



Evaluación de sistemas PPK/RTK/NTRIP incorporados en UAV para la generación de ortomosaicos, MDT's y Cartografía a escala 1:1000 en el sector de La Vicentina.

López De la Vega, Santiago Jesús

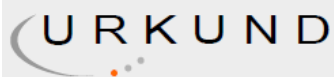
Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente

Msc. Leiva González, Cesar Alberto

15 de septiembre, 2021



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS_Santiago_Lopez_.docx (D112251755)
 Submitted: 9/8/2021 8:15:00 PM
 Submitted By: jc.altamiranoc@uta.edu.ec
 Significance: 2 %

Sources included in the report:

TESIS_Almeida.docx (D112251584)
 Guamán Sisa Tesis.docx (D62430069)
 TESIS_DAMARIZ MANZANO TOLEDO.pdf (D62430068)
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/22870/1/DM19.pdf>
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4908/1/PerezLopezSamantha2015.pdf>
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25278/Ni%C3%B1oCarranzaSergioAlejandro2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10906/1/T-ESPE-049246.pdf>
<https://docplayer.es/92956405-Departamento-de-las-ciencias-de-la-tierra-y-de-la-construccion.html>

Instances where selected sources appear:

11

CESAR
 ALBERTO LEIVA
 GONZALEZ

Firmado digitalmente por CESAR ALBERTO LEIVA GONZALEZ
 Número de reconocimiento (DNE): c-ec-00-SECURITY DATA S.A., ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, serialNumber=110120175549; cn=CESAR ALBERTO LEIVA GONZALEZ
 Fecha: 2021.09.08 16:52:22 -05'00'

Firma:

.....

Ing. Alexander Robayo. MSc

DIRECTOR DE CARRERA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Evaluación de sistemas PPK/RTK/NTRIP incorporados en UAV para la generación de ortomosaicos, MDT’s y Cartografía a escala 1:1000 en el sector de La Vicentina.”** fue realizado por el señor **López De la Vega Santiago Jesús** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de septiembre de 2021

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**CESAR ALBERTO
LEIVA GONZALEZ**

Msc. Leiva González, Cesar Alberto

DIRECTOR DEL TRABAJO



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **López De la Vega Santiago Jesús**, con cédula de ciudadanía n° 1721591707, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Evaluación de sistemas PPK/RTK/NTRIP incorporados en UAV para la generación de ortomosaicos, MDT’s y Cartografía a escala 1:1000 en el sector de La Vicentina”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 15 de septiembre de 2021

Firma

López De la Vega Santiago Jesús

C.C.:1721591707



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **López De la Vega Santiago Jesús**, con cédula de ciudadanía n° 1721591707, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Evaluación de sistemas PPK/RTK/NTRIP incorporados en UAV para la generación de ortomosaicos, MDT’s y Cartografía a escala 1:1000 en el sector de La Vicentina”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 15 de septiembre de 2021



Firma

López De la Vega Santiago Jesús

C.C.:1721591707

Dedicatoria

“Todo mi esfuerzo, con todo amor, siempre será dedicado a mis padres, hermanas y familiares”

Agradecimientos

Agradezco a toda mi familia por el apoyo incondicional que me brindaron cada uno de ellos, en el transcurso de mis estudios, ya que fueron ellos mi principal motor para continuar durante mis estudios universitarios.

A Jesús López mi padre le agradezco la confianza establecida durante toda mi vida, apoyándome en todo momento con una sonrisa y motivándome a lograr todos mis objetivos por más fuertes que sean.

A Nancy De la Vega mi madre le agradezco profundamente por ese apoyo incondicional de estar siempre presente en toda mi etapa de estudios, despertarme en los momentos más duros y hacerme crecer como una persona sincera y luchadora.

A mis dos hermanas les agradezco por los consejos brindados a lo largo de mis estudios, por ser una guía en mi vida.

A Cesar Álvarez mi cuñado agradezco la oportunidad de poder realizar este estudio, por la oportunidad laboral que me a brindado para poder llegar a amar la carrera que me encuentro a punto de concluir, además de ser la persona que permitió el uso de los equipos usados en el presente estudio.

A mis profesores por ser las personas que guiaron mi crecimiento profesional dándome las pautas necesarias para poder convertirme en un ingeniero con capacidades competitivas en el ámbito laboral.

Al Msc. Cesar Leiva por ser el guía en el presente trabajo, permitiéndome pulir mis conocimientos, y terminar mi periodo universitario.

Al Ing. Eduardo Kirby por todas las clases brindadas, los consejos brindados durante todo mi periodo estudiantil, permitiendo poder elaborar el presente trabajo sin ninguna falta de conocimientos en los temas desarrollados.

Índice de contenidos

| | |
|-----------------------------|----|
| Dedicatoria | 6 |
| Agradecimientos | 7 |
| Índice de contenidos | 8 |
| Índice de Tablas | 12 |
| Índice de Figuras | 14 |
| Resumen | 16 |
| Abstract | 17 |
| Capítulo I Introducción | 18 |
| Planteamiento del problema | 18 |
| Antecedentes | 18 |
| Justificación e importancia | 20 |
| Objetivos | 20 |
| Objetivo General | 20 |
| Objetivo Específicos | 21 |
| Metas | 21 |
| Capítulo II Marco Teórico | 23 |
| Cartografía | 23 |
| Geodesia | 23 |
| Fotogrametría | 23 |
| Vuelos UAV | 24 |

| | |
|---|----|
| Ground Control Point (GCP) o Puntos de Apoyo Fotogramétrico (PAF) | 24 |
| Métodos de posicionamiento GNSS | 25 |
| Real Time Kinematic (RTK) | 26 |
| Post Processing Kinematic (PPK) | 27 |
| Network Transportation of RTCM vía Internet Protocol (NTRIP) | 28 |
| Check Points | 28 |
| Ajuste fotogramétrico | 28 |
| Orientación Interna | 29 |
| Orientación Externa | 29 |
| Software Pix4D | 29 |
| Filosofía de procesamiento en software Pix4D | 30 |
| Structure for Motion SfM | 30 |
| Modelo digital de superficie (MDS) | 31 |
| Modelo Digital del Terreno (MDT) | 32 |
| Generación de Ortomosaicos | 32 |
| Exactitud Posicional | 33 |
| Digitalización de Cartografía | 34 |
| Normativa Nacional de Cartografía | 35 |
| Capítulo III Metodología | 36 |
| Área de estudio | 37 |

| | |
|--|----|
| | 10 |
| Equipo de Trabajo _____ | 38 |
| Planificación del Control Terrestre y Vuelos Fotogramétricos _____ | 41 |
| Vuelo fotogramétrico _____ | 45 |
| Establecimiento de Ground Control Points GCP _____ | 46 |
| Ajuste fotogramétrico con GCP _____ | 49 |
| Orientación Interna _____ | 50 |
| Orientación Externa _____ | 51 |
| Ajuste fotogramétrico con GCP y sistemas GNSS cinemáticos _____ | 53 |
| Método de PPK _____ | 54 |
| Método RTK _____ | 56 |
| Método NTRIP _____ | 58 |
| Puntos de Apoyo Fotogramétrico en el Software Pix4D (GCP) _____ | 61 |
| Re optimización de puntos _____ | 63 |
| Nube de Puntos _____ | 64 |
| Generación de ortomosaicos y subproductos _____ | 65 |
| Modelo digital del terreno (MDT) _____ | 65 |
| Generación de Cartografía _____ | 66 |
| Manzana _____ | 67 |
| Predios _____ | 68 |
| Eje vial _____ | 69 |

| | |
|---|-----|
| | 11 |
| Tapas de alcantarillado _____ | 70 |
| Sumideros _____ | 71 |
| Construcciones menores a 2 m. _____ | 72 |
| Establecimiento de puntos de chequeo _____ | 73 |
| Generación de Ortomosaicos con la reducción del número de GCP _____ | 79 |
| Evaluación de exactitud posicional _____ | 83 |
| Precisión Horizontal _____ | 83 |
| Precisión Vertical _____ | 86 |
| Evaluación del número de GCP óptimo _____ | 86 |
| Cuadros comparativos _____ | 90 |
| Capítulo IV Resultados _____ | 96 |
| Análisis de los resultados _____ | 96 |
| Discusión de los resultados _____ | 98 |
| Comprobación de hipótesis _____ | 98 |
| Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones _____ | 99 |
| Conclusiones _____ | 99 |
| Recomendaciones _____ | 100 |
| Bibliografía _____ | 102 |
| Anexos _____ | 108 |

Índice de Tablas

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1 Características de la aeronave Phantom 4 RTK | 38 |
| Tabla 2 Características de la camara | 40 |
| Tabla 3 Especificaciones equipo GNSS TOPCON | 40 |
| Tabla 4 Especificaciones antena D-RTK2 | 41 |
| Tabla 5 Número de vuelos por tipo de método de recopilación de datos | 42 |
| Tabla 6 Coordenadas de ground control points (GCP) | 49 |
| Tabla 7 Parámetros internos de la Cámara | 50 |
| Tabla 8 Varianza de Orientación en ejes Omega, Phi, Kappa | 52 |
| Tabla 9 Coordenadas de puntos para la estación base RTK | 57 |
| Tabla 10 Información necesaria para conexión NTRIP (IGM,2021) | 60 |
| Tabla 11 Tabla de variancia de geolocalización absoluta | 63 |
| Tabla 12 Tabla de desplazamiento en los tres ejes X, Y, Z | 64 |
| Tabla 13 Puntos de Chequeo para comprobación de geoposicionamiento | 74 |
| Tabla 14 Número de procesos por cada método | 80 |
| Tabla 15 Errores cuadráticos medios | 86 |
| Tabla 16 Precisión horizontal con diferencia e puntos de control | 88 |
| Tabla 17 Precisión Vertical por cada ortomosaico | 89 |
| Tabla 18 Tiempo empleado en cada método GNSS | 91 |
| Tabla 19 Costos empleados por método aplicado | 91 |
| Tabla 20 Limitantes de cada método GNSS | 93 |
| Tabla 21 Ejemplo de precisión / calidad horizontal para ortomosaicos | 94 |
| Tabla 22 Ejemplo de precisión / calidad de datos planimétricos | 94 |
| Tabla 23 Clases de precisión vertical | 95 |

| | |
|--|-----------|
| Tabla 24 Clasificación de ortomosaicos según la ASPRS | 97 |
|--|-----------|

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Structure for Motion | 30 |
| Figura 2 Diferencias entre Modelo Digital de Superficies y Modelo Digital del Terreno | 32 |
| Figura 3 Exactitud posicional y precisión | 34 |
| Figura 4 Flujograma de metodología | 36 |
| Figura 5 Mapa de ubicación del área de estudio | 37 |
| Figura 6 Equipos utilizados | 38 |
| Figura 7 Mapa de elevaciones | 42 |
| Figura 8 Mapa de vuelos Normal y PPK | 43 |
| Figura 9 Mapa de vuelos RTK y NTRIP | 44 |
| Figura 10 Distribución de GCP | 45 |
| Figura 11 Ejemplo de Ground Control Point (GCP) | 47 |
| Figura 12 Cercanía de estación de monitoreo continuo (QUI1) | 48 |
| Figura 13 Visualización de la corrección externa | 52 |
| Figura 14 Proceso fotogramétrico | 53 |
| Figura 15 Post procesamiento con el software RTKlib | 54 |
| Figura 16 Ejemplo de post procesamiento con RTKlib | 55 |
| Figura 17 Archivo libre de enlace de coordenadas por (AEROTAS, 2018) | 56 |
| Figura 18 Vuelo con el método RTK | 58 |
| Figura 19 Visor geográfico de cobertura NTRIP (IGM, 2021) | 59 |
| Figura 20 Diagnóstico de conexión NTRIP | 61 |
| Figura 21 Ingreso de GCP y proceso manual de corrección externa en el software Pix4D | 62 |
| Figura 22 Ejemplo de reclasificación de la nube de puntos en el software ArcGis y Pix4D | 66 |

| | | |
|------------------|--|-----------|
| Figura 23 | Área de digitalización | 67 |
| Figura 24 | Digitalización de manzanas | 68 |
| Figura 25 | Digitalización de Predios | 69 |
| Figura 26 | Digitalización de ejes viales | 70 |
| Figura 27 | Digitalización tapas de alcantarillado | 71 |
| Figura 28 | Digitalización sumideros | 72 |
| Figura 29 | Diferencia de alturas DEM - DSM | 73 |
| Figura 30 | Puntos de Chequeo | 79 |
| Figura 31 | Distribución 2 puntos de control | 81 |
| Figura 32 | Distribución 4 puntos de control | 81 |
| Figura 33 | Distribución 8 puntos de control | 82 |
| Figura 34 | Distribución 12 puntos de control | 83 |
| Figura 35 | Precisión Horizontal de los ortomosaicos según el número de GCP | 88 |
| Figura 36 | Precisión Vertical de los ortomosaicos según el número de GCP | 90 |

Resumen

El presente estudio evalúa la exactitud posicional de diferentes productos fotogramétricos obtenidos mediante un vehículo aéreo no tripulado (UAV) o dron con tecnología de corrección diferencia en tiempo real (RTK), con la finalidad de comparar y analizar distintos métodos de levantamiento geodésico para el apoyo fotogramétrico o también llamados puntos de control. Los métodos de levantamiento geodésico que entran en el análisis son post procesamiento PPK (Post-processing Kinematic), RTK (Real Time Kinematic) y transporte de red RTCM a través del protocolo de Internet NTRIP (Networked Transport of RTCM vía Internet Protocol). La evaluación se realizó utilizando la normativa de exactitud posicional propuesta por el Instituto Geográfico Militar (IGM) para catastro urbano y la normativa estándar nacional de precisión de datos espaciales NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy). El área donde se desarrolla el estudio son los barrios de La Vicentina y Santa Lucía 2 en la ciudad de Quito, Ecuador, con un área aproximada de 116 hectáreas con variación de pendiente entre baja, media y alta.

Los resultados permiten generar productos fotogramétricos para obtención de cartografía a escala 1:1000, analizando de esta manera sí los sistemas GNSS como el RTK a bordo de un UAV generan una reducción de puntos de apoyo fotogramétrico GCP (Ground Control Points), permitiendo la reducción de recursos en la producción de ortomosaicos y productos cartográficos derivados. De esta manera se obtiene una alternativa a utilizar por parte de los generadores de cartografía con una sustentación metodológica al usar menos recursos en comparación al proceso tradicional.

Palabras Clave:

- LEVANTAMIENTO FOTOGAMÉTRICO
- MÉTODOS (RTK, PPK, NTRIP).
- EXACTITUD POSICIONAL
- UAV / DRON

Abstract

This study evaluates the positional accuracy of different photogrammetric products obtained using an unmanned aerial vehicle (UAV) or drone with real-time difference correction (RTK) technology, in order to compare and analyze different geodetic survey methods for photogrammetric support or also called control points. The geodetic survey methods included in the analysis are PPK (Post-processing Kinematic), RTK (Real Time Kinematic) and RTCM network transport via Internet protocol NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol). The evaluation was carried out using the positional accuracy standards proposed by the Military Geographic Institute (IGM) for urban cadastre and the national standard for spatial data accuracy NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy). The area where the study is developed is the neighborhoods of La Vicentina and Santa Lucia 2 in the city of Quito, Ecuador, with an approximate area of 116 hectares with slope variation between low, medium and high. The results allow the generation of photogrammetric products to obtain cartography at 1:1000 scale, thus analyzing if GNSS systems such as RTK on board a UAV generate a reduction of photogrammetric support points GCP (Ground Control Points), allowing the reduction of resources in the production of orthomosaics and derived cartographic products. In this way, an alternative to be used by mapping generators is obtained with a methodological support by using fewer resources compared to the traditional process.

Keywords:

- **PHOTOGRAMMETRIC SURVEY**
- **POSITIONAL ACCURACY**
- **METHODS (RTK, PPK, NTRIP).**
- **UAV / DRONE**

Capítulo I

Introducción

Planteamiento del problema

El continuo desarrollo de tecnologías geoespaciales ha hecho de este campo un espacio desconocido para los mismos expertos en el área. Por lo tanto, es indispensable dar a conocer si los equipos diseñados en la actualidad pueden reemplazar métodos tradicionales con un mayor grado de precisión, ahorrando recursos y tiempo. Dentro de la cartografía nacional, regional, y cantonal no poseen la misma cantidad de recursos, razón por la cual es indispensable reducir su coste de producción, para ello se quiere evaluar la exactitud posicional de los productos obtenidos con equipos UAV's que posean sistemas GNSS cinemáticos, dando productos fotogramétricos de gran calidad a escala 1:1000 y evaluando si influye en el costo de producción de cartografía base.

Antecedentes

Una adecuada planificación del territorio requiere de información cartográfica actualizada y confiable, que ayude en la toma de decisiones; además, tener lineamientos técnicos, metodológicos y estructurados acorde al uso cartográfico (CLIRSEN, 2011). La cartografía digital generada por procesos fotogramétricos, ofrece una información espacial precisa y a detalle de una extensión considerable amplia del terreno, reduciendo así costos, espacio de almacenamiento y la manipulación resulta mucho más amigable que las metodologías tradicionales (Chuquitarco, 2018). Los vehículos aéreos no tripulados mejor conocidos como drones son considerados como una de las tecnologías multidimensionales de la era contemporánea, esta tecnología avanza a pasos agigantados (Nájera & Ramos, 2019).

