓ INSPECCIÓN.

MARCA:
SONY

MODELO:
α6000

TIPO:
Con montura E
Con sensor APS-C



CARACTERISTICAS:

- ✓ Sensor de imagen APS-C de 24,3 megapíxeles
- ✓ Motor procesamiento de imagen BIONZ X
 - ✓ Videos Full HD
- ✓ 179 puntos de enfoque automático sobre casi toda la pantalla
- ✓ Captura continua de 11 fps con seguimiento de enfoque automático
 - ✓ El rendimiento de enfoque automático más rápido del mundo
- ✓ Enfoque automático con bloqueo mejorado
 - ✓ Enfoque automático Eye
 - ✓ Modo AF
 - ✓ Botones personalizables
- ✓ True-Finder™ OLED de alta resolución
- ✓ Funcionamiento rápido e intuitivo
- ✓ Pantalla LCD de 3" inclinable
- ✓ Control remoto One-Touch y comparte con One-Touch
- ✓ Interfaz de usuario personalizable
 - ✓ Capture One (para Sony)
- ✓ Imaging Edge™ Remote, Viewer y Edit
 - ✓ Tipo de obturador: Control electrónico, caa vertical, tipo de plano focal
 - ✓ Velocidad de obturación: Fotografías: de 1/4000 a 30 segundos, Bombilla; Videos: de 1/4000 a 1/4 (en pasos de 1/3) hasta 1/60 en modo automático (hasta 1/30 en modo de obturador lento automático)


ESPECIFICACIONES:

Lente	Montura de lente E de Sony	
	Compatible con lentes	
Sensor	Tipo:	APS-C (23.5 x 15.6 mm)
	Nro. Pixeles (EFECTIVOS):	24.3 MP
	Nro. Pixeles (TOTAL):	Aprox.24.7 megapíxeles
	Relación de aspecto del sensor de imagen:	3:02
	Sistema anti polvo:	Revestimiento de protección de carga en el filtro óptico y mecanismo de vibración ultrasónica
Grabación (Imágenes fijas)	Formato de Grabación (Imágenes fijas)	Compatible con JPEG (DCF versión 2.0, Exif ver.2.3 compatible con MPF Baseline)

		RAW (formato RAW 23 de Sony)
	Tamaño de imagen (píxeles), 3:2	G:6000 X 4000 (24m), M: 4240 X 2832 (12m) P: 3008 X 2000 (6.0m)
	Tamaño de imagen (píxeles), 16:9	G:6000 X 3376 (20m), M: 4240 X 2400 (10m) P: 3008 X 1688 (5.1m)
	Tamaño de imagen (píxeles), Barrido PAN.	Gran Angular: Horizontal 12.416 x 1.856 (23M) Vertical 5.536 x 2.160 (12M) Estándar: Horizontal 8192 x 1856 (15M) Vertical 3872 x 2160 (8.4M)
	Modos de calidad de imagen	JPEG estándar JPEG fino RAW RAW y JPEG
Reducción de ruido	Reducción de ruido	Exposición prolongada con reducción de ruido: disponible con velocidades de obturador de más de 1 s, Reducción de ruido de ISO alto: Normal/baja
	Reducción de ruido multiseuencia	Automático / ISO 100 a 51.200
Enfoque	Tipo de enfoque	Enfoque automático híbrido rápido (enfoque automático con detección de fases/AF con detección de contraste)
	Sensor de enfoque	Sensor CMOS Exmor® APS HD
	Tipo	Flash incorporado
	Rango de iluminador AF	Aprox. 0,3 - aprox. 3 m (con lente E PZ 16-50 mm F3,5-5,6 OSS incluida)
Exposición	Tipo de Medición	Medición evaluativa de 1200 zonas
	Sensor de medición	Sensor CMOS Exmor® APS HD
	Sensibilidad de medición	EV0 a EV20 (equivalente a ISO 100 con una lente F2,8 conectada)
	Modo de medición	Multisegmento, Centro ponderado, Puntual
	Modos de exposición	iAUTO, Automático superior, AE programado, Prioridad de apertura, Prioridad de velocidad de obturación, Manual, Video (AE programado / Prioridad de apertura / Prioridad de velocidad de obturación / Manual), Barrido panorámico, Selección de escena


	Selección de escena	Retrato, Deportes y acción, Macro, Paisaje, Puesta de sol, Escena nocturna, Penumbra manual, Retrato nocturno, Modo para evitar el movimiento desenfocado
	Compensación de exposición	+/-5,0 EV (en pasos de 1/3 o 1/2 EV seleccionables)
	Bracketing automático (AE)	Bracketing: Continuo/soporte: Sencillo, con incrementos de 1/3 EV, 1/2 EV, 2/3 EV, 1,0 EV, 2,0 EV y 3,0 EV, 3/5 fotogramas (1,0 EV, 2,0 EV, 3,0 EV: solo 3 fotogramas) seleccionables
	Bloqueo de exposición automática	Bloqueo cuando el botón del disparador está medio presionado. (Automático/activado/desactivado seleccionable)
	Sensibilidad ISO (índice de exposición recomendado)	ISO 100 – 25600
	Maximización MF	Sí (Configuración del nivel: Alto/Medio/Bajo/Desactivado, Color: Blanco/Rojo/Amarillo)

ANEXO III. Puntos de referencia proporcionados por el GAD Municipal de Santo Domingo



Santo Domingo

EMPRESA PÚBLICA DE CONSTRUCCIONES, VIVIENDA Y DE ASEO DE
SANTO DOMINGO EP - CONST





EP-CONST
EMPRESA PÚBLICA

"ESTUDIO DE CONTROL DE NIVELES EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO Y MALLA URBANA"
Monografía de punto Geodésico


PROVINCIA: Santo Domingo de los Tsáchilas	CANTÓN: Santo Domingo	PARROQUIA / SECTOR: Aquerpi	PUNTO: VÉRTICE 03	FECHA: may-21
--	--------------------------	--------------------------------	----------------------	------------------

COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM	
Latitud: 50°15'58.7887"	Longitud: 079°09'54.53147"	Norte: 9970549.144	Este: 704206.079
Datum / Zona: WGS 84 / 17S	Elevación Elipsoidal: 561.806	Altura nivelada: 539.258	Época de Referencia: 2016.436

CROQUIS:

FOTOGRAFÍA PUNTO GPS:



DESCRIPCIÓN:


En Santo Domingo ubicamos las instalaciones del ECU-911, sobre el muro del área verde se encuentra el punto de Red Geodésica.

NOTAS:

- * La elevación está referida a la marca en el centro de la placa de bronce.
- * La altura a Nivel del Mar está calculada con la nivelación de la Jaxa II del contrato.
- * El proceso se lo realizó con la Época de Referencia 2016.436.

INSCRIPCIÓN DE LA PLACA:

RED GEODÉSICA / GADM
SANTO DOMINGO PRIMER
ORDEN VERTICE-03
SE PROHIBE DESTRUIR
OCTUBRE 2020



MATERIALIZACIÓN: PLACA DE BRONCE EMPOTRADA EN NORMIÓN

Modelo IGM tipo:
Dimensiones de placa: radio 5cm, diámetro 10cm.
Tipo:
Hueco:
Modelo sobresale del terreno:

Croquis de detalle:



Fotografia 2:



Croquis de detalle:



Fotografia 2:



base,	9970549.144,	704206.079,	539.258,	base
SD14,	9970888.908,	704390.774,	553.989,	SD14
SD24,	9970959.635,	704589.477,	556.228,	SD24

ANEXO IV. Resultados obtenidos con el receptor GNSS Trimble r8s

Datos del archivo del proyecto		Sistema de coordenadas	
Nombre:		Nombre:	World wide/UTM
Tamaño:		Datum:	WGS 1984
Modificado/a:		Zona:	17 South
Zona horaria:		Geoide:	EGM96 (Global)
Número de referencia:		Datum vertical:	WGS84 UTM 17S EGM96
Descripción:		Obra calibrada:	
Comentario 1:			
Comentario 2:			
Comentario 3:			

Lista de puntos

ID	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)	Código de característica
ECEC	672286,045	9969943,050	268,205	ECEC
Pto 1	704735,138	9970490,848	561,102	
pto 2	704999,380	9970501,401	561,806	via alamor y gua
22/1/2022 9:40:04		Trimble Business Center		

FICHA DE ESTACIÓN PERMANENTE- REGME DEL CARMEN



I N S T I T U T O
Geográfico Militar



Ficha de Estación Permanente - REGME

junio-2020

Situación:

Código.....: ECEC **Cantón:** El Carmen
Nombre.....: El Carmen **Provincia:** Manabí
Código IERS: 42027M001
Instalación...: 18-nov-2012

Localización.: Terraza del edificio principal del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de El Carmen.

Construcción: Pilar de concreto de 2 m de altura. Sobre esta se ubica el centrado forzoso (CF-IGM-v2) en el cual se encuentra la antena.