Los vehículos aéreos no tripulados conocidos como UAV's por sus siglas en inglés (Unmanned Aerial Vehicle), es un dispositivo de mando remoto, en el cual, se puede incluir con un sistema GNSS cinemático para receptor los datos RINEX de observación y navegación. Esto lleva a analizar cuáles son las ventajas que posee la inclusión de sistemas GNSS diferenciales en los UAV's (Dinkov & Atanas, 2020) con los métodos: post procesamiento cinemático PPK (Post Processing Kinetic), cinemático en tiempo real RTK (Real Time Kinetic), y transporte de red RTCM a través del protocolo de Internet NTRIP (Network Transport RTCM Internet Protocol).

En la última década se ha generado información cartográfica con mayor facilidad gracias a los UAV's, dando paso a que la información captada por sensores pueda realizarse a gran escala con buenos resultados (Riaño, 2018). Los estudios que se realizan requieren a veces altas resoluciones (Nájera & Ramos, 2019). Generando gastos elevados por dichas necesidades; lo cual se ve en la necesidad de poder hallar la manera de reducir los costos y una de las posibilidades se da al emplear GNSS cinemáticos como RTK, PPK, NTRIP.

En los últimos años se ha desarrollado cartografía a lo largo de la región con equipos aéreos no tripulados para poder realizar el proceso de digitalización y levantamientos topográficos de manera más rápida y sencilla (Riaño, 2018). De igual manera es necesario establecer una evaluación de exactitud posicional sobre todos los vuelos fotogramétricos (Da Silva & Martínez, 2019). Estudios anteriores afirman que los GCP son inversamente proporcional al RMSE de un ortomosaico obtenido con métodos fotogramétricos y equipos modernos como los drones (Pérez, Pérez, & Reyes, 2015). Razón por la cual se requiere verificar si las tecnologías modernas GNSS cinemáticas aplicados a drones permiten mejorar la exactitud posicional de los productos fotogramétricos.

Justificación e importancia

La cartografía base es el punto de partida de cualquier proyecto y planificación dentro del territorio; al tener un posicionamiento adecuado de manera conjunta puede reducir conflictos dentro de los límites políticos y facilitar el enlace en las planificaciones. Los GAD's (Gobierno Autónomo Descentralizado) deben desarrollar una planificación cada dos años (COOTAD, 2017) para poder ver el crecimiento de cada uno de ellos, por lo que se ha visto inmiscuido la importancia de reducción de costos con resultados satisfactorios y la realización de las mismas planificaciones de manera rápida y concisa, de esta manera es importante determinar si el uso de equipos UAV's con un sistema GNSS cinemático pueden reducir la cantidad de puntos de apoyo fotogramétrico, dando como resultado la disminución de los costos de producción de cartografía base.

El proyecto permite tener una alternativa a la técnica tradicional con la reducción de costos en la generación de cartografía en todo el país y los productos generados se encuentran dentro de los parámetros de fiscalización. Además de establecer metodologías modernas acordes con la continua innovación que pueda dar paso a futuras investigaciones dentro de la Universidad y la carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la exactitud posicional de los ortomosaicos, MDT's y cartografía para escala 1:1000 generados por UAV's que incluyen en su recepción métodos cinemáticos (PPK, RTK, NTRIP) en el sector La Vicentina.

Objetivo Específicos

- Planificar el control terrestre y el vuelo fotogramétrico con UAV utilizando los sistemas GNSS cinemáticos RTK, PPK, y NTRIP con la finalidad de obtener las imágenes fotogramétricas y los centros de foto precisos para el ajuste fotogramétrico.
- Realizar el ajuste fotogramétrico a partir de software especializado y con puntos de apoyo fotogramétrico obtenidos con el método estático rápido para la generación de los productos derivados (ortomosaico, MDS y MDE).
- Realizar el ajuste fotogramétrico con software especializado y coordenadas de centro de foto ajustadas con métodos GNSS cinemáticos con la finalidad de generar los productos derivados.
- Generar cartografía planimétrica para escala 1:1000 a partir del método de interpretación / digitalización, en al menos 2 de los dos ortomosaicos en 40 ha dentro del área de estudio.
- Evaluar la exactitud posicional de los ortomosaicos, MDT's y cartografía utilizando la normativa ecuatoriana y la propuesta de la NSSDA con la finalidad de evaluar si se cumplen con las precisiones planimétricas y altimétricas para escala 1:1000.
- Proponer el número óptimo de GCP y el método de ajuste de centros de foto obtenidos por métodos cinemáticos RTK PPK NTRIP en la zona de estudio.

Metas

- Un plan de distribución de los puntos de control y un plan de vuelo.
- Un cuadro con las coordenadas precisas X, Y y altura elipsoidal de los GCP's obtenidos por el método estático rápido.

- Un reporte de procesamiento fotogramétrico, un ortomosaico y un MDS por cada tipo levantamiento fotogramétrico empleado.
- Digitalización de cartografía en un área de 40 ha del área de estudio en dos diferentes ortomosaicos.
- Una cartografía planimétrica que incluye manzanas, predios, ejes viales, tapas de alcantarillado, sumideros y edificaciones menores a dos metros de altura. Un reporte de exactitud posicional.
- Propuesta del número de GCP's óptimo en los métodos GNSS cinemáticos.

Capítulo II

Marco Teórico

Cartografía

La cartografía es la rama del grafismo que se ocupa de los métodos e instrumentos utilizados para exponer y expresar ideas, formas y relaciones en un espacio bi o tridimensional, encargada de la investigación y elaboración de mapas para poder representar grandes extensiones del territorio o su totalidad, buscando una relación matemática en la que las deformaciones sean reconocibles (Fallas, 2003).

Geodesia

Según la Asociación Internacional de Geodesia (IAG), la Geodesia es una geociencia que trata a la Tierra como un sistema dinámico complejo constituido en muchas capas, rodeado de atmósfera y océanos, que se ocupa: Del monitoreo de la Tierra sólida, variaciones temporales en la gravedad del campo terrestre, diferenciaciones en la rotación de la Tierra, variaciones en la Tierra líquida, define las órbitas para los satélites científicos, observación de la atmósfera con técnicas geodésicas satelitales, determina ubicaciones y sus variantes con el tiempo de puntos en o sobre la superficie del planeta con máxima precisión (IAG, 2012).

Fotogrametría

La ciencia encargada de realizar mediciones e interpretaciones fiables por medio de imágenes para obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición) del objeto fotografiado (ISPRS, 1910).

Otra definición es el arte, la ciencia y la tecnología de lograr información certera de objetos físicos y su lugar geográfico, mediante el proceso de exponer, medir e interpretar tanto imágenes fotográficas como otras, obtenidas de diversos patrones de energía electromagnética y otros fenómenos (ASPRS, 1934).

La fotogrametría puede definirse como una técnica de captura de información espacial a distancia, que permite cuantificar y obtener información muy relevante de la superficie terrestre y del medio ambiente con el fin de elaborar mapas de interés social, cultural y económico. Esta intrínsecamente vinculada con la fotointerpretación puesto que se complementan entre sí, con el objeto de lograr una representación precisa del mundo real (Riaño, 2018).

Vuelos UAV

Los UAV son vehículos aéreos no tripulados en donde la aeronave puede hacer movimientos que un piloto no podría soportar o realizar (Fernandez & Manzo, 2017). Razón por la cual tiene múltiples aplicaciones como en el ámbito civil, cartográfico, ambiental entre otros (Dinkov & Atanas, 2020). La importancia de los UAV se encuentra en que pueden ser controlados a distancia o también tienen la capacidad de ser autónomos con la generación de un plan de vuelo. Es decir, pueden despegar, volar y aterrizar de manera autónoma, siempre que se tenga un plan de vuelo preestablecido (Fernandez & Manzo, 2017).

Ground Control Point (GCP) o Puntos de Apoyo Fotogramétrico (PAF)

Es la coordenada medida sobre la superficie que permitirá re-optimizar los ases de luz proyectivos de las imágenes tomadas dentro del proceso de orientación interna y externa, a su vez mejorando el posicionamiento geográfico de la orientación interna. Es necesario un punto de control preciso para las imágenes aéreas ya que podemos referenciar de manera espacial con

gran calidad de precisión. Tradicionalmente se usa equipos GNSS diferenciales para obtener datos satelitales de posicionamiento, dando como resultado coordenadas con gran precisión (Hummel, 2016). La precisión depende de la escala de trabajo a la cual va a estar nuestro producto en el caso de generación de cartografía para escala 1: 1000 es necesario obtener precisiones con las cuales permita obtener una exactitud posicional inferior a los 30 cm del producto final (IGM, 2019).

Métodos de posicionamiento GNSS

El posicionamiento GNSS dentro de la corrección externa en el proceso fotogramétrico puede ser mejorada por el posicionamiento en tiempo real, por otra parte, en caso de post proceso, en un método de localización en donde la señales GPS receptadas por un equipo GNSS llamado rover o móvil se almacenan en la memoria del equipo y ajusta su posición con datos obtenidos de otro equipo GNSS diferencial llamada estación base o de referencia (Salmoral, 2017). Dentro de la clasificación GNSS se puede dividir de la siguiente manera (Hoyer, 2002):

- De acuerdo a la naturaleza de la medición pueden ser consideradas mediciones absolutas o relativas.
 - Medición absoluta: Un equipo GNSS que recepta la información satelital sin comunicarse por ningún medio con otro equipo, ni recibe correcciones.
 - Medición relativa: Es la obtención de información por dos o más equipos que pueden comunicarse entre ellos y lograr intercambiar información.
- De acuerdo a la forma de obtener un resultado:
 - Post-procesado: si el resultado final se genera después de la toma de información, generalmente en gabinete con un procesamiento.

- Tiempo real: si el resultado final deseado, dependiendo de la precisión en los estándares de calidad, se genera al instante de la medición.
- De acuerdo a la movilidad del equipo (o equipos):
 - Estático.
 - Estático rápido.
 - Cinemático.
 - Variantes entre cinemático y estático.

Cualquier tipo de medición realizada con equipos GNSS diferenciales puede ser clasificado en los grupos anteriores. (Hoyer, 2002).

La georreferenciación directa de imágenes es el cálculo directo de la posición y orientación de la cámara al momento del disparo, de modo que cada píxel pueda ser georreferenciado al sistema de coordenadas terrestres sin necesidad de mediciones terrestres (Dinkov & Atanas, 2020).

Real Time Kinematic (RTK)

Las técnicas GPS cinemáticas en tiempo real (RTK) (Real Time Kinematic) ahora se adoptan comúnmente para alcanzar los requisitos de precisión de posición centimétrica. La metodología RTK permite una distancia operativa entre la estación base y el usuario, dentro de un rango de 40-50 kilómetros, debido a que las distancias superiores a este rango alteran la correlación de datos GNSS diferenciales (Gordini, 2006).

En la obtención de información satelital para conocer una coordenada en tiempo real con precisiones entre 1 y 2 centímetros, usualmente se aplica el método de posicionamiento cinemático (RTK). El GNSS diferencial que se comporta como base se mantendrá fijo en un punto

con coordenadas conocidas, por otra parte, el segundo receptor llamado móvil, tendrá conexión con la base en todo momento, podrá desplazarse siempre y cuando no sufra interrupciones de conexión, se determinará las coordenadas en tiempo real. Generalmente la comunicación entre base y móvil se da vía radio-modem, GSM y GPRS. La principal limitante del método RTK es el alcance del tipo de transmisión de información. Las aplicaciones dentro del mundo de la topografía han llevado a reducir los costos de levantamientos y replanteos (González, 2014).

En la cartografía, el posicionamiento RTK posee algunas limitantes adicionales, se conoce como retardos de emisión de la información y recepción de señal, llegando a impedir utilizar este método cinemático si la señal queda bloqueada o interrumpida (Salmoral, 2017).

Post Processing Kinematic (PPK)

El método PPK (Post Processing Kinematic) como su nombre lo indica requiere de un segundo trabajo realizado en gabinete, por ejemplo, durante un vuelo con UAV si calculamos las coordenadas de las imágenes tomadas, es necesario aplicar correcciones de las coordenadas de centro de foto entre el móvil (dron) y la base, el modo se denomina método GNSS cinemático con post procesamiento (Dinkov & Atanas, 2020). Se puede usar el modo PPK cuando no se puede enlazar los datos GNSS durante el vuelo, pero se los puede obtener de modo separado en donde los dos GPS actúan como un receptor de datos de posicionamiento, para poder ser procesados en gabinete. (Tomastik, Mokros, Surový, Giznárová, & Merganic, 2019). Tanto como en RTK, la precisión horizontal puede llegar a estar entre los 2 a 3 cm de error. (Dinkov & Atanas, 2020)

Network Transportation of RTCM vía Internet Protocol (NTRIP)

En el año 2002 en Alemania, el NTRIP (Network Transportation of RTCM vía Internet Protocol) fue desarrollado por la BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) (Hoyer, 2002). Consiste en la transmisión de correcciones diferenciales GNSS, en formato estándar RTCM a través del protocolo de transferencia de hipertexto HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Las cuales son calculadas desde una estación base o de monitoreo continuo y son ofrecidas a los usuarios vía Internet. (Tierra, Leiva, & Silva, 2015)

A diferencia de los métodos RTK y PPK, en los cuales aún es necesario el uso de GCP, existe la posibilidad que el método NTRIP no requiera de los GCP por su corrección directa (Dinkov & Atanas, 2020).

Check Points

Cada uno de los pares fotográficos necesita de una georreferenciación indirecta con el terreno. Por lo tanto, se necesitan puntos de control en el terreno (GCP) así como puntos de verificación (check points), donde la posición de cada uno de estos, tendrá coordenadas en los tres ejes. Los check points son puntos que no intervienen en la generación de ortofotografías, y pueden ser utilizados para determinar la exactitud posicional que posee un ortomosaico. (Alvarado, 2016)

Ajuste fotogramétrico

Según Schenk en el 2005, el ajuste fotogramétrico es la aplicación de los conceptos matemáticos para la reconstrucción de la geometría de los objetos, cuya precisión geométrica depende en gran medida de la similitud del haz de imágenes que ingresan durante la captura de

la imagen. Para un mismo procedimiento, pueden existir varios modelos matemáticos que se diferencian en que tan cerca describen los procesos físicos (Chuquitarco, 2018).

Orientación Interna

En la orientación interna es la corrección de la distancia focal, punto principal, función de distorsión de los parámetros de campo con respecto a sus valores determinados por el fabricante. Habilitando la generación geométrica de los ases proyectivos que pasan por cada imagen de cada objeto visualizado en el terreno (Chuquitarco, 2018).

Orientación Externa

Es la corrección realizada de la coordenada de centro de foto entre dos ases proyectivos generados de la orientación interna que representan al mismo elemento tomadas de dos sitios diferentes, dividiendo este proceso en dos subprocesos llamados orientación relativa y orientación absoluta (Nájera & Ramos, 2019).

La orientación relativa coloca dos ases proyectivos en posición perspectiva teniendo como base la geometría proyectiva de objetos, bastando con 5 pares homólogos para que los otros intercepten también. Por otro lado, la orientación absoluta es el ajuste del modelo de todos los ases proyectivos con las respectivas coordenadas en los tres ejes. (Quirós, 2015)

Software Pix4D

Software desarrollado en 2011, con la principal función de generación de mapas digitales en 2D y 3D con la característica de georreferenciación, de alta precisión a partir de imágenes de drones (Pix4D, 2021).

Filosofía de procesamiento en software Pix4D

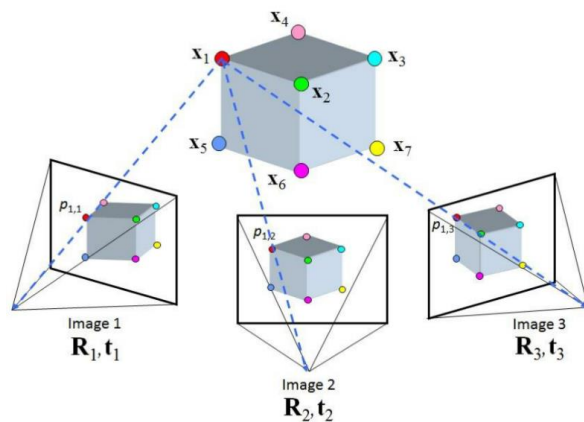
Los programas actuales llevan un concepto de caracterización SfM (Structure for Motion) (Pix4D, 2021), debido a que su algoritmo puede llegar a generar modelos de alta calidad en tiempos cortos (Costales, 2018). Parte del concepto estereoscópico de visualización 3D de objetos llevado al manejo digital de elementos tridimensionales con varios puntos de vista sobre un mismo objeto (Zekkos, y otros, 2018).

Structure for Motion SfM

La fotogrametría a partir de la estructura del movimiento (Structure for Motion) es un método de imágenes computacionales que se basa en los principios fundamentales de estereofotogrametría (o estereoscopia). En estereofotogrametría, las posiciones tridimensionales de las características de la imagen son derivado del análisis de dos o más fotos recopiladas de diferentes posiciones que tienen una superposición significativa entre sí, como se puede visualizar el concepto en la figura 1 (Zekkos, y otros, 2018).

Figura 1

Structure for Motion



Nota: Gráfico explicativo de la filosofía de Structure for Motion (Yilmaz, 2013).

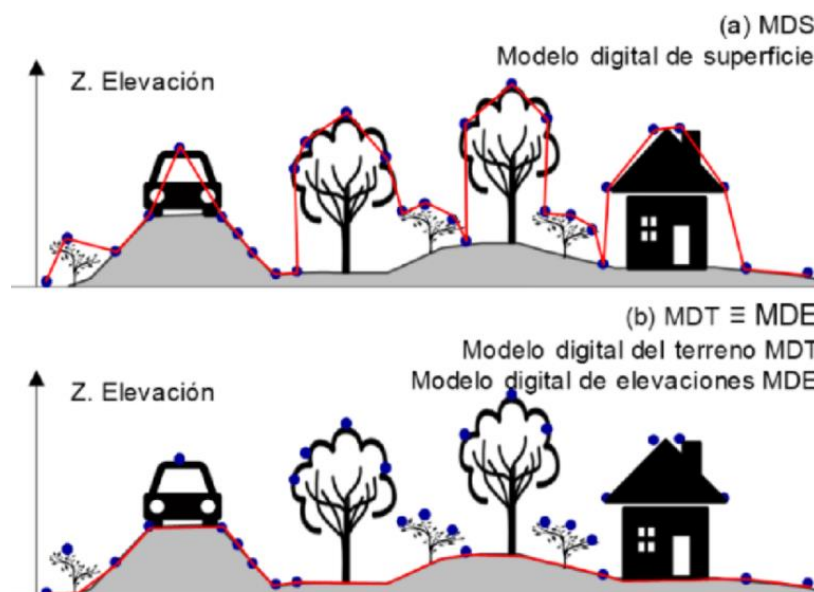
En métodos fotogramétricos tradicionales, la posición y orientación del sensor de la cámara es conocida y se utiliza para reconstruir la geometría tridimensional del objetivo. En “SfM”, la geometría del objetivo, la posición y orientación del sensor no son conocidos. La posición y orientación del sensor se resuelven simultáneamente a través de un ajuste de paquete iterativo y altamente redundante, procedimiento computacional que utiliza un conjunto de características que se identifican en múltiples imágenes superpuestas. El concepto SfM fue considerado por primera vez en 1979, pero en su implementación moderna, la metodología SfM fue empleada por Snavely en el 2008 para reconstruir objetivos 3D utilizando imágenes completamente desordenadas disponibles en Internet. Desde entonces, las mejoras en él se han realizado los cálculos de precisión y eficiencia de SfM (Zekkos, y otros, 2018).

Modelo digital de superficie (MDS)

Un modelo de superficies es una matriz de celdas o píxeles organizadas que cubren un espacio geográfico con un valor único dentro de cada celda (ARCGIS, 2021). Representan el valor de altitud de cualquier objeto, construcción o superficie del terreno, al ser una variable bidimensional no puede representar las partes superficiales de volados o zonas cubiertas por accidentes geográficos, construcciones o flora con gran altura (figura 2) (IGM, 2008).

Figura 2

Diferencias entre Modelo Digital de Superficies (a) y Modelo Digital del Terreno (b)



Nota: Gráfico explicativo de diferencias entre MDS y MDT (Villanueva, 2020).

Modelo Digital del Terreno (MDT)

Es un conjunto bien estructurado de información que define la distribución espacial de la variable altitud de la superficie del terreno, también denominado como modelo digital de elevaciones. El MDT, permite obtener una representación del relieve basado en estructuras vectoriales, generando las curvas de nivel (isohipsas), también permite la obtención de una red de triángulos irregulares adosados llamados "TIN". Estos archivos generalmente se encuentran en un formato raster, donde el nivel base por definición es el pixel (IGM, 2008).

Generación de Ortomosaicos

Un mosaico es el conjunto de imágenes adquiridas de manera aérea o terrestre que poseen un traslapeo común de un espacio geográfico entre sí, las mismas que se combinan en

una sola imagen, dando la ampliación de visión del área de estudio y de igual manera corrigiendo las distorsiones causadas por el relieve y los objetos en la imagen (Hernández & Tobón, 2017).

La generación de ortomosaicos es un subproceso fotogramétrico en el cual, genera una imagen en formato .tif, partiendo de ya haber realizado la orientación interna y externa del proceso fotogramétrico, puede tomar como punto de partida dependiendo de la filosofía del programa de procesamiento, la nube de puntos densa o un modelo digital de superficies, para unir cada una de las imágenes aéreas en una sola imagen que posea cualidades métricas dentro de un sistema de coordenadas (Costales, 2018).

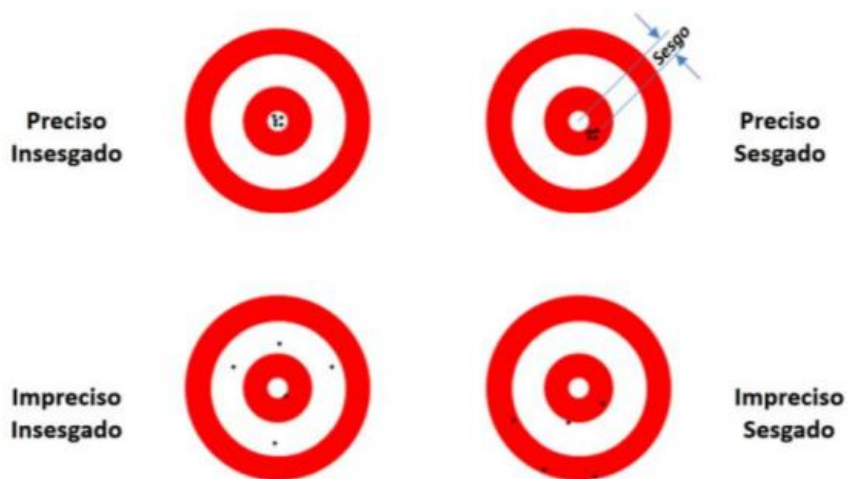
Exactitud Posicional

La NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) utiliza el error cuadrático medio (RMS) para estimar la precisión posicional. Donde RMS es la raíz cuadrada del promedio del conjunto de diferencias cuadradas entre los valores de coordenadas del conjunto de datos. La precisión se informa en distancia terrestre con un nivel de confianza del 95 %, valor que representa el error con respecto a la posición verdadera en el suelo, que es igual o menor que el valor de precisión informado (NSSDA, 1998), como se muestra en la figura 3 se puede diferenciar la exactitud y la precisión posicional (IPGH, 2019).

De igual manera el IGM (Instituto Geográfico Militar), adopta una postura similar que la NSSDA, que establece la exactitud planimétrica se encuentra en función del factor de escala del producto, siendo necesario que al menos el 90% de los puntos estén definidos y así no difiera del valor verdadero equivalente a 0.3 mm multiplicado por el factor de escala. (IGM, 2019).

Figura 3

Exactitud posicional y precisión



Nota: Gráfico explicativo de exactitud posicional y precisión (IPGH, 2019).

La precisión vertical se probará comparando las elevaciones en el conjunto de datos con elevaciones de los mismos puntos que se ha determinado a partir de una fuente independiente de mayor precisión (NSSDA, 1998). La media de las desviaciones estándar de los puntos de aerotriangulación seleccionados no excederá del 0.1% de la altura de vuelo sobre el terreno (IGM, 2019).

Digitalización de Cartografía

La digitalización cartográfica es el procedimiento para generar un modelo 2D del terreno a partir de un par estereoscópico con el propósito de extraer elementos del terreno para la elaboración de un mapa nuevo, el cual no puede ser ni más preciso ni puede contener más información que su compilación fotogramétrica, debe tenerse sumo cuidado en la selección y

colocación del detalle cartográfico para que el mapa terminado no solo cumpla con las normas de precisión sino también satisfaga el propósito del mismo (IGM, 2016).

Normativa Nacional de Cartografía

El siguiente proyecto se fundamenta en el “Protocolo de fiscalización para proyectos de generación de cartografía base con fines catastrales escala 1: 1000, obtenida a través de métodos aéreo-fotogramétricos, digitalización 2D sobre ortofoto o levantamiento topográfico”, para la verificación de campo y la elaboración de los productos cartográficos (IGM, 2019).

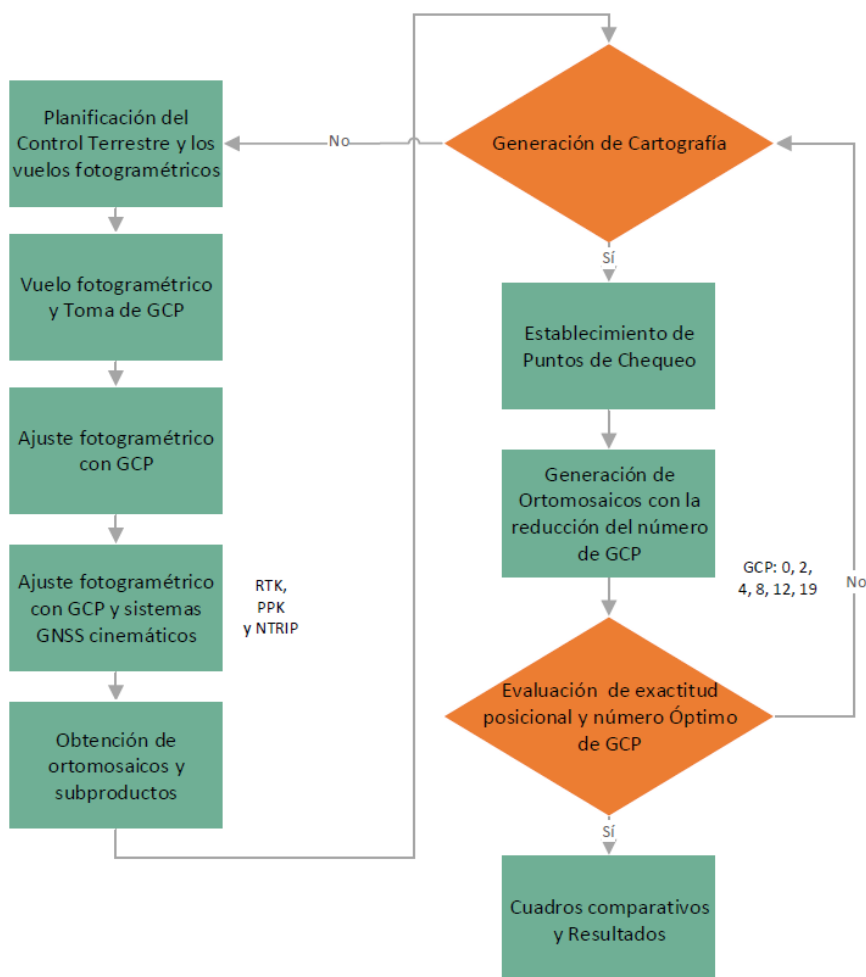
Capítulo III

Metodología

La metodología que se desempeñó en el presente proyecto se tomó como referencia del plan de tesis y con algunas modificaciones que indican de mejor manera el proceso indicado en el siguiente flujograma (figura 4):

Figura 4

Flujograma de metodología



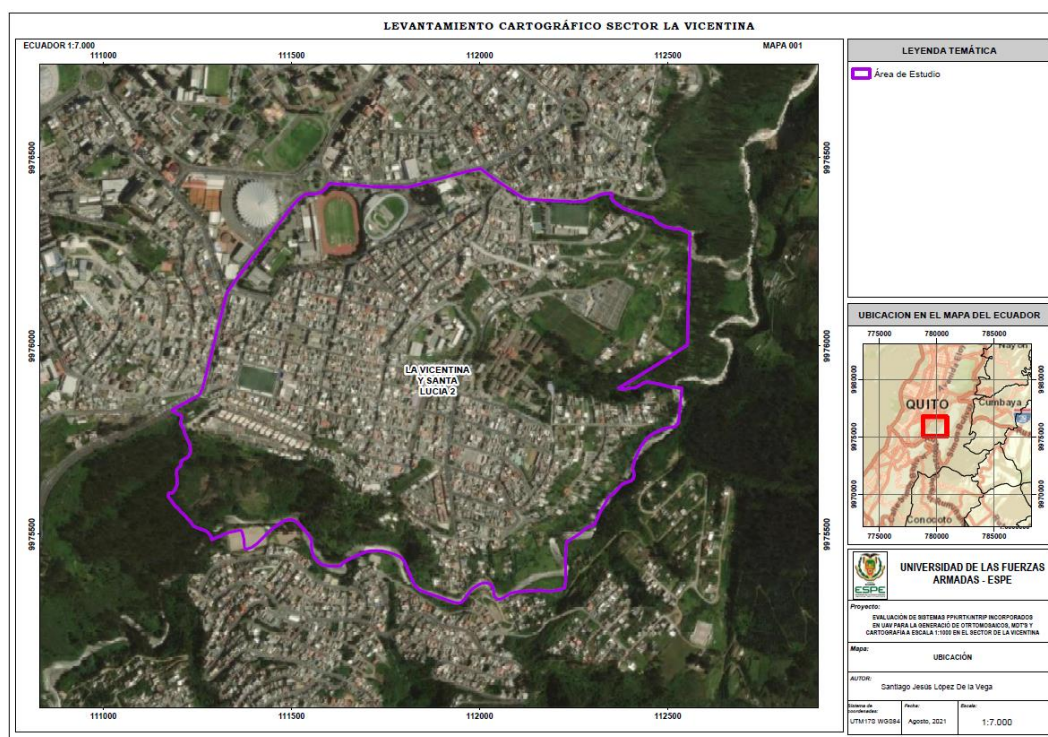
Nota: La metodología se planteó en el perfil de tesis que lleva como base del presente estudio.

Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la Provincia de Pichincha en el cantón del Distrito Metropolitano de Quito, abarcando los sectores de La Vicentina y Santa Lucía 2. Cuenta con 116 ha en donde se presentan características de baja, media y alta pendiente. Se puede visualizar el área de estudio en la figura 5.

Figura 5

Mapa de ubicación del área de estudio



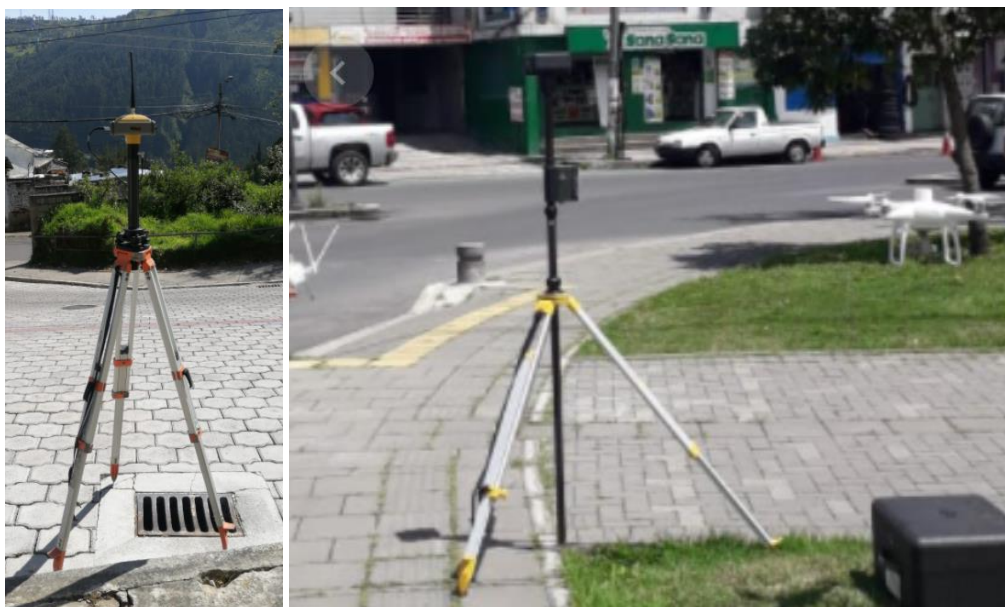
Nota: El mapa indica el lugar geográfico de estudio.

Equipo de Trabajo

El presente estudio se realizó con un GNSS diferencial TOPCON y con un dron de marca DJI, modelo Phantom 4 RTK y complementos (figura 6) que posee las siguientes características descritas en las tablas 1, 2, 3, 4:

Figura 6

Equipos utilizados



Nota: Equipos utilizados para el presente estudio.

Tabla 1

Características de la aeronave Phantom 4 RTK

| Aeronave | |
|---|---------------------|
| Peso al momento de despegue | 1391 g |
| Diámetro de la nave | 350 mm |
| Altura máxima de vuelo sobre el nivel del mar | 19685 pies (6000 m) |

| | |
|--|---|
| Velocidad máxima de ascenso | 6 m/s (vuelo planificado); 5 m/s (vuelo manual) |
| Velocidad máxima de descenso | 3 m/s |
| Tiempo máximo de vuelo | Aproximadamente 30 minutos |
| Rango de temperatura de funcionamiento | (0 ° a 40 °C) |
| | RTK habilitado y funcionando correctamente : |
| | Vertical : ± 0,1 m ; |
| | Horizontal : ± 0,1 m |
| | RTK desactivado |
| Rango de precisión de desplazamiento | Vertical : ± 0,1 m (con posicionamiento visual) ; ± 0,5 m con posicionamiento GNSS) |
| | Horizontal : ± 0,3 m (con posicionamiento visual) ; ± 1,5 m (con posicionamiento GNSS) |

Nota: Se detalla las características principales del equipo que se usó (DJI, 2021).

Como se puede ver en el tiempo de vuelo definida por el creador cuenta con 30 minutos de vuelo, dentro de este porcentaje siempre se debe tomar un 30% de seguridad para que el dron pueda regresar de manera segura al punto de despegue. Además, en campo se obtuvo que el tiempo real de vuelo contemplando las limitaciones de seguridad es de 15 a 16 minutos máximo, en este tiempo también se contempla el desgaste por aumento y disminución de velocidad, además de la energía usada para estabilización del equipo en caso de ráfagas de viento.

La cámara usada en el estudio es la misma que viene incluida en el equipo que posee las características descritas en la tabla 2:

Tabla 2*Características de la cámara*

| Cámara | |
|--|---|
| Sensor | CMOS de una pulgada; Resolución: 20 M |
| Lente | FOV 84 ° ; 8.8 mm / 24 mm (equivalente al formato de 35 mm: 24 mm) ; f / 2.8 - f / 11, enfoque automático a 1 m - ∞ |
| Tamaño máximo de imagen | 4864 × 3648 (4: 3); 5472 × 3648 (3: 2) |
| Rango de temperatura de funcionamiento | 32 ° a 104 ° F (0 ° a 40) |

Nota: Se detalla las características principales del sensor instalado en el dron Phantom 4 RTK (DJI, 2021).