Coordenadas ITRF2008:

Latitud.....: 0° 16' 18.6411" S **X.....:** 1167629.783 m.
Longitud.....: 79° 27' 6.7357" W **Y.....:** -6270565.740 m.
Altitud elipsoidal: 284.726 m. **Z.....:** -30060.277 m.

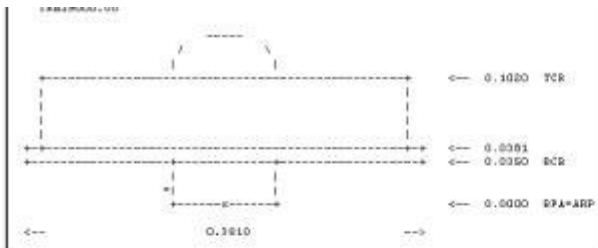
Este UTM.....: 672287.174 m. **Altitud sobre el nivel medio del mar:**
Norte UTM.....: 9969941.940 m.
Zona.....: 17 Sur **Época de referencia:** 2016.4

Instrumentación:

Receptor: TRIMBLE NET R9
Antena: TRM59800.00 **SCIS** **Altura:** 0.0000 m. (BPA)

Esquema antena

TRM59800.00



Información adicional:

Esta estación permanente, además de a la red REGME, pertenece a la siguiente red:
 - Red SIRGAS Sistema de Referencia Geocéntrico para Las Américas:
<http://www.sirgas.org/es/>

Datos diarios crudos a 1 segundo y rinex a 30 segundos:
<http://www.geoportaligm.gov.ec/geodesia/>

Emite correcciones diferenciales a través del Caster:
 Principal: <http://regme-ip.igm.gov.ec:2101>
 Backup: <http://regme-ip.espoch.ec:2101>

E-mail de contacto IGM: proceso.geodesia@geograficomilitar.gov.ec

Coordenadas oficiales hasta el 15 de abril 2016:

ITRF94 - SIRGAS95

Latitud.....: 0° 16' 18.6521" S
Longitud.....: 79° 27' 06.7318" W
Altitud elipsoidal.....: 284.870 m.
Época de referencia.....: 1995.4



Observaciones:

Más información de esta estación permanente:
<ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/DGF/station/ig>

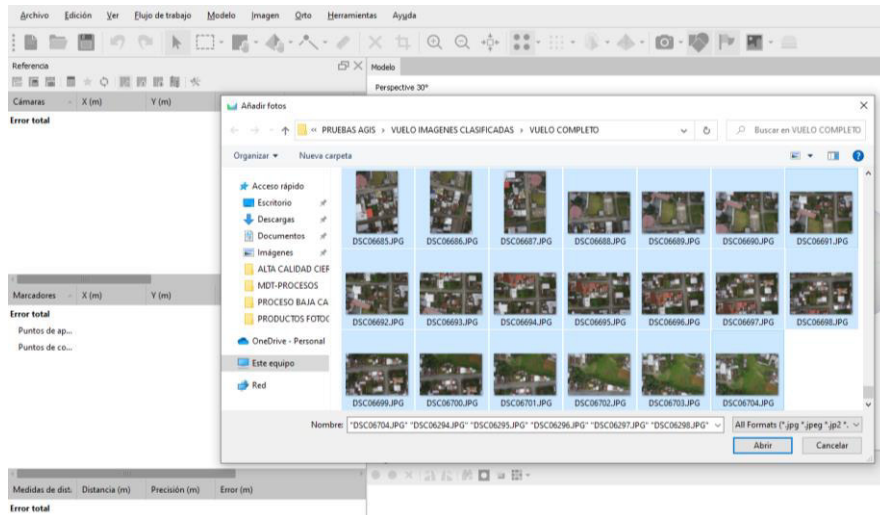
Sensor meteorológico MET4 que proporciona datos: (PR, TD, HR) con un intervalo de 5 minutos
<http://www.geoportaligm.gov.ec/geodesia/>

ma

ANEXO V. Procesamiento con el software Agisoft PhotoScan

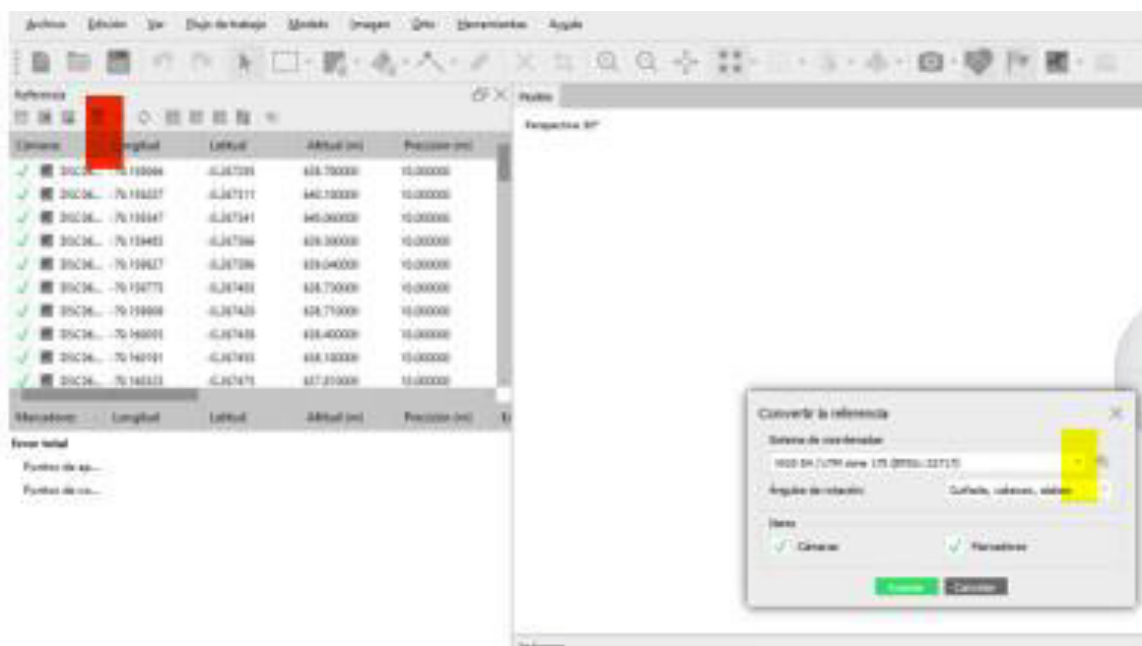
1.-Orientar fotos

Una vez abierto el programa añadimos las fotos (Flujo de trabajo-añadir fotos- Seleccionamos las fotografías de nuestro proyecto – abrir)

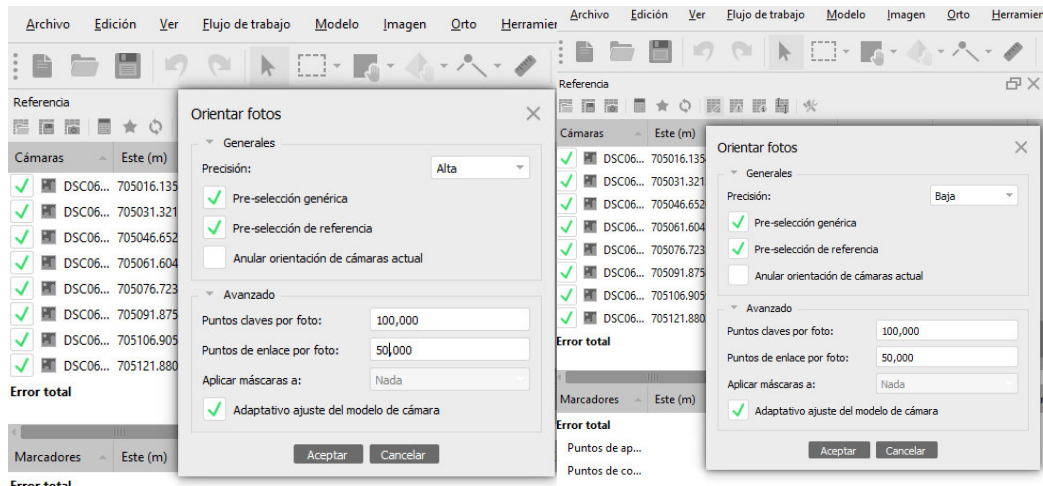


Convertir coordenadas a WGS 84 / UTM 17 S (EPSG:32717) (Clic en convertir coordenadas en la pestaña resaltada con rojo, para convertir las coordenadas damos clic en la primera flecha resaltada con amarillo, seleccionamos nuestro sistema de referencia y damos clic en aceptar)

Observamos que las imágenes aparecen en el Sistema de coordenadas seleccionado.