Se usó un equipo GNSS diferencial para realizar la toma de información de GCP, puntos base para la antena RTK y puntos de chequeo (figura 6), sus especificaciones técnicas se indican en la tabla 3:

Tabla 3*Especificaciones equipo GNSS TOPCON*

| Especificaciones Técnicas | |
|---|------------------------------------|
| Nombre del equipo | Topcon Hiper Plus |
| Número de canales | 40 canales |
| Canales | L1/L2 GPS y GLONASS |
| Presión para estático, estático rápido | H: 3mm + 0.5ppm V: 5mm + 0.5ppm |
| Tiempo de Batería | Batería interna 14 horas |

Nota: Las especificaciones técnicas del equipo (TOPCON Positioning Systems, 2004) que se usó para la toma de GCP, puntos RTK y puntos de chequeo.

Se usó un segundo equipo GNSS diferencial con facilidad de conexión con el dron Phantom 4 RTK que permite realizar el proceso del método cinemático RTK con especificaciones detalladas en la tabla 4:

Tabla 4

Especificaciones antena D-RTK2

| Especificaciones Técnicas | |
|----------------------------------|---|
| Frecuencia GNSS | Recibe simultáneamente: GPS: L1 C/A, L2, L5 BEIDOU: B1, B2, B3 GLONASS: F1, F2 Galileo: E1, E5A, E5B Punto único |
| Precisión de posicionamiento | Horizontal: 1.5 m Vertical: 3.0 m Horizontal: 1 cm +1 ppm Vertical: 2 cm + 1 ppm |

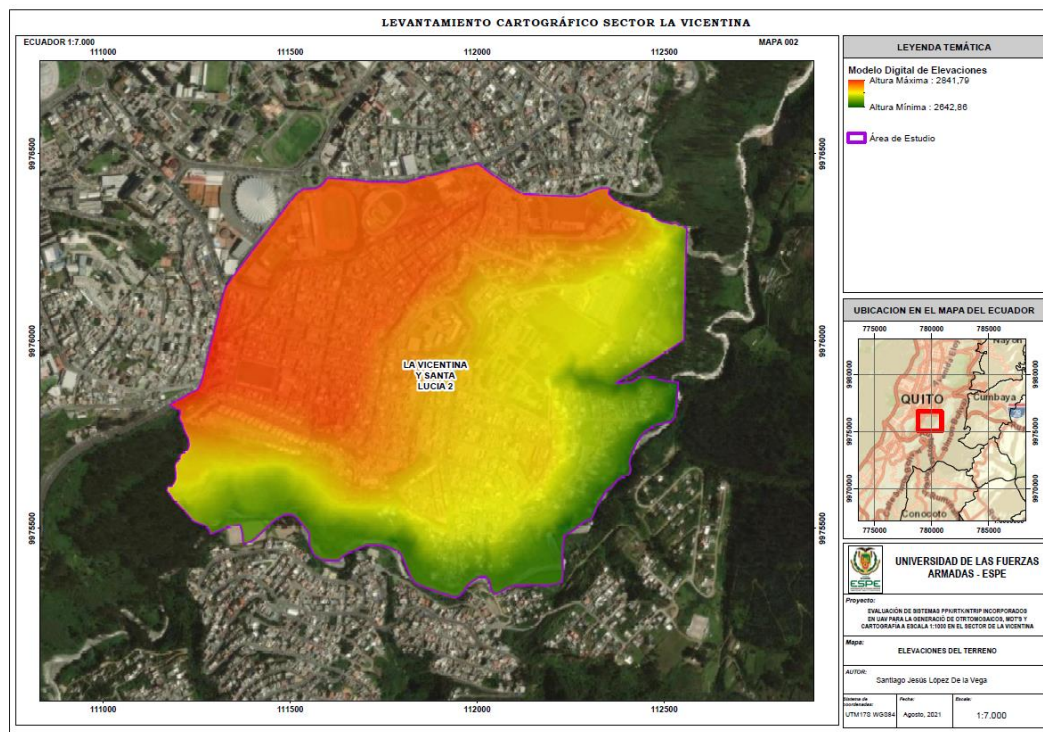
Nota: En la tabla se indica las especificaciones técnicas de recepción de datos de la antena para conexión con el dron. (DJI, 2021)

Planificación del Control Terrestre y Vuelos Fotogramétricos

La planificación de los vuelos, se desarrolló de acuerdo al relieve del terreno (figura 7) que presenta pendientes bajas, medias y altas, las mismas que influye directamente en una posible ruptura de la escala fotogramétrica, razón por la cual se ha realizado vuelos más cortos, tomando en cuenta este parámetro.

Figura 7

Mapa de elevaciones



Nota: Se puede ver el modelo de elevaciones del terreno de estudio

La cantidad de vuelos planificados depende de cada método, ya que existen parámetros como la conectividad entre control y dron, que en algunos métodos de toma de información no influyen y en otros sí. Tomando en cuenta estos parámetros se planificaron los siguientes vuelos para cada método, como se indica en la tabla 5.

Tabla 5

Número de vuelos por tipo de método de recopilación de datos

| Método De recopilación de datos | Número de Vuelos | Conexión de Radio | Conexión de Internet |
|---------------------------------|------------------|-------------------|----------------------|
| Normal | 6 | No | No |
| PPK | 6 | No | No |

| | | | |
|-------|----|----|----|
| RTK | 12 | Si | No |
| NTRIP | 12 | Si | Si |

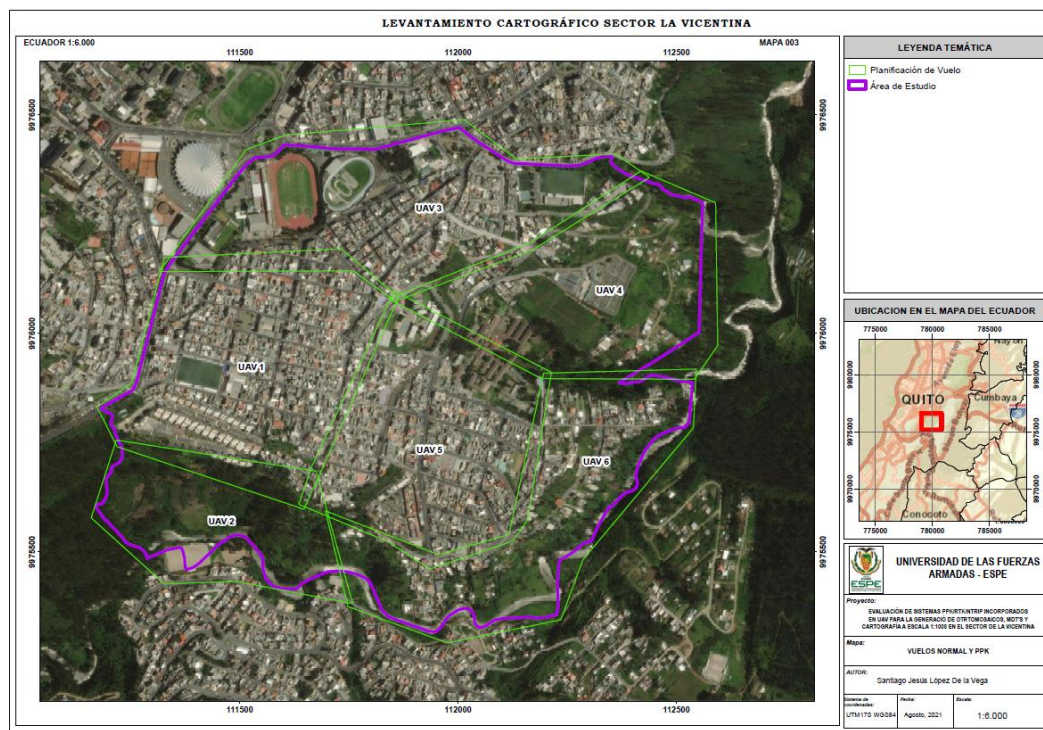
Nota: Se indica el número de vuelos, si necesita radio conexión o conexión de internet.

Se tiene en cuenta que los métodos RTK y NTRIP poseen la misma cantidad de vuelos debido a que la limitante es la conexión de radio control. Por otro lado, los métodos que no necesitan dicha conexión de manera continua requieren un menor número de vuelos.

Por este motivo, para no alterar los vuelos con los dos primeros métodos, se optó por subdividir los vuelos dando como resultado el doble número de vuelos en los siguientes métodos debido a la limitante de conexión, con un traslapeo adecuado, para poder amarrar los vuelos entre sí (figura 8 y 9).

Figura 8

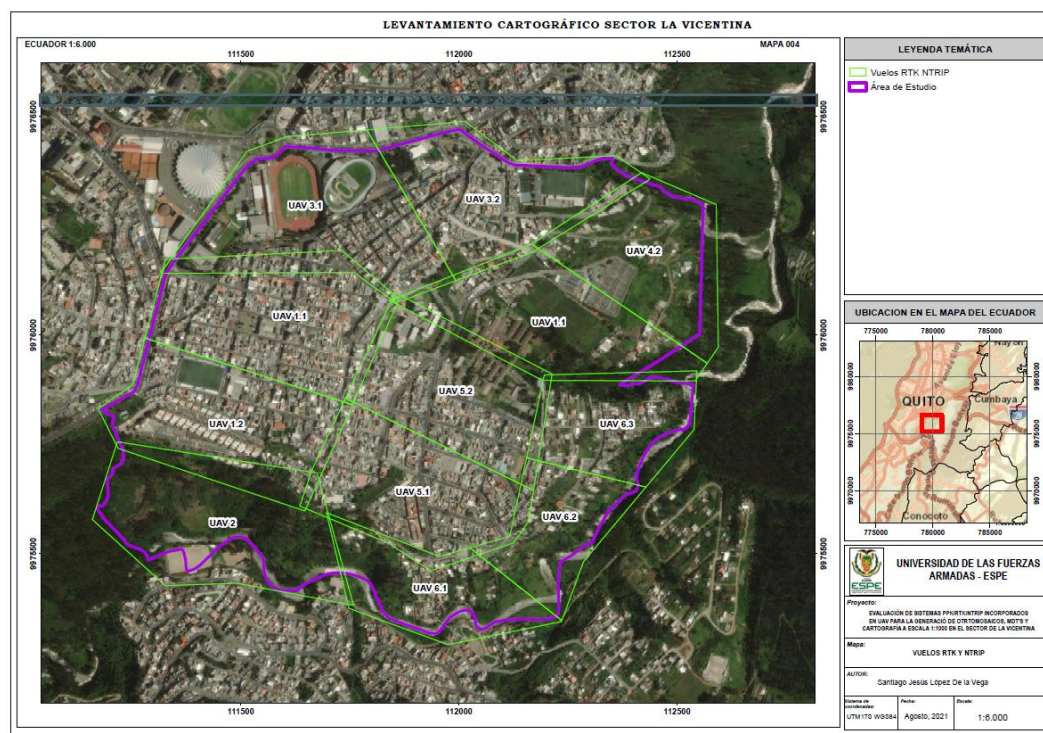
Mapa de vuelos Normal y PPK



Nota: Se indica el número de vuelos con su polígono específico para el método normal y PPK.

Figura 9

Mapa de vuelos RTK y NTRIP



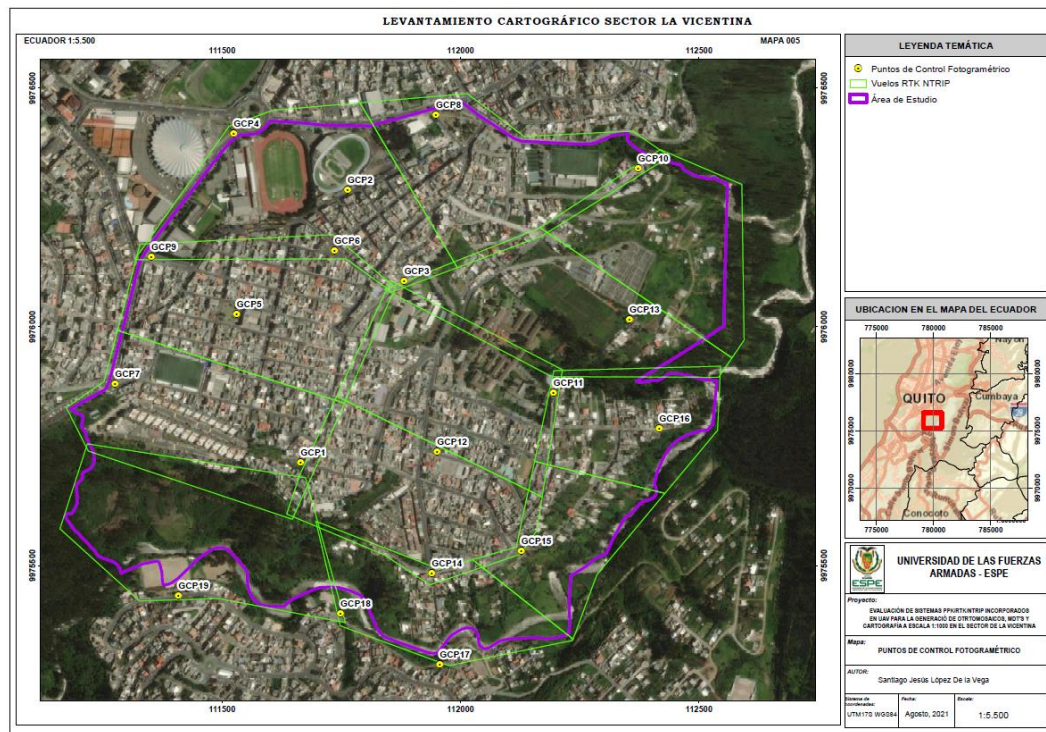
Nota: Se indica el número de vuelos con su polígono específico para el método RTK y NTRIP.

La planificación del control terrestre es dependiente de la planificación de los vuelos, aunque en este caso para poder tener el mismo punto de comparación se estableció usar los mismos puntos de control para cada uno de los métodos de estudio.

Se partió de los 6 polígonos de vuelos establecidos en la figura 8, donde el objetivo principal es generar un amarre entre vuelos. De esta manera se pudo establecer que para el área era necesario 19 puntos de control terrestre o GCP. La distribución de los puntos se puede ver en la figura 10.

Figura 10

Distribución de GCP



Nota: Se muestra la Distribución espacial de los GCP.

Como se puede ver en la figura 10 los puntos de apoyo fotogramétrico se encuentran distribuidos en las partes más externas de cada uno de los vuelos, en la parte interna y puntos de traslape entre vuelos. Esto se realizó para obtener un buen ajuste ya que es nuestra base para verificar la exactitud posicional.

Vuelo fotogramétrico

Para los vuelos fotogramétricos se debe tener en cuenta la legislación, ya que los UAV's están regularizados por la Dirección de Aviación Civil (DAC) del Ecuador en su Art. 17 menciona que la altura máxima de vuelo permitida es de 400 pies (122 metros) sobre el terreno (DAC,

2020), razón por la cual se tomó en cuenta que la altura de vuelo sea inferior a los 120 metros de altura.

Todos los vuelos son desarrollados en el área determinada en la figura 5, teniendo en cuenta que contamos con 2 baterías en los equipos, todos los métodos se avanzaron realizando 2 vuelos diarios, considerando que no se puede realizar los vuelos en lluvia ni con nubosidad, el número de vuelos diarios no es considerado dentro de nuestro cálculo de los costos operativos, debido a que en caso de poder tener más baterías se podría realizar cada levantamiento en un solo día.

Establecimiento de Ground Control Points GCP

Se pintaron 19 GCP en forma de cuadrados con subdivisiones de color rojo y blanco de manera que sean ortogonalmente foto identificables (figura 11). Para todo el estudio se implementó un equipo Topcon Hiper Plus doble frecuencia, cuyas características se encuentran en la tabla 3, y así poder obtener los datos Rinex y procesar los datos en gabinete.

Figura 11

Ejemplo de Ground Control Point (GCP)

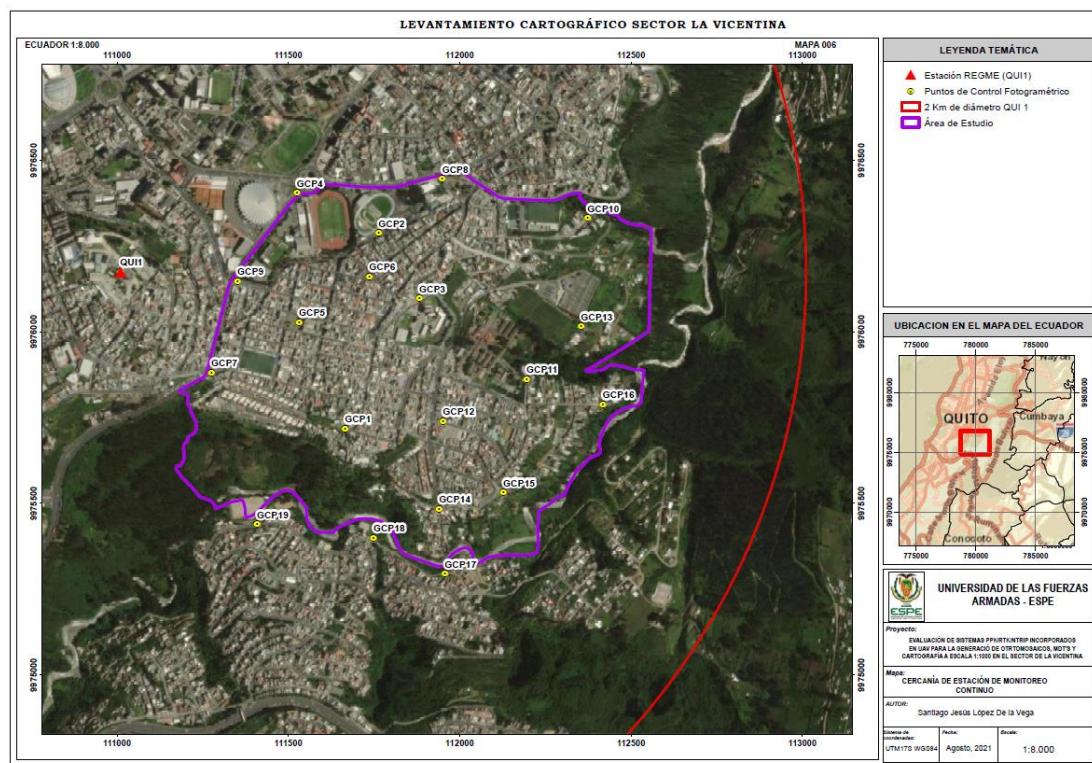


Nota: se visualiza la forma de visualización de GCP alrededor del área de estudio.