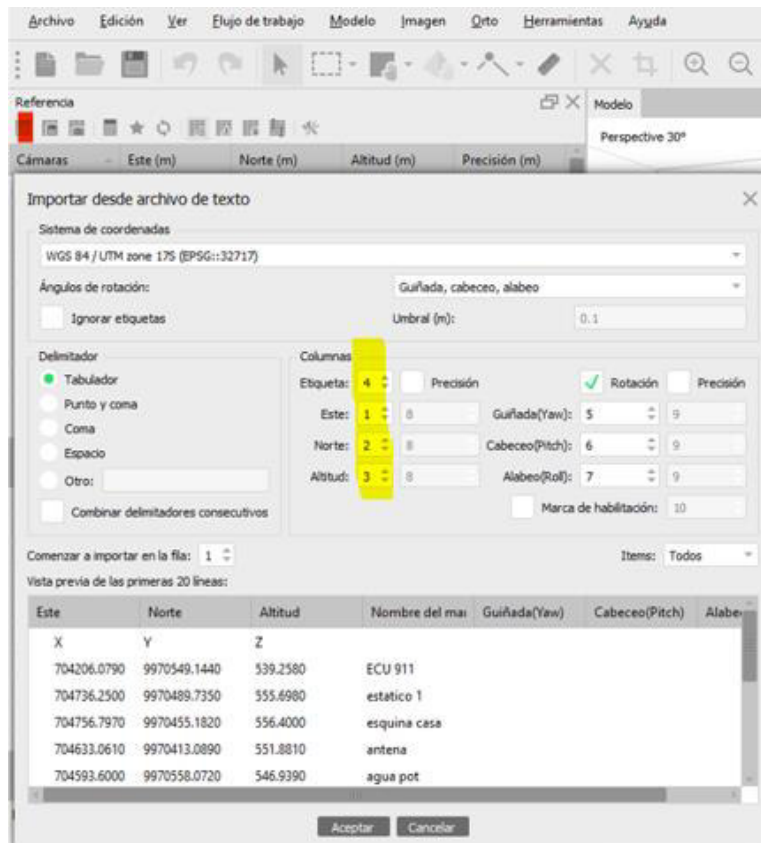


Para orientar las fotos nos ubicamos en (flujo de trabajo- seleccionamos la opción orientar fotos, seleccionamos los valores marcados en la foto para alta calidad y para baja) Para este trabajo se realizó probando con 100.000 puntos claves por foto y 50.000 puntos de enlace por foto con la finalidad de variar los parámetros y comparar resultados

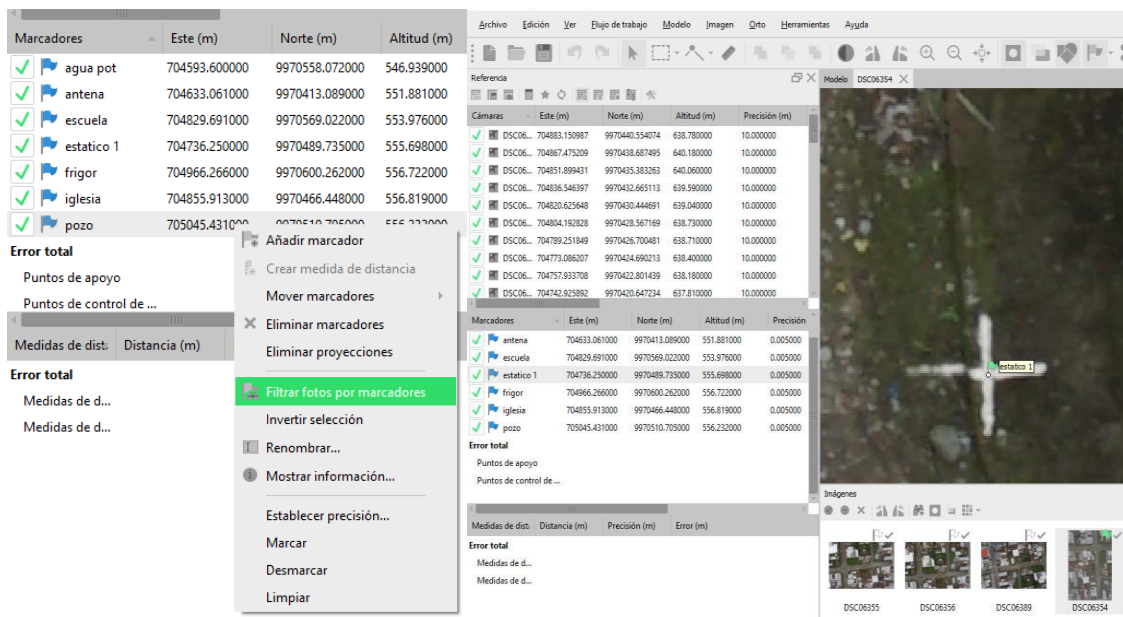


Una vez obtenida la nube de puntos dispersa se procede a insertar los GCP tomados en campo.

(Damos clic en la pestaña importar resaltada con rojo, verificamos el sistema de coordenadas correspondiente y que las coordenadas x, y, z se encuentren en la columna correspondiente de no estar se cambia los números resaltados en amarillo para que coincida x (este), y (norte), x (altitud)). El mismo procedimiento se realiza para alta y baja calidad.



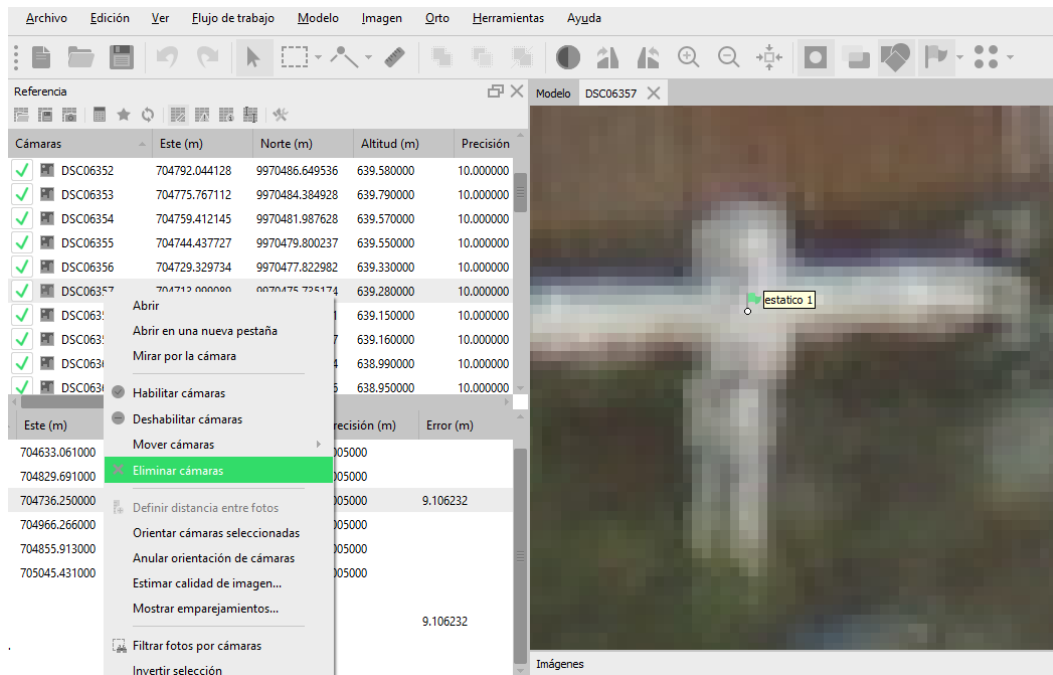
Se procede a colocar los GCP en las imágenes (Clic en el marcador- filtrar fotos por marcadores) en la parte derecha se encuentra las imágenes filtradas por lo que se procede a ubicar el marcador en las marcas realizadas



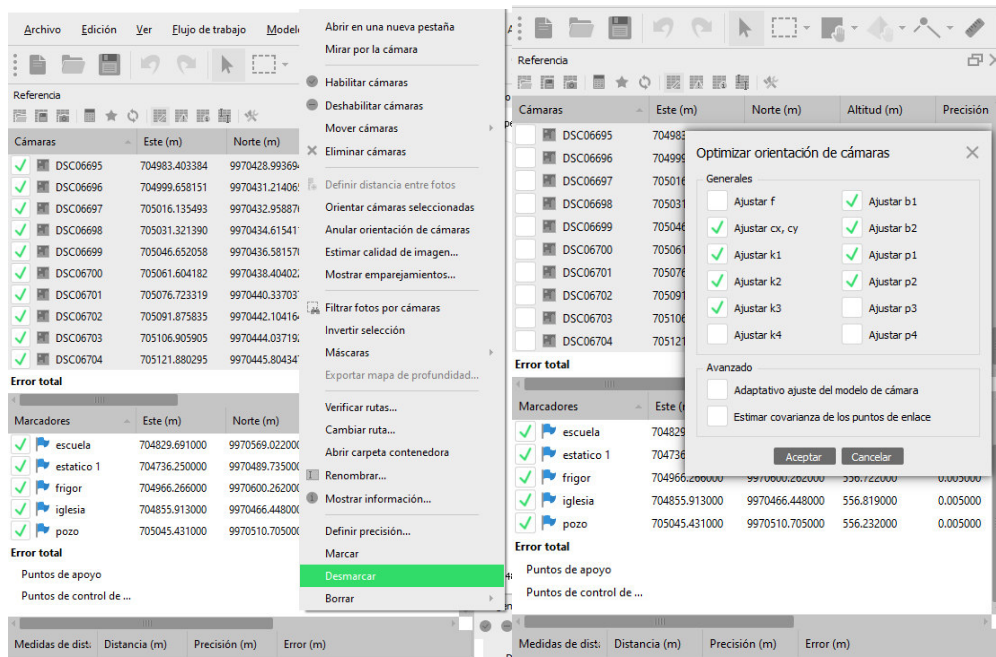
Luego de haber ubicado el GCP lo mas centrado posible de la marca nos aparecerá una bandera verde que indica que ya se encuentra correctamente ubicado, al realizar dos veces

esta selección de manera automática los marcadores se colocan en el punto seleccionado de igual manera se debe marcar hasta que aparezca la bandera verde. Este proceso se realiza para todos los GCP.

En el caso de encontrar imágenes extremadamente borrosas o movidas procedemos a eliminar desde cámaras como se indica en la siguiente figura, esto se realiza debido a que puede afectar a los productos finales del trabajo.

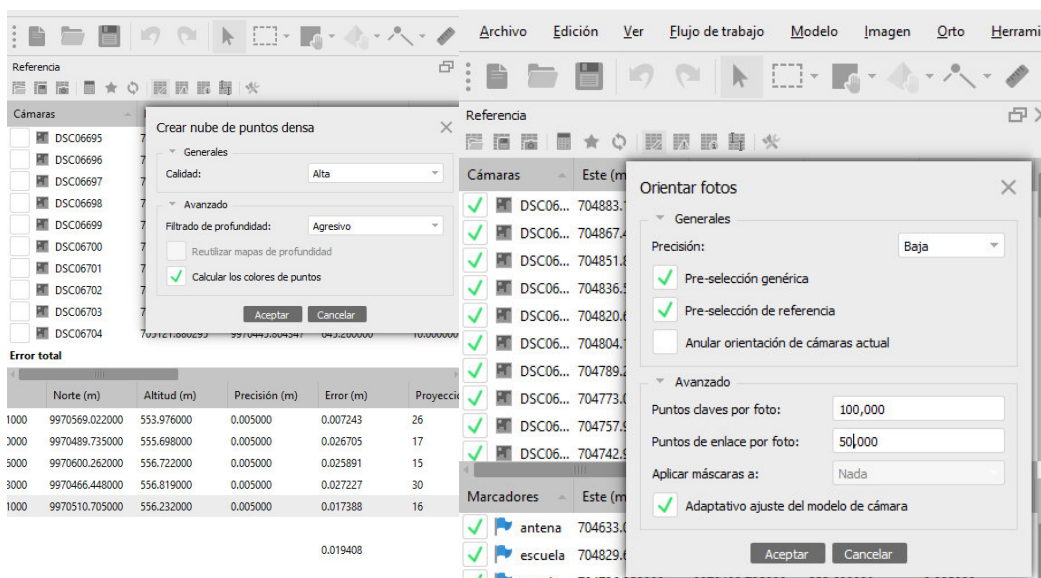


Optimización (Seleccionamos todas las imágenes damos clic derecho y ponemos en desmarcar)

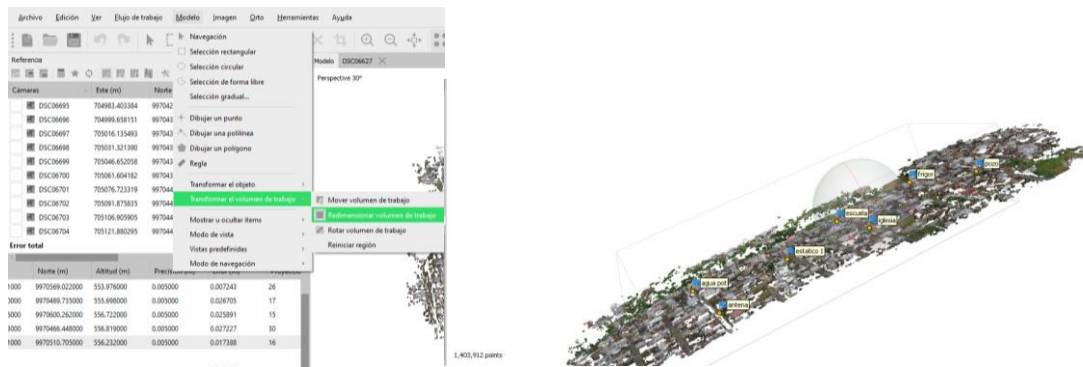


2.- Nube de Puntos densa

Ya optimizado, observamos que tenemos un error de 1 centímetro por lo que procedemos a realizar la nube de puntos densa (Flujo de trabajo- clic en crear nube de puntos densa- seleccionamos calidad alta y filtrado de profundidad agresivo). De la misma manera observamos los parámetros para baja calidad.



Nota: Antes de crear la nube densa de puntos podemos redimensionar el volumen de trabajo para el área específica que necesitemos (Modelo – Transformación de volumen de trabajo – redimensionar volumen de trabajo) de esta manera disminuirá el tiempo de procesamiento en la creación de la nube densa de puntos generando así solo el área de interés.

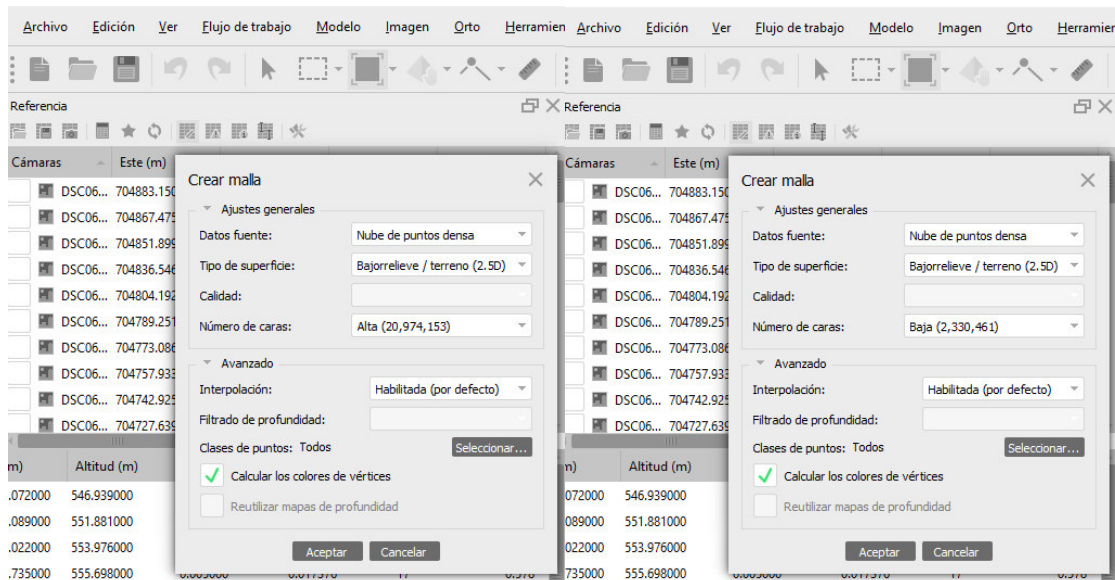


En este paso se procede a guardar el trabajo desde aquí podemos crear el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) o el Modelo Digital de Terreno (MDT)

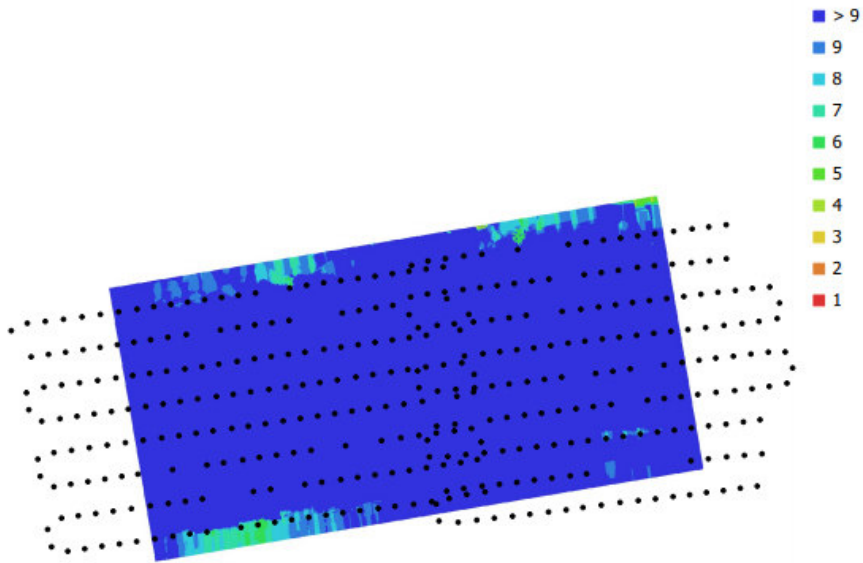
Por lo que procedemos a realizar el MDE creamos la malla.