Se tomó estáticos rápidos en las posiciones establecidas de los GCP en la figura 10, para cada punto se determinó un tiempo de 15 min, debido a que el estudio se encuentra muy cerca de una estación de monitoreo continuo (QUI1) (figura 12).

Figura 12

Cercanía de estación de monitoreo continuo (QUI1)



Nota: Se indica que el área de estudio está a menos de 2 Km de la estación QUI 1

Se procesó conjuntamente los 19 estáticos rápidos con los datos de la estación de monitoreo continuo en el software TBC, generando coordenadas indicadas en la tabla 6, las mismas que se ingresan en el programa de procesamiento fotogramétrico y la visualización del informe de procesamiento de líneas base se encuentra en el anexo 2, para la constancia del trabajo se generó un archivo .kml con fotografías para abrir en Google Earth, se puede encontrar estos archivos en el anexo 5.

Las coordenadas se encuentran en sistema de referencia WGS84 zona 17S y la elevación se genera automáticamente por el cálculo de la diferencia entre la altura elipsoidal y el modelo geoidal EGM96

Tabla 6*Coordenadas de ground control points (GCP)*

| Nombre del Punto | Este (Metro) | Norte (Metro) | Elevación (Metro) |
|-------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|
| GCP1 | 779641,067 | 9975738,310 | 2804,738 |
| GCP2 | 779739,320 | 9976308,170 | 2819,721 |
| GCP3 | 779858,294 | 9976118,160 | 2796,987 |
| GCP4 | 779501,276 | 9976426,200 | 2820,331 |
| GCP5 | 779507,158 | 9976048,790 | 2824,293 |
| GCP6 | 779712,340 | 9976181,560 | 2819,241 |
| GCP7 | 779251,781 | 9975903,070 | 2838,622 |
| GCP8 | 779924,857 | 9976465,800 | 2817,563 |
| GCP9 | 779328,281 | 9976168,530 | 2827,628 |
| GCP10 | 780348,669 | 9976352,110 | 2809,579 |
| GCP11 | 780170,600 | 9975883,470 | 2749,009 |
| GCP12 | 779926,628 | 9975759,990 | 2763,684 |
| GCP13 | 780329,880 | 9976036,970 | 2742,114 |
| GCP14 | 779915,562 | 9975505,900 | 2737,540 |
| GCP15 | 780103,000 | 9975553,220 | 2729,737 |
| GCP16 | 780392,772 | 9975809,260 | 2694,832 |
| GCP17 | 779932,172 | 9975315,790 | 2685,179 |
| GCP18 | 779724,358 | 9975421,540 | 2678,566 |
| GCP19 | 779384,504 | 9975460,230 | 2690,458 |
| QUI1 | 778986,301 | 9976195,850 | 2922,389 |

*Nota: Coordenadas de los 19 puntos de apoyo fotogramétrico en sistema de coordenadas**WGS84 17S***Ajuste fotogramétrico con GCP**

Dentro del ajuste fotogramétrico se parte de un proceso tradicional, que será la base de comparación con los sistemas GNSS cinemáticos diferenciales. Para esto, se partió de un archivo (exchangeable image file format) EXIF, que se define como un estándar independiente, creado para almacenar metadatos de las imágenes obtenidas con cámaras digitales (Rodríguez, 2015).

Es necesario corregir las coordenadas del centro de foto mediante métodos GNSS cinemáticos diferenciales que nos presentará la orientación interna y así obtener los datos del ajuste fotogramétrico.

Orientación Interna

En la orientación interna es la determinación del haz perspectivo de luz dentro de sus datos internos para ello se parte de los archivos EXIF. Visualizar los datos en la tabla 7.

Tabla 7

Parámetros internos de la Cámara

| | Focal Length | Principal Point x | Principal Point y | R1 | R2 | R3 | T1 | T2 |
|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Valores Iniciales | 3658.300 [pixel] | 2722.500 [pixel] | 1835.100 [pixel] | -0,269 | 0,112 | -0,033 | 0,000 | -0,001 |
| Valores Optimizados | 8.580 [mm] | 6.385 [mm] | 4.304 [mm] | -0,267 | 0,110 | -0,032 | 0,000 | 0,000 |
| Incertidumbres (Sigma) | 3626.109 [pixel] | 2727.404 [pixel] | 1833.575 [pixel] | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | 8.504 [mm] | 6.396 [mm] | 4.300 [mm] | | | | | |
| | 0.020 [pixel] | 0.015 [pixel] | 0.011 [pixel] | | | | | |
| | 0.000 [mm] | 0.000 [mm] | 0.000 [mm] | | | | | |

Nota: Ejemplo la tabla de los parámetros internos de la cámara del procesamiento RTK sin puntos de control. Obtenidos de los reportes de procesamiento. (Anexo 1)

Se visualiza los parámetros focales, el punto principal X, Y (que corresponden al centro de la imagen), y donde R1, R2, R3, T1, T2 son la distorsión radial de la lente R1, distorsión radial de la lente R2, distorsión radial de la lente R3, distorsión tangencial de la lente T1, distorsión tangencial de la lente T2, y en la segunda fila da los valores optimizados por el programa haciendo la corrección interna. En la última fila marca la incertidumbre, hace referencia a la cantidad de seguridad que tiene el programa con respecto a sus parámetros internos los cuales obedecen a las distorsiones radiales.

Dentro de la corrección interna, las distorsiones radiales y tangenciales no poseen un error relevante, ya que los haces de luz con respecto a los datos del archivo EXIF, presentan una distorsión mínima, que no afecta en el proceso fotogramétrico con los valores de error mostrados en la figura 13. Pese a eso se realiza la corrección tangencial y radial de las imágenes dentro del proceso.

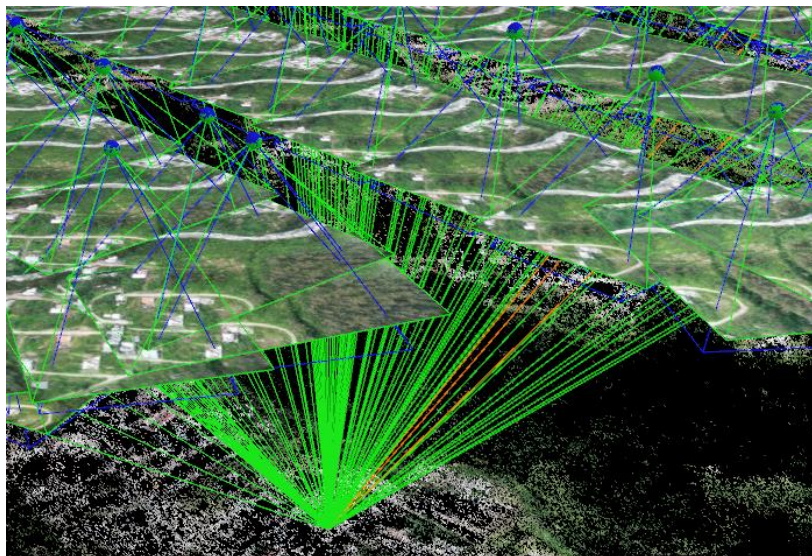
Se orientan las imágenes con la distancia focal real de campo y de igual manera con los puntos principales de los ejes X, Y; concluyendo la corrección interna.

Orientación Externa

Esta orientación externa muestra la variación de la posición y altitud de la cámara al momento de la captura de la foto en relación con los objetos del entorno. Para ello, se parte de la corrección interna para obtener los 3 primeros parámetros que son las coordenadas del centro de foto de cada imagen y así realizar la orientación externa (figura 13) el programa logra generar la varianza de posicionamiento de los otros 3 parámetros (tabla 8). Este proceso en caso de poseer GCP es necesario la colocación de los mismos para poder reducir los errores generados, con una re-optimización del proceso se puede llegar a reducir los errores de posicionamiento.

Figura 13

Visualización de la corrección externa



Nota: Se puede identificar la corrección por colores donde el color azul la posición inicial, y el color verde es la posición después de haber realizado la corrección externa con los seis parámetros.

Tabla 8

Varianza de Orientación en ejes Omega, Phi, Kappa

| Varianza de orientación de geolocalización | RMS [degree] |
|---|-------------------------|
| Omega | 0,946 |
| Phi | 0,902 |
| Kappa | 7,112 |

Nota: Ejemplo de RMS en grados de la variación de los ángulos de rotación, tomada del reporte de procesamiento RTK sin puntos de control (Anexo 1).

Se puede ver el error cuadrático medio de todas las imágenes en grados para cada una de las rotaciones. Por otro lado, el RMS en Omega y Phi no tiene tanta variación dado que el proyecto se desarrolló con un cuadricóptero, que se caracterizan por ser muy estables en vuelos

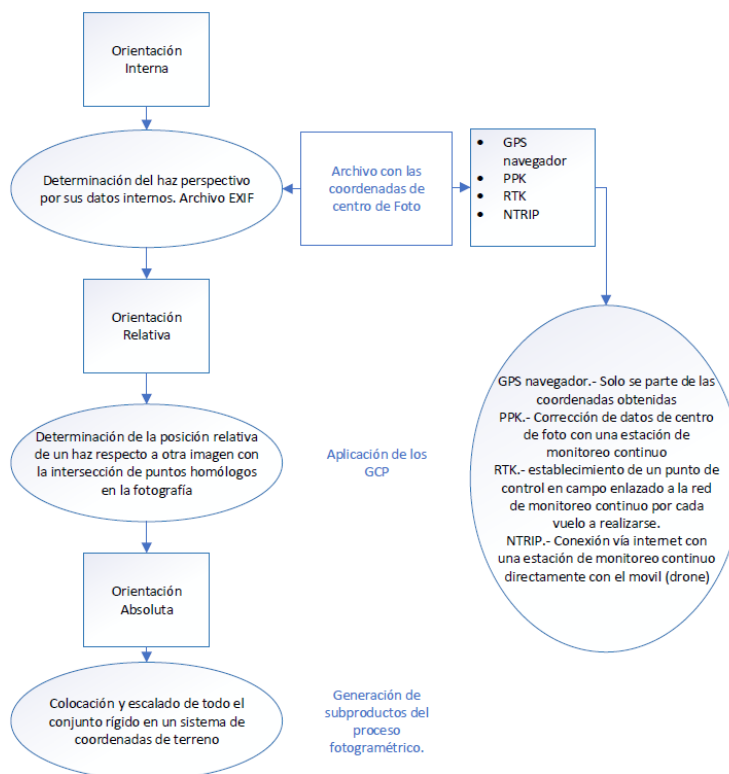
planificados, con estas correcciones se establece la corrección relativa que también se puede visualizar en la figura 13 y se puede colocar los GCP.

Ajuste fotogramétrico con GCP y sistemas GNSS cinemáticos

El proceso es similar al normal solo que dependiendo el método cinemático GNSS, se puede señalar que requiere algunos aditamentos dentro del proceso fotogramétrico tradicional, en específico, dentro de la orientación interna (figura 14). Para ello, se describirá cada uno de los procesos adicionales dependiendo del método cinemático utilizado.

Figura 14

Proceso fotogramétrico



Nota: Se especifica la diferencia de la corrección interna dependiendo del proceso de recolección de datos.

Método de PPK

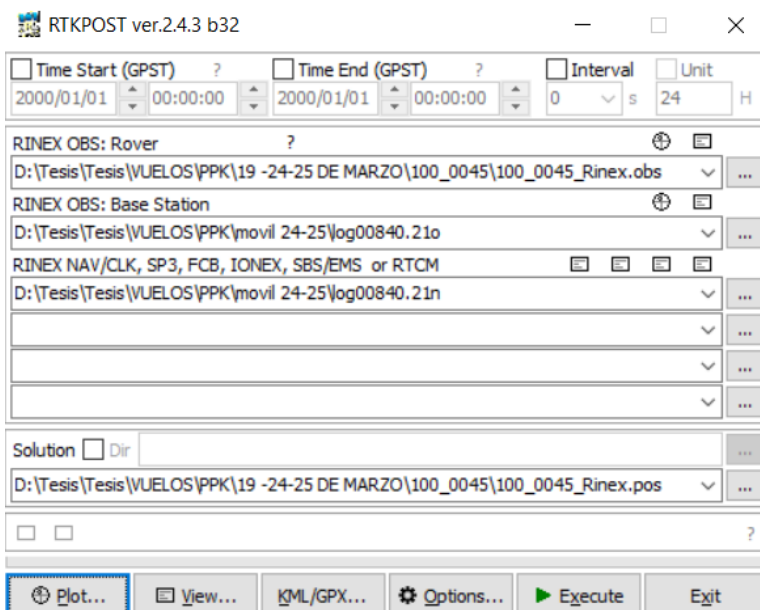
Se observa todos los datos en el reporte de calidad del proceso fotogramétrico (Anexo 1). La diferencia es la corrección de las coordenadas de los centros de foto por el método de post procesamiento.

Es importante señalar que la corrección de los datos partiendo del archivo de observaciones del móvil, en nuestro caso el posicionamiento del dron con GNSS diferencial integrado; conjuntamente con los archivos de observación y navegación de base de monitoreo continuo QUI1, dado que los vuelos no se encontraban lejos, esto reduce el paso de hacer una base en campo.

En el post procesamiento se utilizó el programa RTKlib con la aplicación de rtkpost colocando los datos de manera adecuada como se muestra en la figura 15.

Figura 15

Post procesamiento con el software RTKlib



Nota: Ingreso de datos para el post procesamiento y corrección de coordenadas

El resultado obtenido es un archivo de solución (figura 16) que se utilizará para poder corregir las coordenadas del centro de foto, aunque dentro de las soluciones se pueden obtener datos de corrección fija y flotante, que reduce el error de posicionamiento.

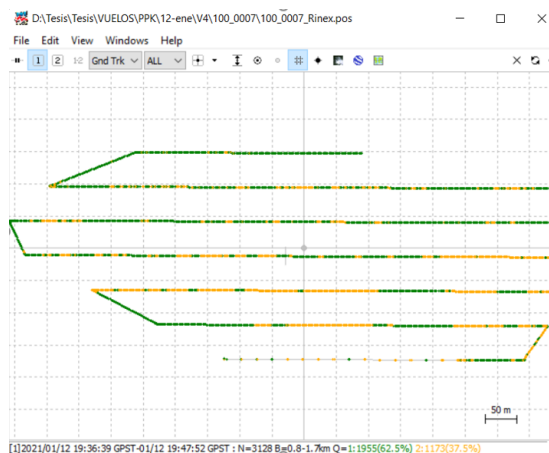
Considerando que se repitieron 2 vuelos, dado que no se pudo post procesar la información, debido a un problema específico del equipo usado. Se redujo la velocidad del desplazamiento al momento del vuelo para una mejor recepción de los datos GNSS satelitales y poder continuar con el proceso.

Se obtiene el archivo de soluciones y el archivo con extensión .MRK, el cual posee el tiempo de captura de cada una de las imágenes a través de este proceso que permite extraer la coordenada exacta de cada imagen.

Se utilizó un programa generado por AEROTAS, en extensión .xls que extrae las coordenadas con la finalidad de hacer un proceso más rápido y no hacer la corrección de manera manual (AEROTAS, 2018).

Figura 16

Ejemplo de post procesamiento con RTKlib



Nota: Soluciones Flotantes y Fijas después de un post procesamiento

En el archivo en formato .xls se ingresan los datos de los archivos con extensión .MRK y así obtener un archivo .CSV (figura 17) que servirá para ingresar en el programa de post procesamiento y de esta manera corregir las coordenadas de centros de foto y continuar con el procesamiento de manera normal.

Figura 17

Archivo libre de enlace de coordenadas por (AEROTAS, 2018)

This file was created to assist in the PPK processing workflow for the DJI Phantom 4 RTK unit. The input position file comes from RTKPOST, and the input TimeStamp file comes from the DJI Phantom 4 RTK aircraft itself. For full instructions and documentation, visit the Aerotas website below.
<<<Link to instructions>>>

Instructions

Step 1: If this file has been used before, click the button below to reset it to default settings.

Reset File to Starting Format

Step 2: In the yellow box below, enter in the name of the DJI folder in which the photos are stored. This is important for properly naming the photos so that photogrammetry algorithms can match the location data from this file to the photos

100_0001

Step 3: Take the .pos file from RTKPOST, convert it to CSV format, and copy it into the Yellow "Position File" tab on cell B1. This should populate columns B-P.