3.- Malla

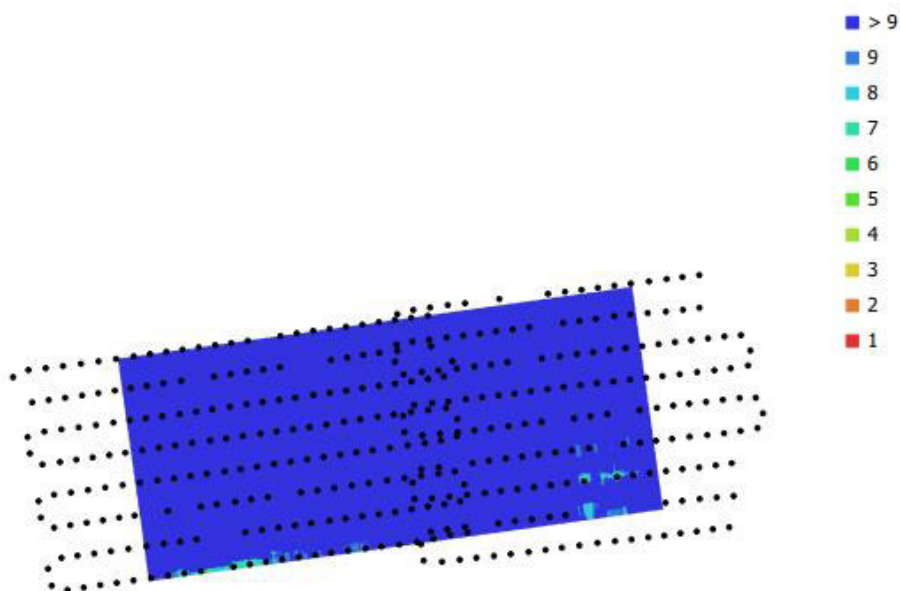
Flujo de trabajo (Damos clic en: Datos fuente: Nube de puntos densa- Tipo de superficie: Bajo relieve- Número de caras: Alta- los demas valores por defecto). Para el caso de baja calidad solo varía en número de caras seleccionar baja.



Al momento de generar la malla se puede observar en estadísticas del proyecto la orientación y solapamiento de las imágenes (Clic herramientas- estadísticas del proyecto)



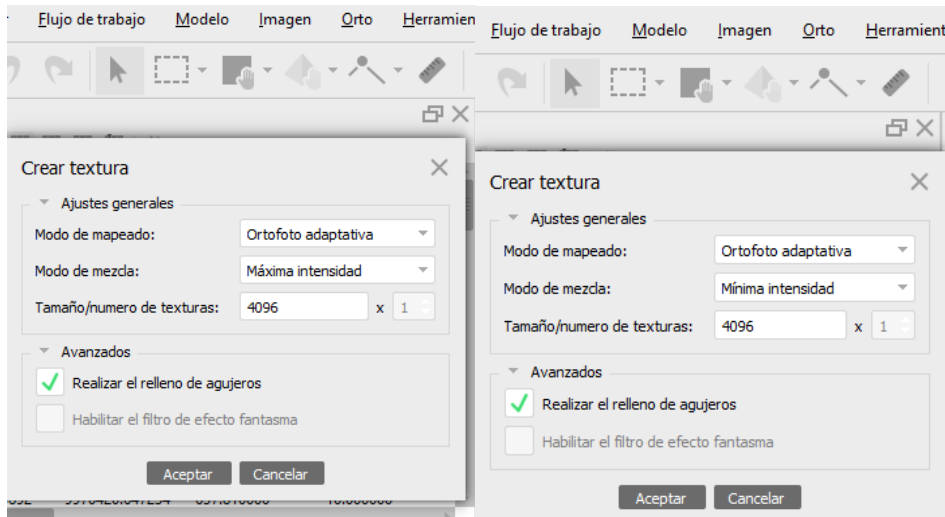
Alta calidad proceso para el MDE



Baja calidad proceso para el MDE

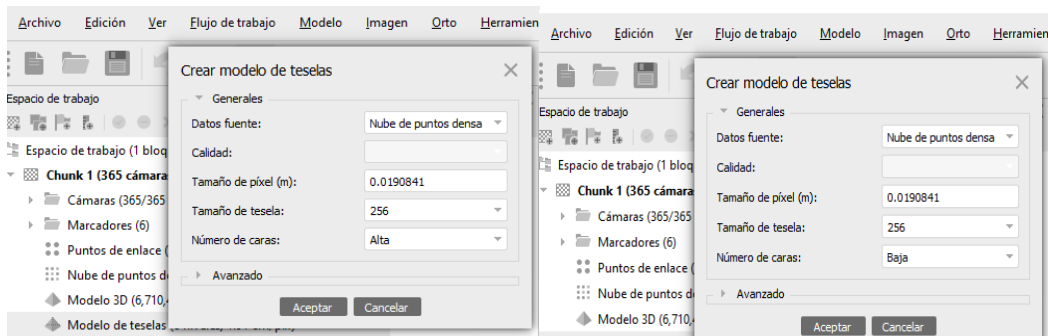
4.-Textura

Una vez obtenida la malla creamos textura (Clic en flujo de trabajo- crear textura- Modo de mapeado ortofoto adaptativa- Modo de mezclado Máxima intensidad y mínima intensidad para el producto en baja calidad)



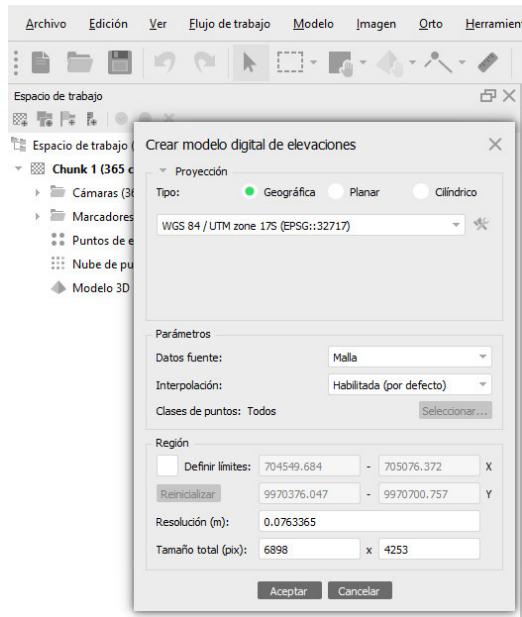
5.-Teselas

Flujo de trabajo- clic en Crear modelo de teselas (Datos fuente: Nube de puntos densa- Número de caras: alta). Para baja calidad en número de caras elegimos baja.



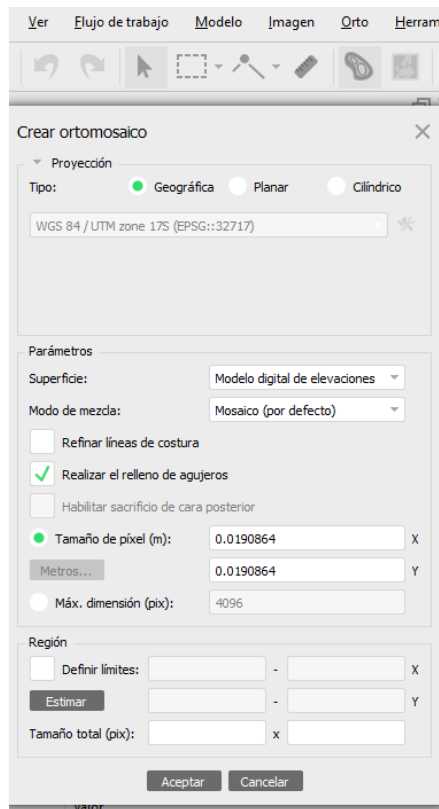
6.- Modelo Digital de Elevaciones

Nos dirigimos a flujo de trabajo damos clic en Modelo Digital de elevaciones, verificamos las coordenadas (Datos fuente: Malla- Interpolación: Habilitada por defecto-aceptar). El mismo proceso se realiza para el MDE en baja calidad.