Please paste in Position data

Step 4: Take the timestamp.mrk file from DJI, and paste its contents into the "TimeStamp" tab in blue, on cell A2. This should populate columns A-K.

Please paste in TimeStamp data

Step 5: Press the button below to perform calculations.

OK

Calculate Interpolation & Position Offset

Step 6: After reviewing the data, press the final button to save the output as a CSV file for input into photogrammetry software.

Save Output as CSV file

Instructions Calculations Position File TimeStamp Output

Nota: Primera hoja donde muestran las indicaciones de enlace de post procesamiento (AEROTAS, 2018).

Método RTK

El método de corrección en tiempo real, su principio básico es corregir la coordenada de centro de foto en el momento de captura de la imagen. Por esto, partiendo de las imágenes en

las que se volaron, sin uso de GNSS diferencial, permite saber en qué lugares es mejor poner la antena GNSS que se conectará al móvil (dron).

Se debe obtener las coordenadas del punto en donde vamos a posicionar la antena GNSS diferencial cinemática fija, para el presente estudio se utilizó una antena marca DJI con especificaciones de posicionamiento y recepción de datos que se especifica en la tabla 4.

Para la obtención de las coordenadas se usó la antena GNSS diferencial mencionada en la tabla 3, se realizó el proceso de recolección de datos de manera similar a los GCP, se da como resultado los datos Rinex de todas las coordenadas para la antena RTK.

Se realizó el mismo tipo de procesamiento desarrollado con los GCP, con la estación de monitoreo continuo QUI1, se puede obtener los detalles de procesamiento de líneas base en el anexo 2, dando las coordenadas para posicionamiento de la antena RTK que se muestran en la tabla 9.

Tabla 9

Coordenadas de puntos para la estación base RTK

| Punto | Este (Metro) | Norte (Metro) | Elevación (Metro) |
|--------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|
| RTK 1 | 779493,763 | 9976052,362 | 2825,160 |
| RTK 2 | 779934,624 | 9976461,755 | 2817,689 |
| RTK 3 | 779864,260 | 9975697,698 | 2767,918 |
| RTK 4 | 779554,898 | 9976259,290 | 2819,793 |
| RTK 5 | 780081,289 | 9975556,893 | 2742,655 |
| RTK 6 | 779936,359 | 9975910,826 | 2769,246 |
| RTK 7 | 779545,560 | 9975855,653 | 2826,815 |
| RTK 8 | 780169,027 | 9975887,614 | 2748,692 |
| RTK 9 | 780331,417 | 9976043,482 | 2742,649 |
| RTK 10 | 780445,150 | 9976085,387 | 2721,507 |
| RTK 11 | 779730,850 | 9975413,340 | 2678,364 |
| RTK 12 | 779354,964 | 9975457,285 | 2690,837 |

Nota: La tabla muestra las coordenadas corregidas para utilizar un enlace RTK.

De esta manera en campo se introduce la coordenada del punto y se puede corregir en tiempo real la coordenada del centro de foto. Para esto, las coordenadas ingresadas del GNSS diferencial de referencia se encuentran en grados decimales. Se puede visualizar en la figura 18 la conexión de la antena durante el vuelo y como es el posicionamiento de la antena GNSS diferencial fija.

Figura 18

Vuelo con el método RTK



Nota: En la figura se puede ver el vuelo y los errores de precisión en latitud, longitud y altura.

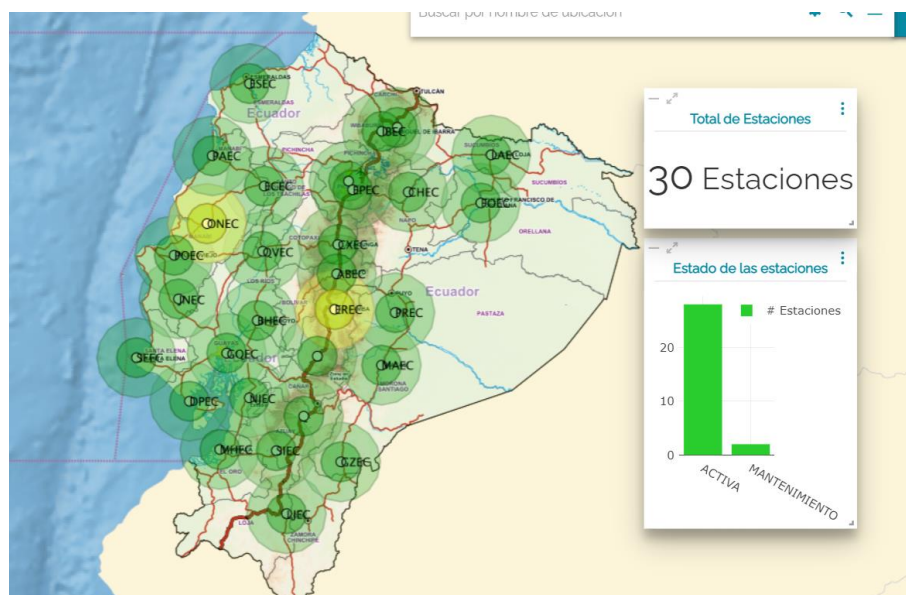
Método NTRIP

El método NTRIP requiere de conexión de internet lo cual es una limitante, en lugares que posean conectividad es un método muy eficiente. Pues, no requiere post- procesamientos o la implementación de puntos base en campo como los métodos anteriores.

La implementación de este método dependerá de la disposición de la conexión verificando en la página del ente regulador y el encargado de brindar este servicio dentro del territorio ecuatoriano, el Instituto Geográfico Militar (IGM), dentro de su geo portal brinda en su visor geográfico el alcance de las estaciones que ofrece este servicio (figura 19), para el estudio se conectó con la estación EPEC, ubicada en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Figura 19

Visor geográfico de cobertura NTRIP (IGM, 2021)



Nota: En la figura se puede ver el alcance del servicio NTRIP alrededor de todo el país.

Para acceder al servicio es necesario crear una cuenta con un correo electrónico único, el sistema envía el nombre de usuario y contraseña que permite el ingreso al geo portal, conjuntamente con el dominio de conexión principal y secundario. Se puede visualizar la información necesaria para conectar con esta asistencia en la tabla 10.

Tabla 10

Información necesaria para conexión NTRIP (IGM, 2021)

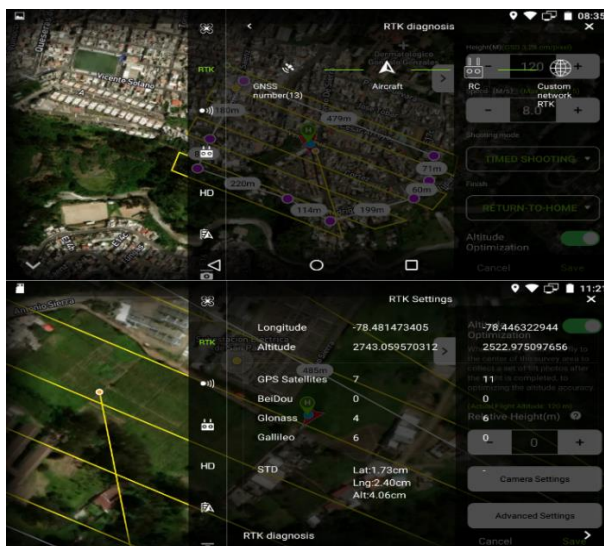
| Datos de Conexión | |
|--------------------------|---|
| Dominio Principal | regme- ip.igm.gob.ec |
| Dominio Secundario | regme- ip.esPOCH.edu.ec |
| Puerto | 2101 |
| Usuario asignado | ----- |
| Contraseña asignada | ----- |

Nota: El usuario y contraseña asignada es personal el resto de información es libre.

Una vez ingresados los datos dentro del equipo se realiza la conexión (figura 20), para poder corregir y ejecutar el plan de vuelo conforme se indica en la figura 9 y continuar con el proceso fotogramétrico hasta llegar a obtener las imágenes con este método.

Figura 20

Diagnóstico de conexión NTRIP



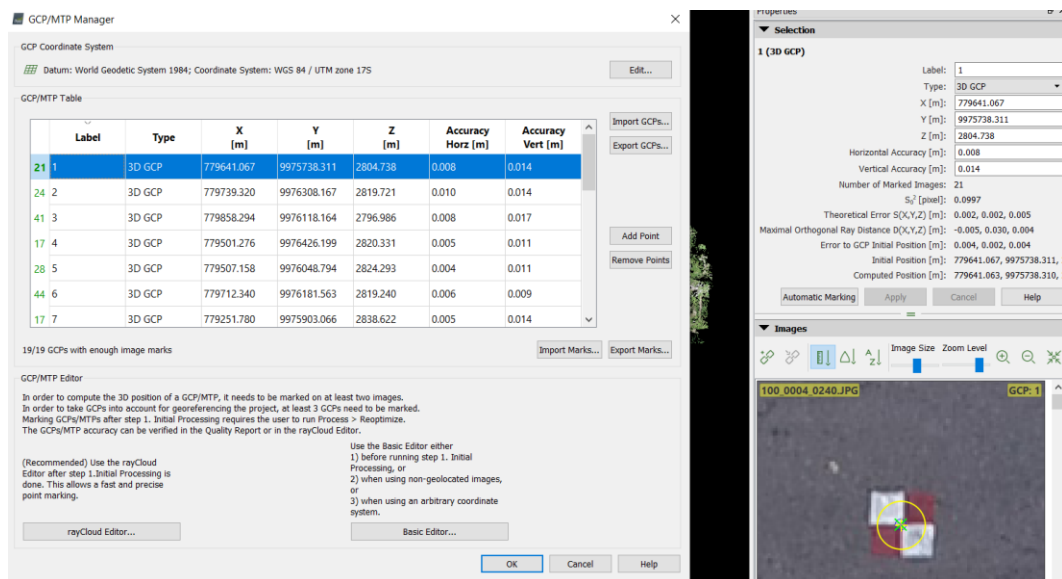
Nota: Se muestra la verificación de conexión de red y los errores de posicionamiento en latitud, longitud y altura.

Puntos de Apoyo Fotogramétrico en el Software Pix4D (GCP)

El proceso consiste en ingresar las coordenadas e ir realizando un proceso manual de identificación de puntos de control, mediante un clic, en donde es foto identificable el centro de la marca, tal como se muestra en la figura 21, se puede continuar con el proceso para obtener los productos derivados del proceso fotogramétrico.

Figura 21

Ingreso de GCP y proceso manual de corrección externa en el software Pix 4D



GCP/MTP Manager

GCP Coordinate System
Datum: World Geodetic System 1984; Coordinate System: WGS 84 / UTM zone 17S

GCP/MTP Table

| Label | Type | X [m] | Y [m] | Z [m] | Accuracy Horiz [m] | Accuracy Vert [m] |
|-------|--------|------------|-------------|----------|--------------------|-------------------|
| 21 1 | 3D GCP | 779641.067 | 9975738.311 | 2804.738 | 0.008 | 0.014 |
| 24 2 | 3D GCP | 779739.320 | 9976308.167 | 2819.721 | 0.010 | 0.014 |
| 41 3 | 3D GCP | 779858.294 | 9976118.164 | 2796.986 | 0.008 | 0.017 |
| 17 4 | 3D GCP | 779501.276 | 9976426.199 | 2820.331 | 0.005 | 0.011 |
| 28 5 | 3D GCP | 779507.158 | 9976048.794 | 2824.293 | 0.004 | 0.011 |
| 44 6 | 3D GCP | 779712.340 | 9976181.563 | 2819.240 | 0.006 | 0.009 |
| 17 7 | 3D GCP | 779251.780 | 9975903.066 | 2838.622 | 0.005 | 0.014 |

19/19 GCPs with enough image marks

GCP/MTP Editor

In order to compute the 3D position of a GCP/MTP, it needs to be marked on at least two images. In order to take GCPs into account for georeferencing the project, at least 3 GCPs need to be marked. Marking GCPs/MTPs after step 1. Initial Processing requires the user to run Process > Reoptimize. The GCPs/MTP accuracy can be verified in the Quality Report or in the rayCloud Editor.

(Recommended) Use the rayCloud Editor after step 1. Initial Processing is done. This allows a fast and precise point marking.

Use the Basic Editor either
1) before running step 1. Initial Processing, or
2) when using non-geolocated images, or
3) when using an arbitrary coordinate system.

Selection

1 (3D GCP)

Label: 1
Type: 3D GCP
X [m]: 779641.067
Y [m]: 9975738.311
Z [m]: 2804.738
Horizontal Accuracy [m]: 0.008
Vertical Accuracy [m]: 0.014
Number of Marked Images: 21
S₀² [pixel]: 0.0997
Theoretical Error S(X,Y,Z) [m]: 0.002, 0.002, 0.005
Maximal Orthogonal Ray Distance D(X,Y,Z) [m]: -0.005, 0.030, 0.004
Error to GCP Initial Position [m]: 0.004, 0.002, 0.004
Initial Position [m]: 779641.067, 9975738.311, 2804.738
Computed Position [m]: 779641.063, 9975738.310, 2804.738

Automatic Marking Apply Cancel Help

Images

100_0004_0240.JPG GCP-1

Nota: Se puede visualizar un ejemplo del proceso manual con el GCP # 1

Terminado el proceso se visualiza dentro de la tabla de variancia de geolocalización (tabla 11) que es el error de geolocalización X, Y, Z solo con los centros de foto sin los GCP, muestran el porcentaje de imágenes con errores de geolocalización dentro de los intervalos de error predefinidos. El error de geolocalización es la diferencia entre las posiciones de la imagen inicial y calculada. (Pix4D, 2021).

Tabla 11

Tabla de variancia de geolocalización absoluta

| Min Error [m] | Max Error [m] | Error de Geolocalización X [%] | Error de Geolocalización Y [%] | Error de Geolocalización Z [%] |
|---------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| - | -0,13 | 0 | 0 | 0 |
| -0,13 | -0,1 | 0 | 0 | 0 |
| -0,1 | -0,08 | 0 | 0 | 0 |
| -0,08 | -0,05 | 0 | 0 | 2,18 |
| -0,05 | -0,03 | 0 | 0 | 8,73 |
| -0,03 | 0 | 48,56 | 50 | 40,27 |
| 0 | 0,03 | 51,44 | 50 | 37,39 |
| 0,03 | 0,05 | 0 | 0 | 9,55 |
| 0,05 | 0,08 | 0 | 0 | 1,79 |
| 0,08 | 0,1 | 0 | 0 | 0,09 |
| 0,1 | 0,13 | 0 | 0 | 0 |
| 0,13 | - | 0 | 0 | 0 |

Nota: Ejemplo del error de posicionamiento de las imágenes sin traslación por los GCP, tomada del reporte de procesamiento RTK sin puntos de control (Anexo 1)

Re optimización de puntos

Este paso se lo realiza solo en el caso de haber ingresado GCP, caso contrario se continúa con la generación de nube de puntos. La re optimización es llevar a cabo la traslación de toda el área de procesamiento en los 3 ejes, como se indica en la tabla 12. Esto hace que el proceso de la orientación externa se lleve a cabo de mejor manera y con mejores resultados para el geoposicionamiento.

La re optimización y el traslapo realizado permite tener un mejor control de calidad, ya que se obtiene coordenadas fijas dentro del área de estudio, y permite al programa generar un RMS entre los puntos obtenidos por las coordenadas de centros de foto y las coordenadas fijas adquiridas por método de estático rápido de un GNSS diferencial. En caso de no poseer los GCP

no se desplazaría los productos, lo que mantendría el error que establece la tabla de varianza de geolocalización como se observa en la tabla 11.

Al terminar el proceso de re-optimización se puede ver en cada reporte de calidad (anexo 1) el desplazamiento promedio en metros que tuvo que hacer el programa para obtener una geolocalización, asumiendo las correcciones de desplazamiento en los tres ejes como se visualiza en la tabla 12.

Tabla 12

Tabla de desplazamiento en los tres ejes X, Y, Z

| Sesgo de geolocalización | X | Y | Z |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Traslación [m] | -0,093422 | -0,199182 | -0,149365 |

Nota: El desplazamiento esta entre la posición inicial y el producto final del procesamiento.

Nube de Puntos

La nube de puntos es el siguiente proceso que se genera al finalizar la orientación interna y externa. La nube de puntos que el sistema de extracción de características Structure for Motion, logra pasar de un sistema 2D a un sistema 3D de carácter vectorial con una cantidad de puntos directamente proporcionales a la calidad del producto que necesitamos. Es decir, a mayor calidad de trabajo se tendrá un alto número de densificación de puntos por metro cúbico.

De esta manera se logra obtener la nube de puntos densa de toda el área de estudio, y llevarla a una clasificación automática del programa, facilitando la generación del MDT ya que parte de una base ya clasificada por algoritmos, como se muestra en la figura 22 que evidencia la clasificación automática del programa de las clases identificadas.

Generación de ortomosaicos y subproductos

El software Pix4D toma como base la nube de puntos para poder generar el ortomosaico conjuntamente con las imágenes adquiridas por el dron, donde la nube de puntos permite generar el modelo digital de superficies, uno de los subproductos principales del proceso fotogramétrico.

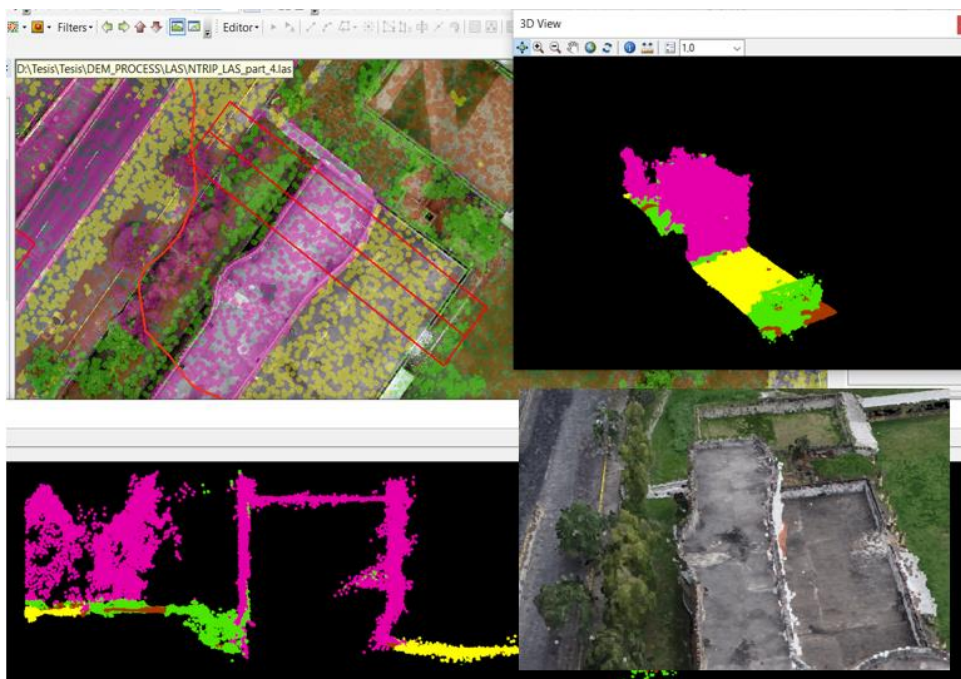
Las distorsiones causadas por el relieve se corrigen en una combinación entre el modelo digital de superficies y las imágenes, dando como producto final el ortomosaico que posee características métricas y es la razón por la que se puede generar cartografía, siendo la base del proceso de digitalización se evalúa el ortomosaico generado y el modelo digital de superficies en la exactitud posicional.

Modelo digital del terreno (MDT)

A través de la nube de puntos y de una clasificación automática por el programa fotogramétrico, se manipula de manera más adecuada los datos de la nube de puntos densa, en donde se confirma o reclasifica la nube considerando parámetros tanto de perfil como espacial 3D características que ofrece efectuar en el software Arcgis, visualizar figura 22.

Figura 22

Ejemplo de reclasificación de la nube de puntos en el software ArcGis y Pix4D.



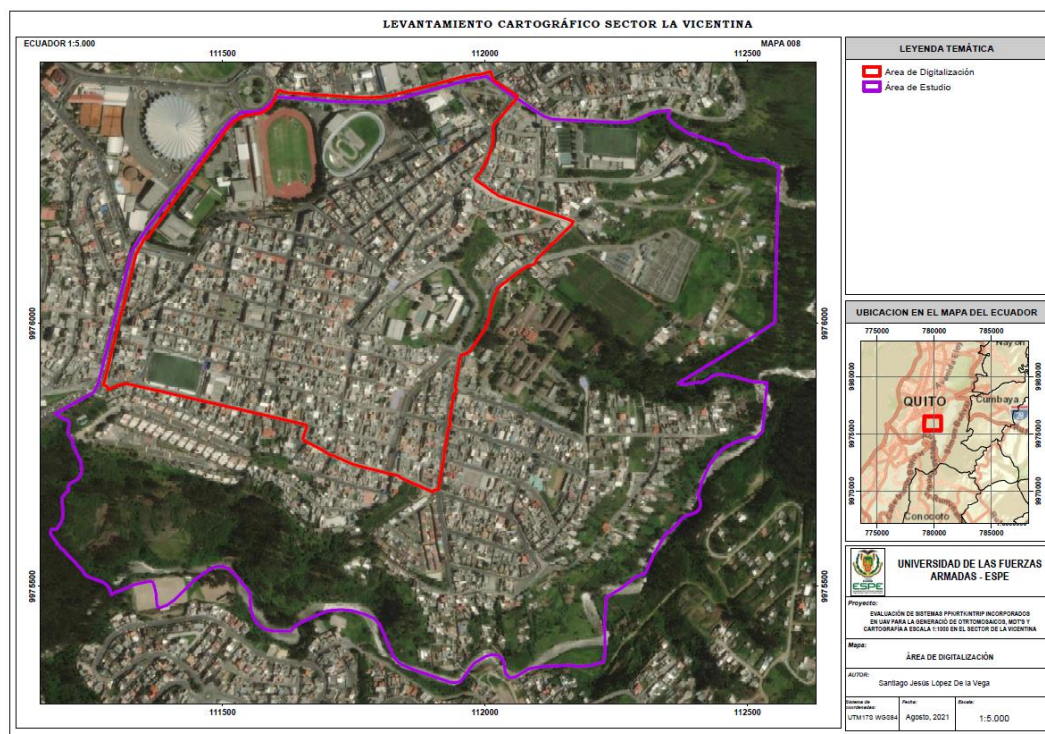
Nota: Edición supervisada de nube de puntos densa para la generación de MDT.

De esta manera se logra obtener un modelo digital del terreno solo con los puntos que involucran al suelo, los demás puntos se los puede retirar ya que no intervienen en este proceso, una vez que se generó el MDT (figura 7) el mismo que será uno de los subproductos generados para cumplir con los objetivos del estudio (anexo 3).

Generación de Cartografía

La cartografía se llevó a cabo en 41.78 ha, cumpliendo con el objetivo del plan marcado inicialmente que eran 40 ha que se encuentra demostrado en la GDB como se puede observar en la figura 23. Dentro de este espacio se digitalizó manzanas, predios, ejes viales, tapas de alcantarillado, sumideros y edificaciones menores a dos metros de altura.

Figura 23

Área de digitalización

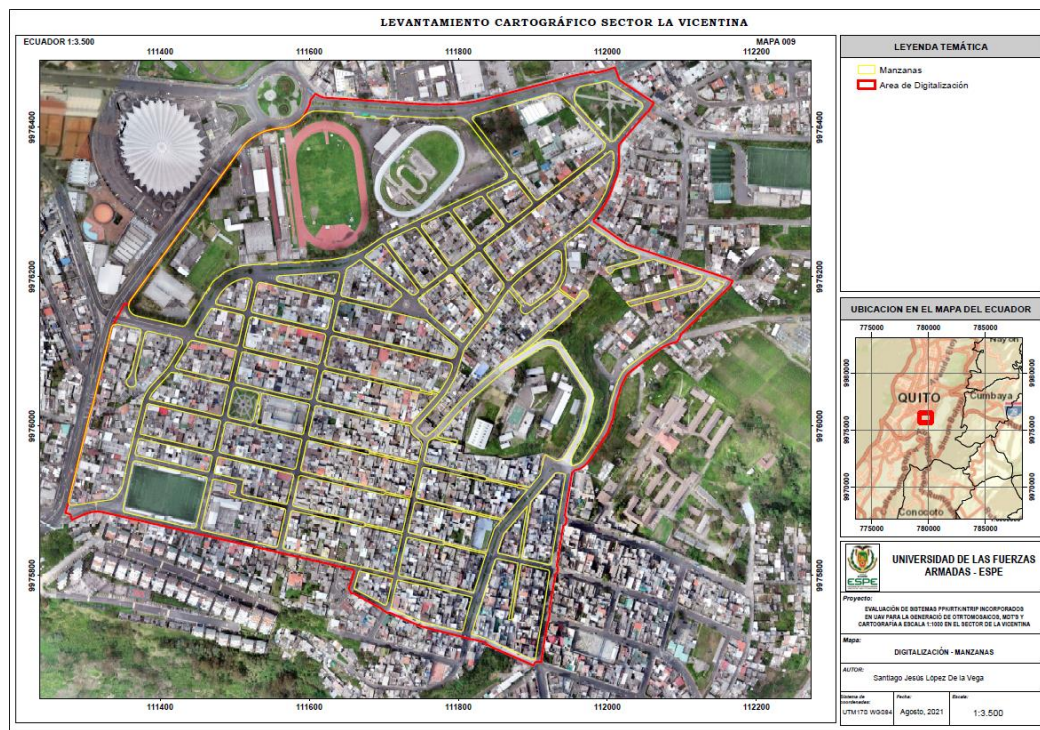
Nota: Se establece el área de digitalización cartográfica

Los objetos digitalizados se encuentran en una Geo Data Base (GDB) (anexo 3), cada una con su topología correspondiente y sus atributos de acuerdo al catálogo nacional de objetos. Se siguieron las siguientes especificaciones para cada objeto.

Manzana

El criterio de Manzana para la digitalización fue tomando en cuenta la acera o vereda que forma parte de la misma, puede ser seccionada por una vía o un pasaje, siempre y cuando no tenga continuidad de predios, tal como se visualiza en la figura 24, el mapa con su respectiva digitalización, y sus atributos fueron tomados del catálogo de objetos nacional (SNI, 2013).

Figura 24

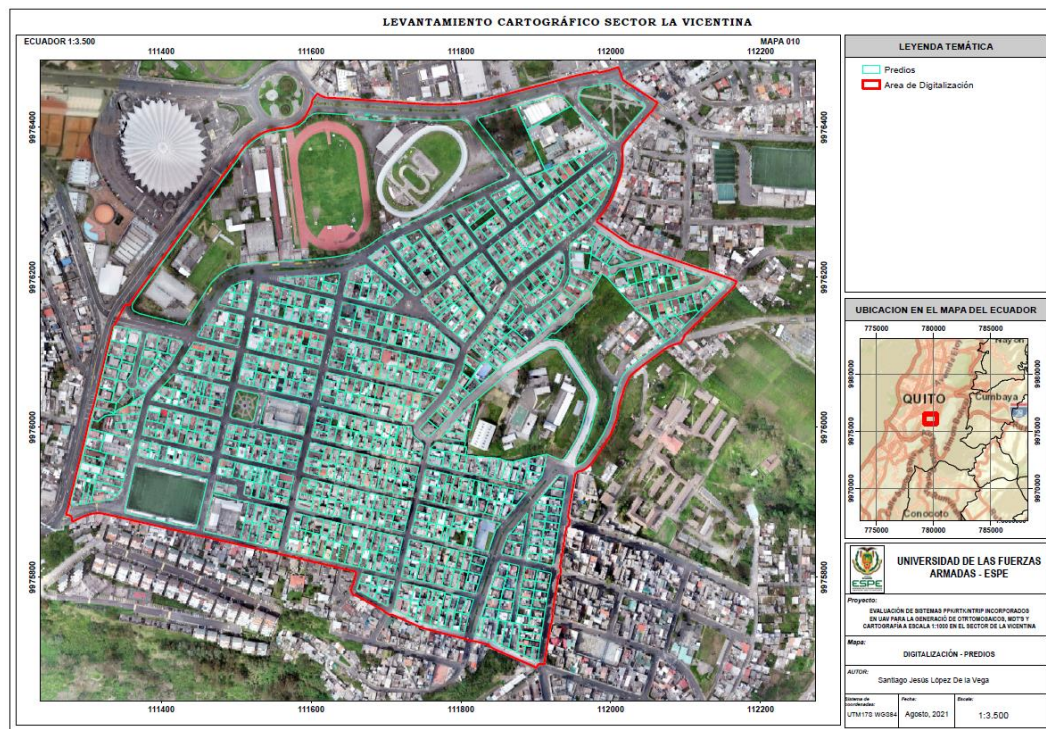
Digitalización de manzanas

Nota: Se puede visualizar las manzanas del área de digitalización

Predios

Los predios tienen un criterio de digitalización de cambio de uso o dueño de vivienda, como nuestro espacio geográfico es netamente urbano se diferencian por cerramientos o límites de construcción (figura 25). Para los atributos de los objetos se tomó de referencia el catálogo de objetos nacional, al no estar especificado se generó atributos los cuales se puedan llenar por parte del estudio. (SNI, 2013).

Figura 25

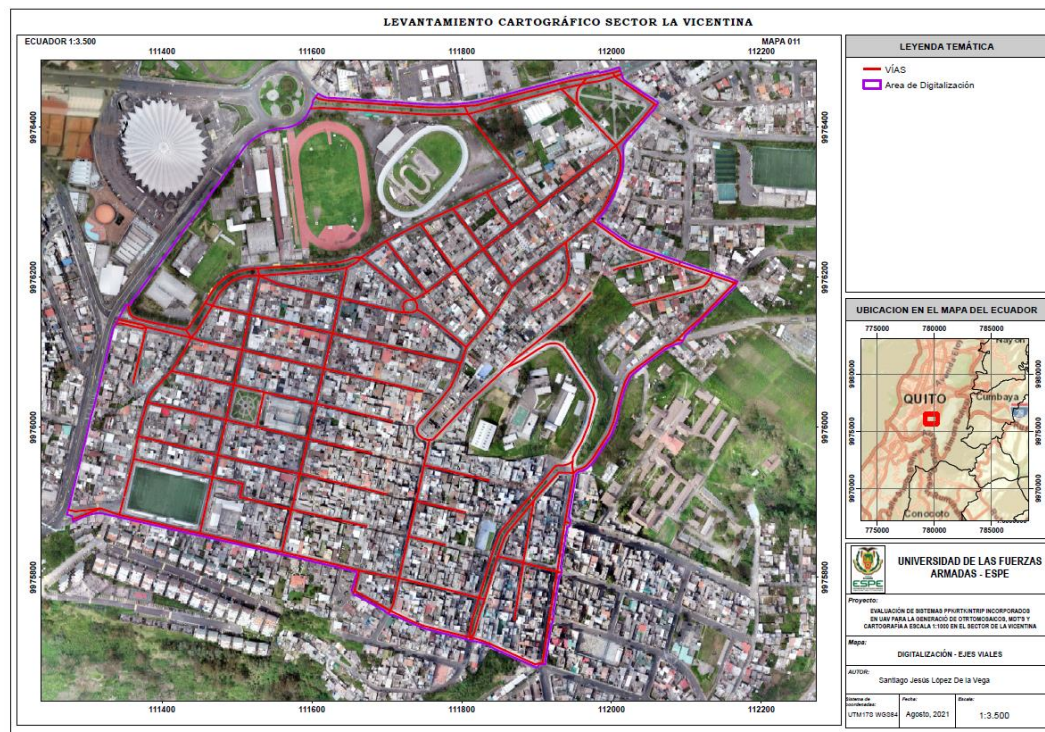
Digitalización de Predios

Nota: Se indica los predios del área de digitalización

Eje vial

Los criterios de digitalización para los ejes viales obedecen principalmente al material, ya sea pavimento o asfalto, que vaya por el centro de vía y divisor de manzanas, de esta manera se pudo lograr su digitalización como se indica en la figura 26, los atributos se tomaron de igual manera del catálogo de objetos nacional.

Figura 26

Digitalización de ejes viales

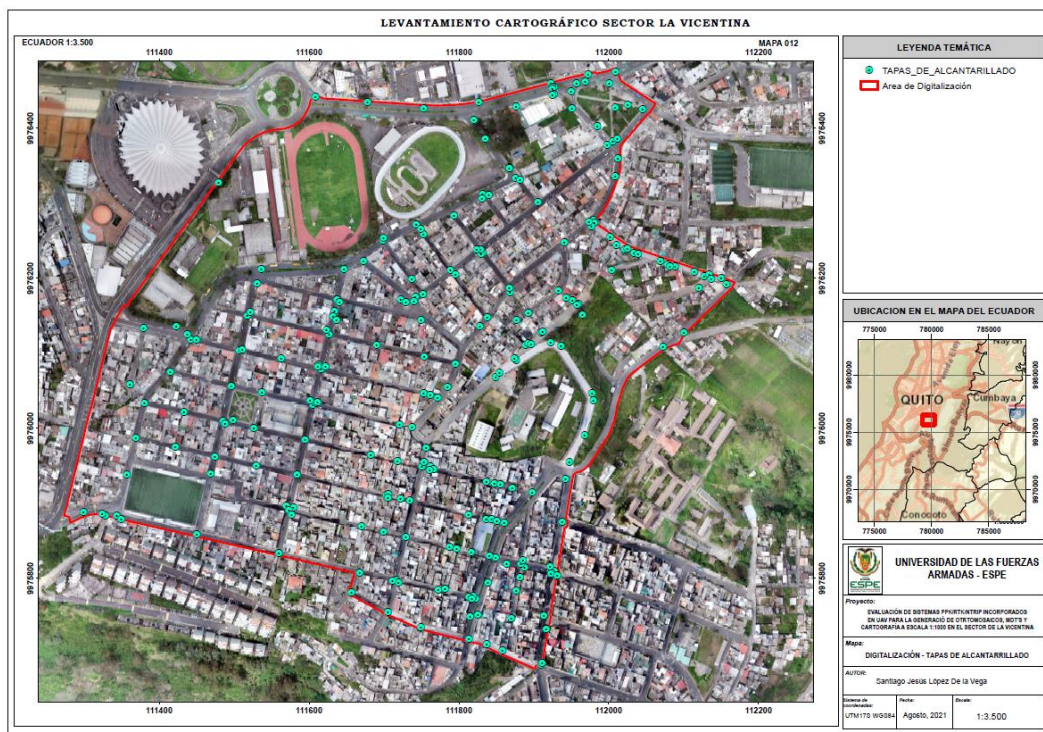
Nota: Se resalta el eje vial dentro del área de digitalización.

Tapas de alcantarillado

Las tapas de alcantarillado tienen un criterio específico que consistió en tomar las tapas cuadradas foto identificables, exactamente en el centro de alcantarilla, para sus atributos de igual manera se tomó los criterios del catálogo nacional de objetos. En la figura 27 se ve los puntos de alcantarillado.