7.- Ortomosaico

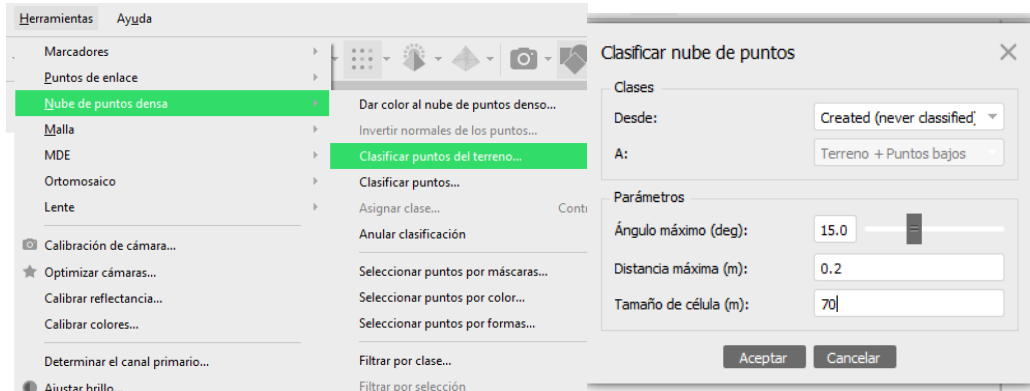
Obtenido el modelo digital de elevaciones nos dirigimos a flujo de trabajo (Crear ortomosaico- Superficie : Modelo digital de elevaciones-Modo de mezcla mosaico por defecto- los demás valores se generan por defecto). El mismo proceso se realizó para obtener el ortomosaico en baja calidad.



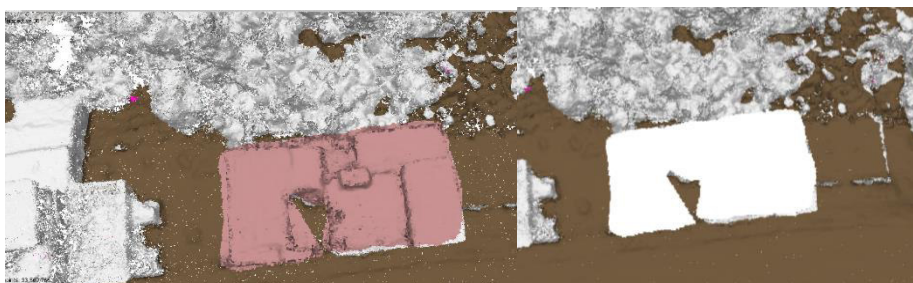
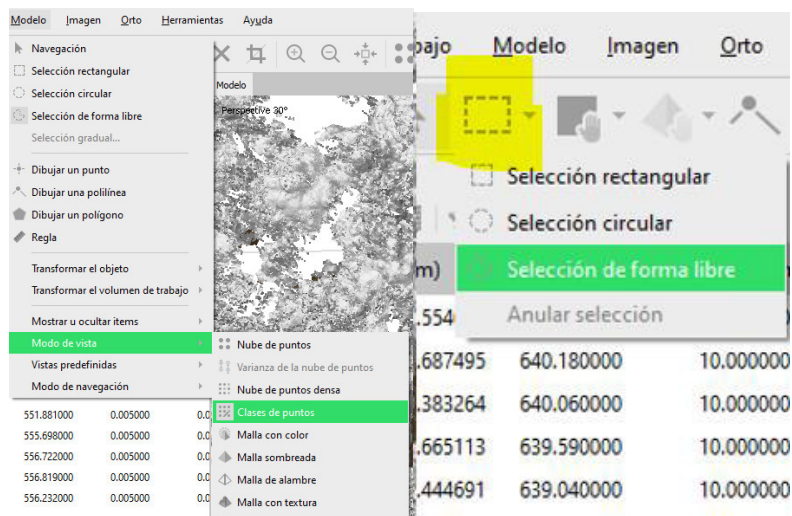
8.- Modelo Digital de Terreno

Finalizando los productos anteriores guardamos el trabajo para proceder obtener el MDT.

Nos dirigimos a Herramientas; Nube de puntos; Clasificar puntos del terreno (Desde: creado nunca clasificado- Ángulo máximo: 15- Distancia máxima: 0.2- Tamaño de célula: 70)



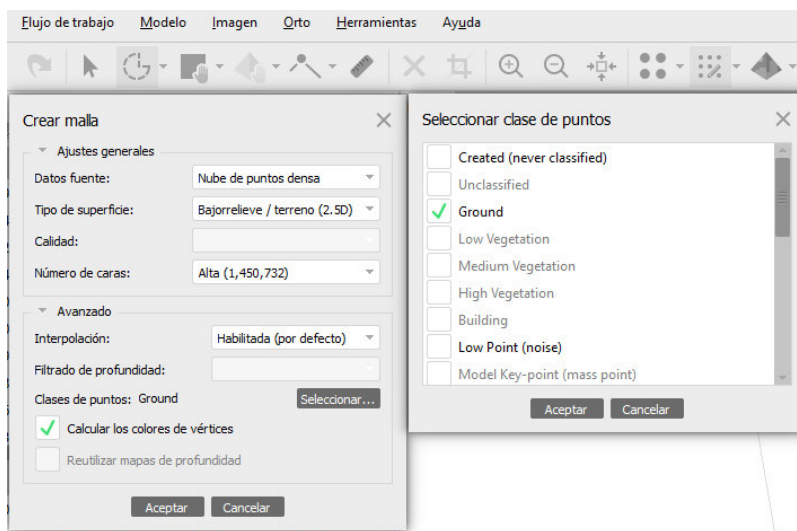
Ya realizada la clasificación nos dirigimos a Modelo (Modo de vista- clases de puntos para observar la clasificación realizada- Seleccionamos el recuadro resaltado con amarillo y procedemos a marcar y eliminar los objetos que no pertenezcan al terreno.



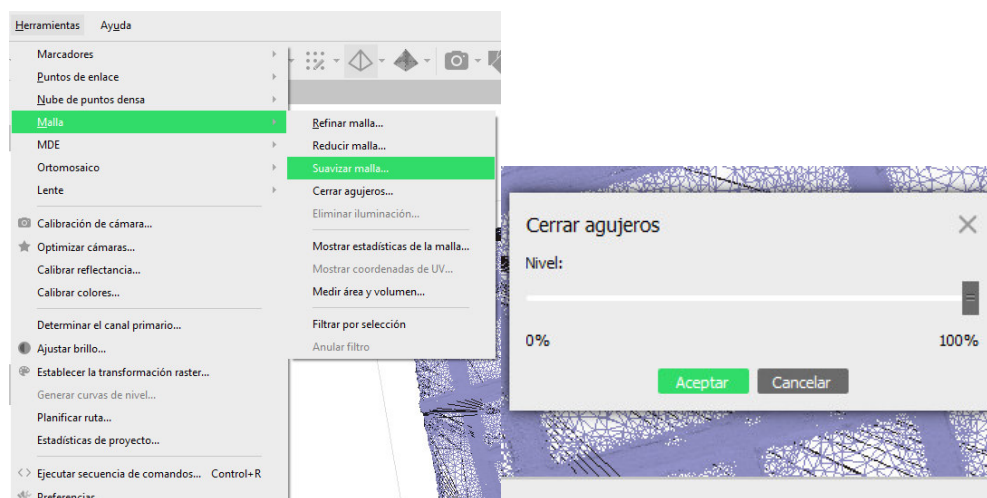


Luego de realizar el proceso creamos la malla con los siguiente parámetros.

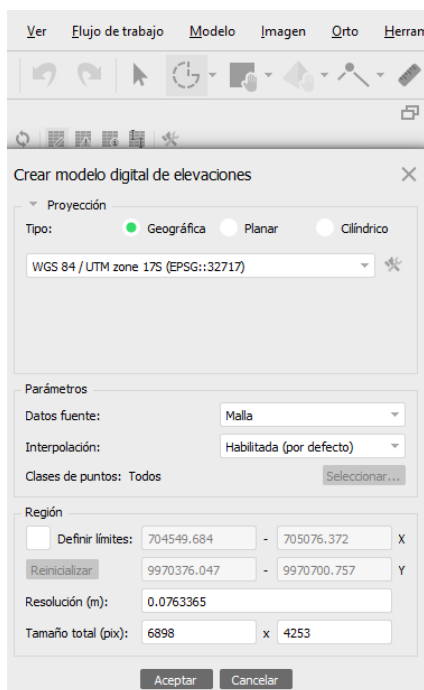
(Datos fuente: Nube de puntos densa- Tipo de superficie: Bajo relieve- Número de caras: Alta- Clase de puntos: Ground o terreno- Aceptar)



Cerrar agujeros y suavizar la malla (Herramientas- Malla- Suavizar malla, cerrar agujeros)

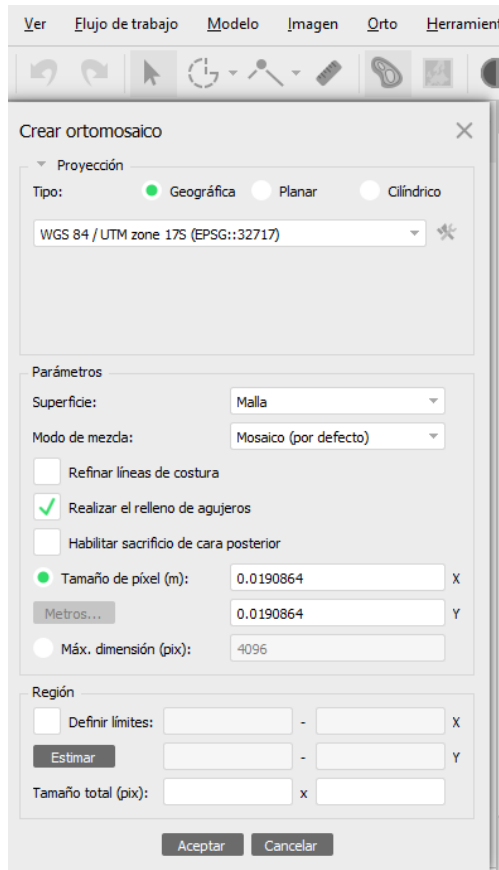


Finalmente se crea el MDT (Flujo de trabajo-Crear MDE- Datos fuente: Malla- los demás valores se dejan por defecto- verificar el sistema de coordenadas correspondiente)



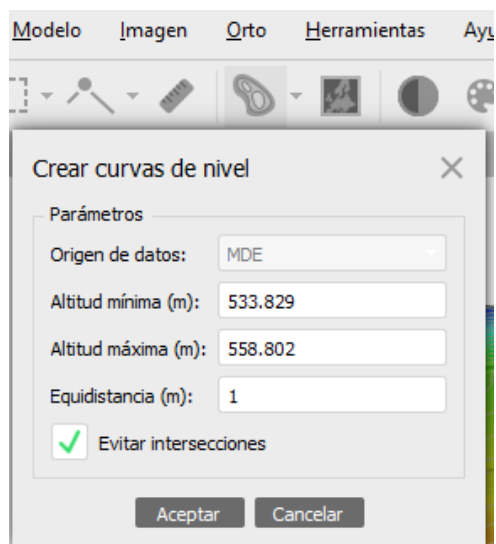
9.- Ortomosaico

Flujo de trabajo- Crear Ortomosaico (Superficie: Malla- Los demás valores por defecto)



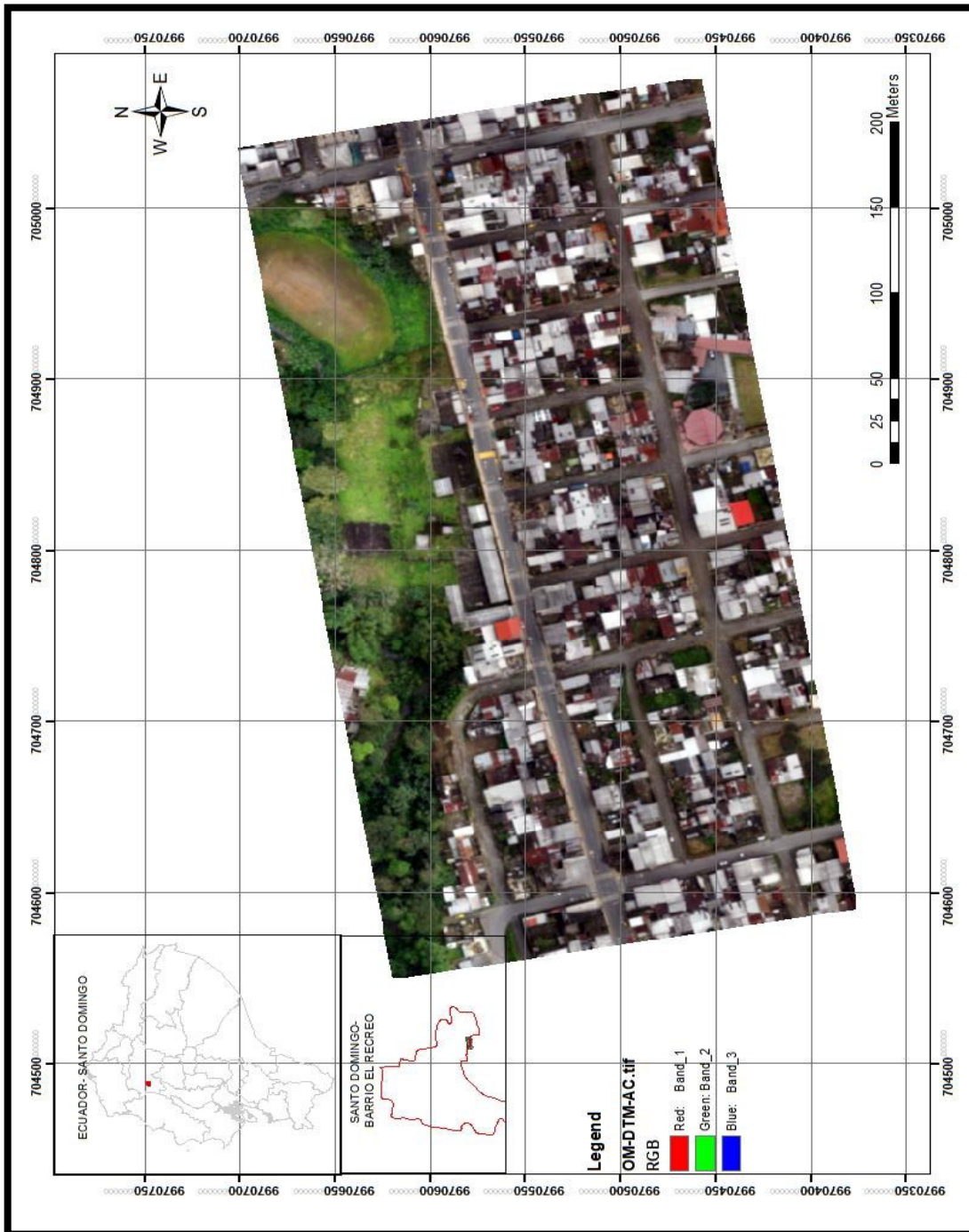
10.- Curvas de Nivel

Herramientas (Crear curva de nivel- valos por defecto en equidistancia se puede ingresar a que distancia de separación se requiere las curvas de nivel)

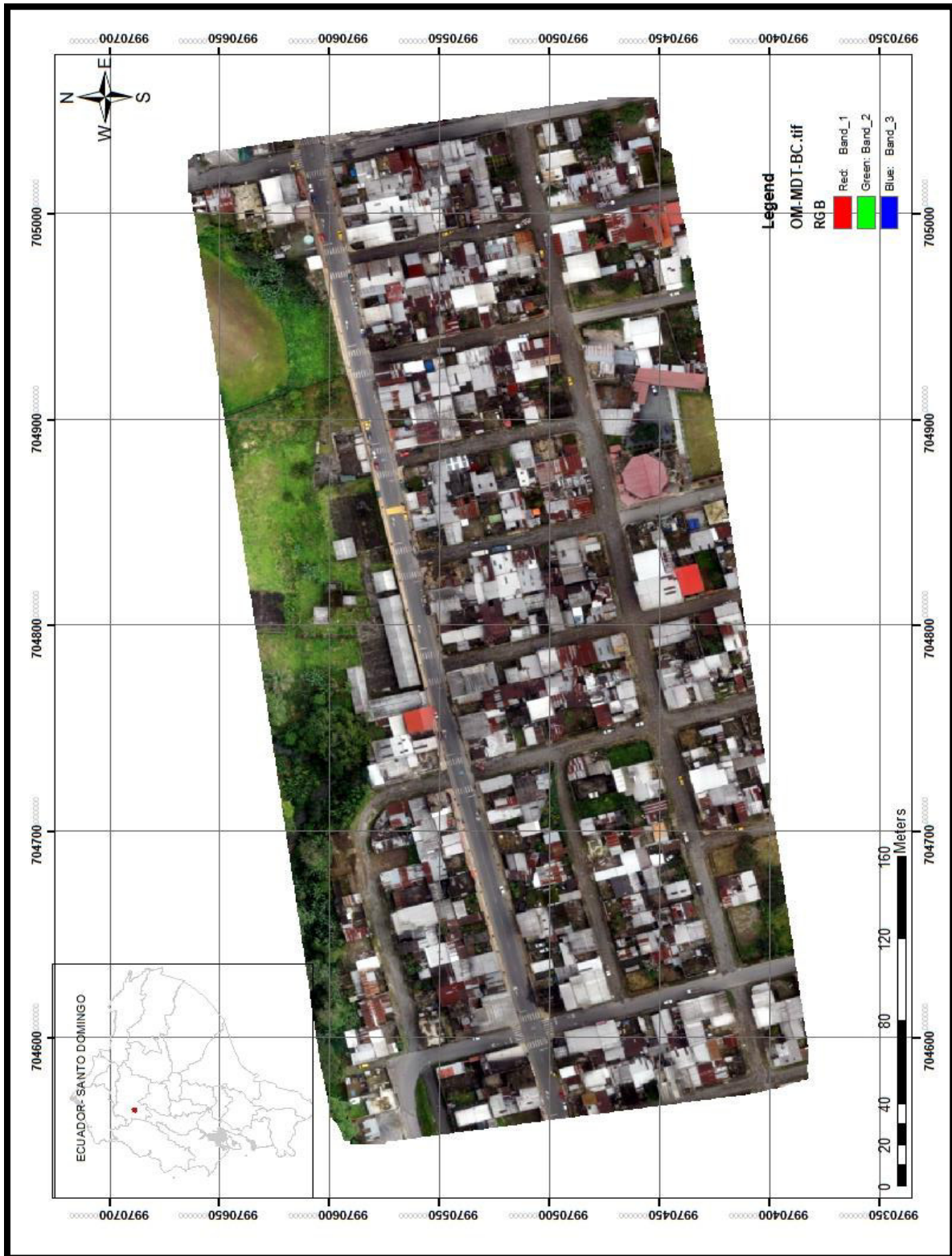


ANEXO VI. Ortofoto de alta y baja calidad

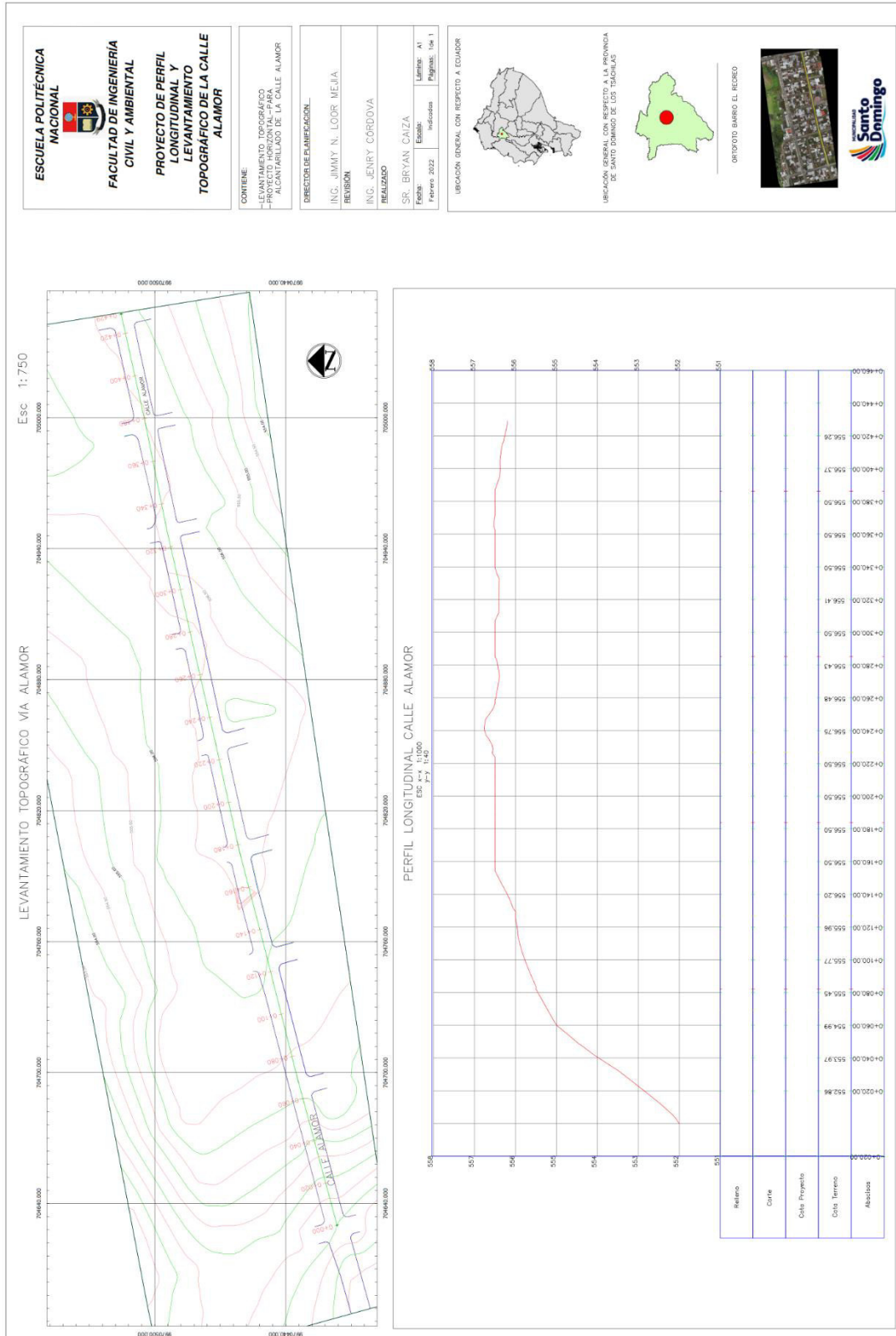
Ortofoto de Alta Calidad



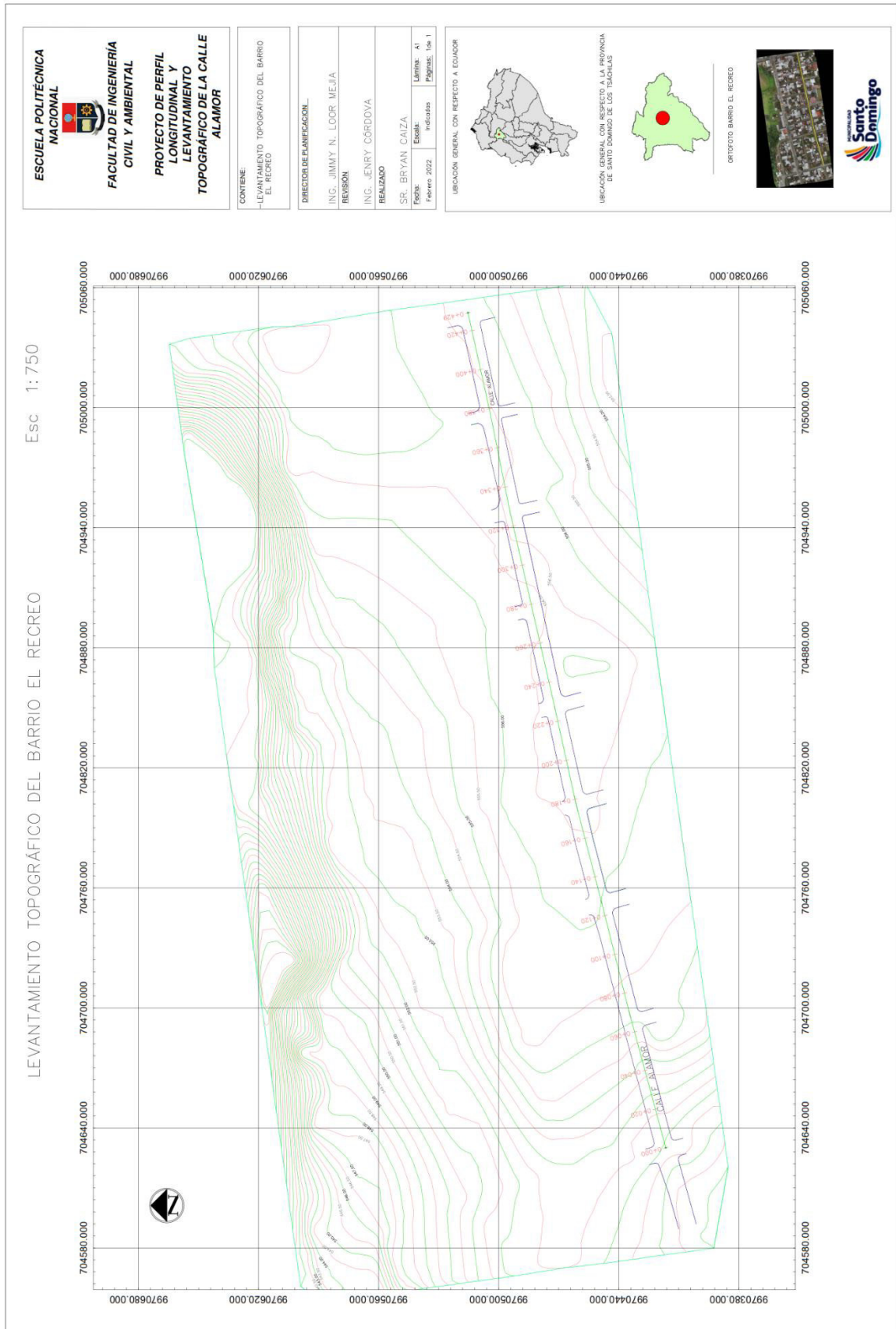
Ortofoto baja calidad



ANEXO VII. Perfil Longitudinal de la calle Alamor.



ANEXO VIII. Mapa Topográfico del Barrio El Recreo.



ANEXO IX. Planimetría del Barrio EL Recreo.