Figura 27

Digitalización tapas de alcantarillado

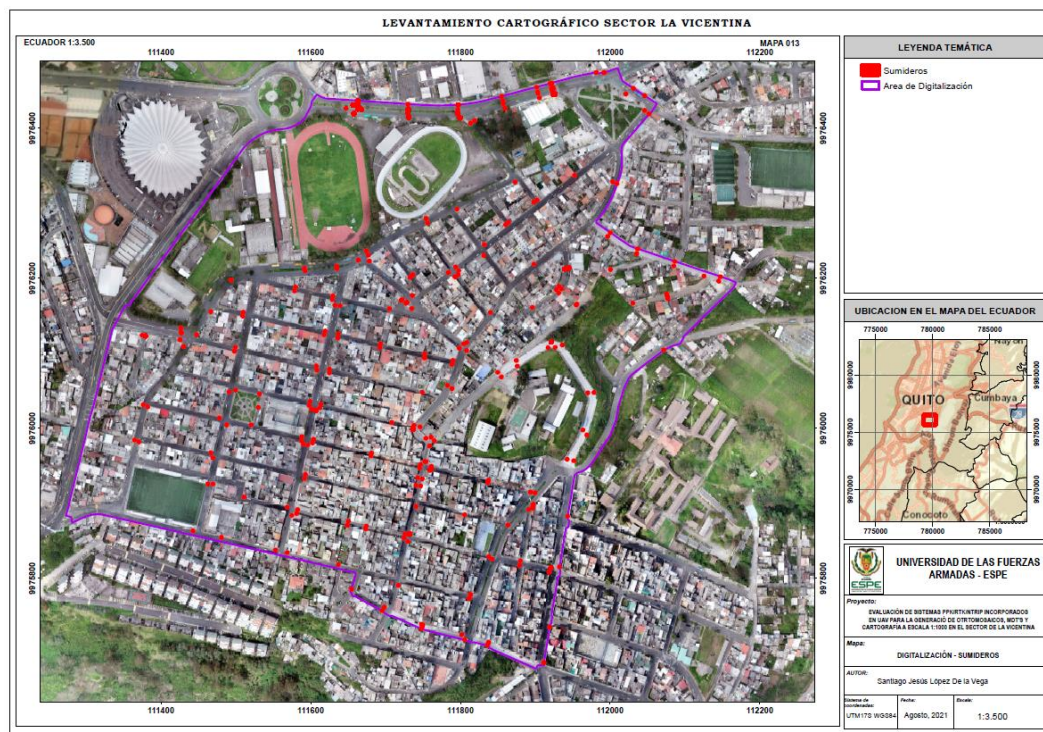


Nota: Se muestra las tapas de alcantarillado del área de digitalización.

Sumideros

Los sumideros foto identificables fue el único criterio para poder digitalizar este objeto con una tabla de atributos tomada del catálogo de objetos nacional, y se puede ver la distribución en el mapa de la figura 28.

Figura 28

Digitalización sumideros

Nota: en la figura se ve la digitalización de sumideros.

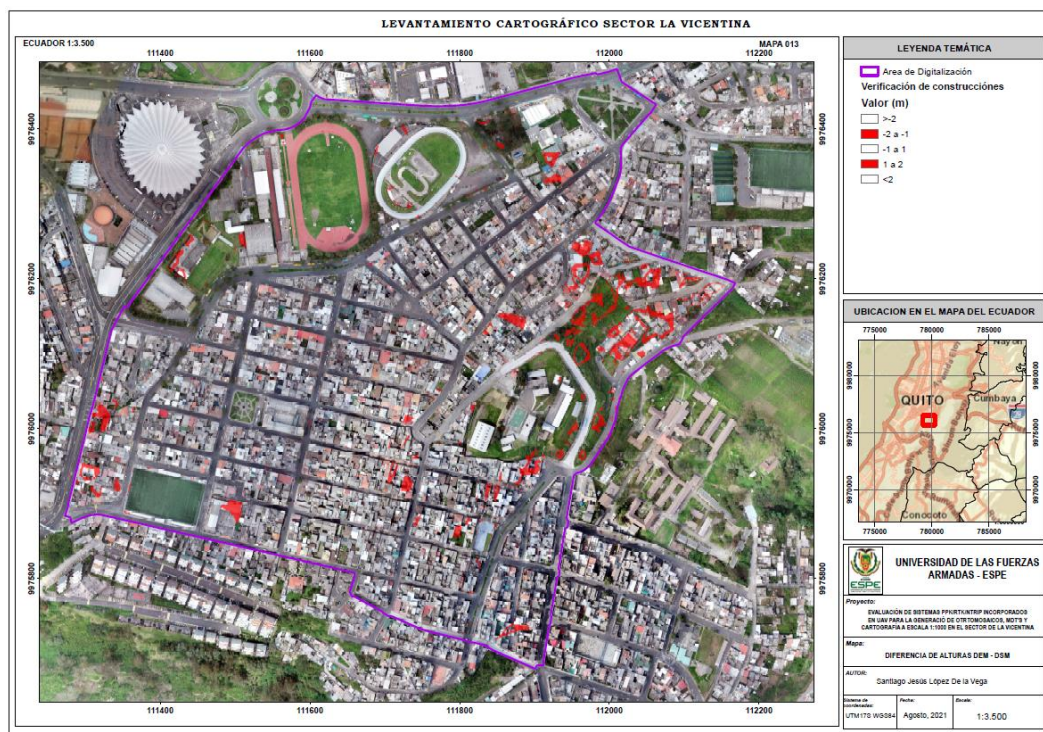
Construcciones menores a 2 m.

Para determinar que en realidad cumplen con el criterio del objeto de estar menor a 2 metros de altura y ser una construcción, se generó una diferencia de alturas entre el modelo digital del terreno y el modelo digital de superficies, donde se verifica de manera individual las áreas de dimensiones mayores a 2 metros, como se muestra en la figura 29, además también se tomó como referencia el catálogo de objetos para colocar los atributos.

Es importante mencionar que se descartó coberturas como tejados que formaban parte de una construcción con desnivel y parte del mismo es inferior a 2 m, pero no el objeto total. Se obtuvo pocos objetos en esta capa.

Figura 29

Diferencia de alturas DEM - DSM



Nota: Se ve la diferencia de alturas entre el DSM y el DEM que permitió verificar las construcciones menores a 2 m de altura.

Establecimiento de puntos de chequeo

Según la NSSDA, para obtener un grado de confianza, de determinada área se debe establecer más de 20 puntos de chequeo, para el presente estudio se consideró 30 puntos en los cuales se provee que sean foto identificables. De estos 30 puntos se utilizaron 27 (tabla 13) dos de ellos se descartaron porque en algunos ortomosaicos hay objetos como vehículos que impiden la visualización fotogramétrica, y en uno de ellos el estático rápido no presenta las precisiones requeridas para contar como un punto de chequeo, los puntos eliminados en su numeración son 4, 17, 30, se muestra el informe de procesamiento en el anexo 2.

Los 27 puntos de chequeo se procesaron de igual manera que los GCP en el software especializado TBC para obtener las coordenadas mostradas en la tabla 13 y se puede ver su distribución geográfica en la figura 30.

Tabla 13

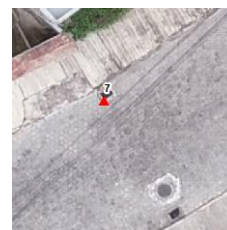
Puntos de Chequeo para comprobación de geoposicionamiento.

| Número de Punto | Este (Metro) | Norte (Metro) | Elevación (Metro) | Imagen |
|-----------------|--------------|---------------|-------------------|---|
| PUNTO 1 | 779479,7441 | 9975943,954 | 2801,2417 |  |
| PUNTO 2 | 779338,1927 | 9976080,087 | 2805,327 |  |
| PUNTO 3 | 779340,7643 | 9976003,673 | 2804,9691 |  |
| PUNTO 5 | 779835,6158 | 9975623,136 | 2732,4965 |  |

PUNTO 6 779492,4731 9976178,7282 2796,3995



PUNTO 7 780292,7216 9976308,4079 2782,5237



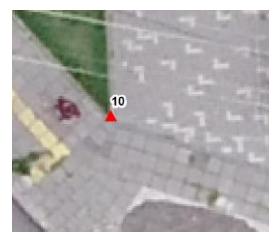
PUNTO 8 780135,4317 9976289,9321 2778,6739



PUNTO 9 779687,7117 9976431,1795 2793,7077



PUNTO 10 779980,3189 9976405,648 2796,3245



PUNTO 11 780017,6422 9976326,6556 2788,9282



PUNTO 12 780145,5671 9976220,1435 2756,9502



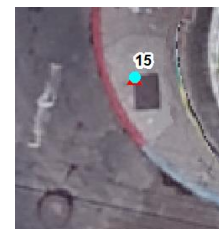
PUNTO 13 780154,7895 9976161,2228 2732,122



PUNTO 14 779861,9337 9976300,3854 2795,0182



PUNTO 15 779598,6965 9976103,4163 2795,1942



PUNTO 16 779650,8706 9975890,3452 2798,7573



PUNTO 18 779637,5901 9975700,0029 2766,7655



PUNTO 19 779462,6642 9976389,3639 2794,5679



PUNTO 20 779916,7836 9976161,2185 2772,9055



PUNTO 21 779806,319 9976109,0079 2780,9325



PUNTO 22 779696,056 9975975,8433 2789,7309



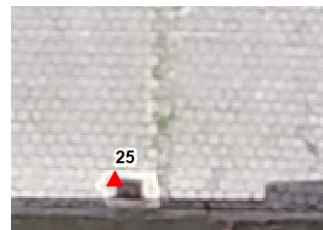
PUNTO 23 779805,5777 9975894,9047 2759,8196



PUNTO 24 780048,1643 9975582,6758 2719,3307



PUNTO 25 780292,4421 9975807,4252 2690,5327



PUNTO 26 780242,3274 9975674,9501 2690,088



PUNTO 27 779918,6737 9975979,4821 2750,1715



PUNTO 28 780062,0295 9975775,9039 2731,8184



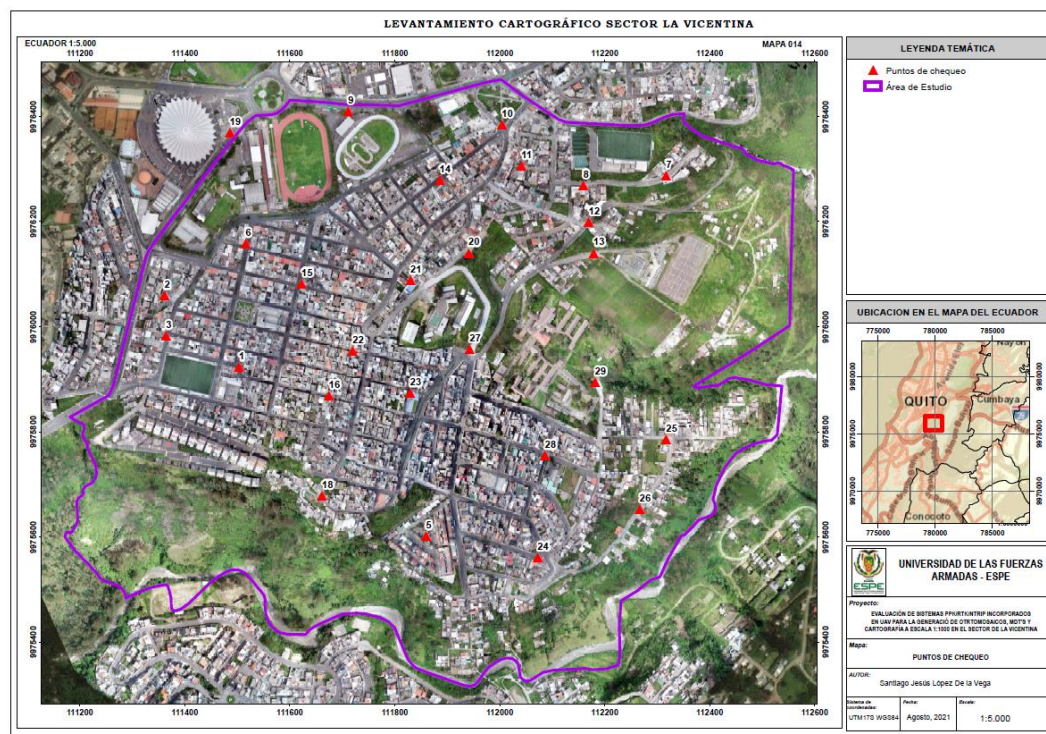
PUNTO 29 780157,6221 9975915,3698 2722,7728



Nota: Se puede identificar las coordenadas para cada uno de los puntos de chequeo con su respectiva imagen donde se demarca que es un punto foto identificable.

Figura 30

Puntos de Chequeo



Nota: Se puede visualizar en el mapa los 27 puntos de chequeo distribuidos en el área de estudio.

Generación de Ortomosaicos con la reducción del número de GCP

Dentro de la generación de ortomosaicos se estima generar el mismo número de productos derivados de la fotogrametría digital en los cuales varíe dentro del proceso de corrección externa el número de puntos de control (GCP) con la finalidad de poder determinar el número óptimo dentro del proceso. Para ello se realizan los procesamientos de acuerdo a la tabla 14.

Tabla 14

Número de procesos por cada método

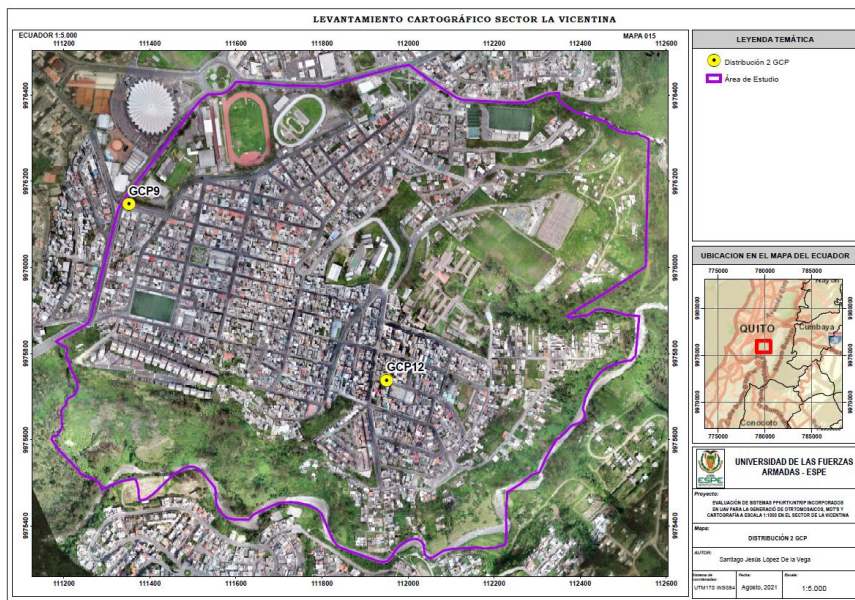
| Procesamiento | Normal | PPK | RTK | NTRIP |
|----------------------|---------------|------------|------------|--------------|
| 1 | 19 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -- | 2 | 2 | 2 |
| 3 | -- | 4 | 4 | 4 |
| 4 | -- | 8 | 8 | 8 |
| 5 | -- | 12 | 12 | 12 |
| 6 | -- | 19 | 19 | 19 |

Nota: Se puede ver el número de procesamientos que se realizó por cada método con el número de GCP.

Dentro de cada procesamiento con toma de datos GNSS cinemáticos diferenciales se puede destacar que se realizan 6 procesos por cada uno que dan un total de 18 procesos, además de un proceso extra que es la cartografía normal o sin metodología de GNSS diferencial cinemática. La distribución de GCP fueron de manera que cubran toda el área dependiendo del número de puntos de control, en el caso de los 19 GCP se utilizó la distribución de la figura 10, para el caso de 2, 4, 8, 12 tal como se visualiza en las figuras 31, 32, 33 y 34.

Figura 31

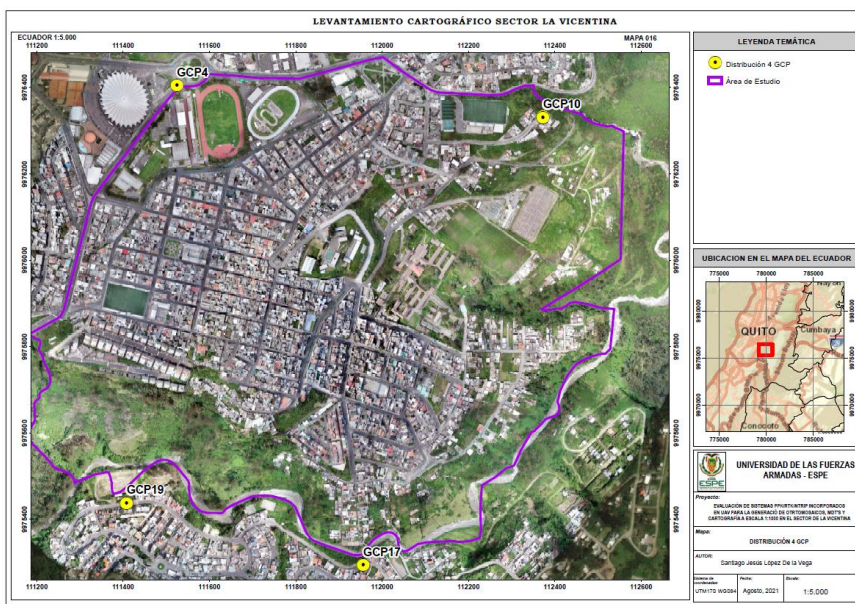
Distribución 2 puntos de control



Nota: Se visualiza la distribución en el proceso con 2 puntos de control.

Figura 32

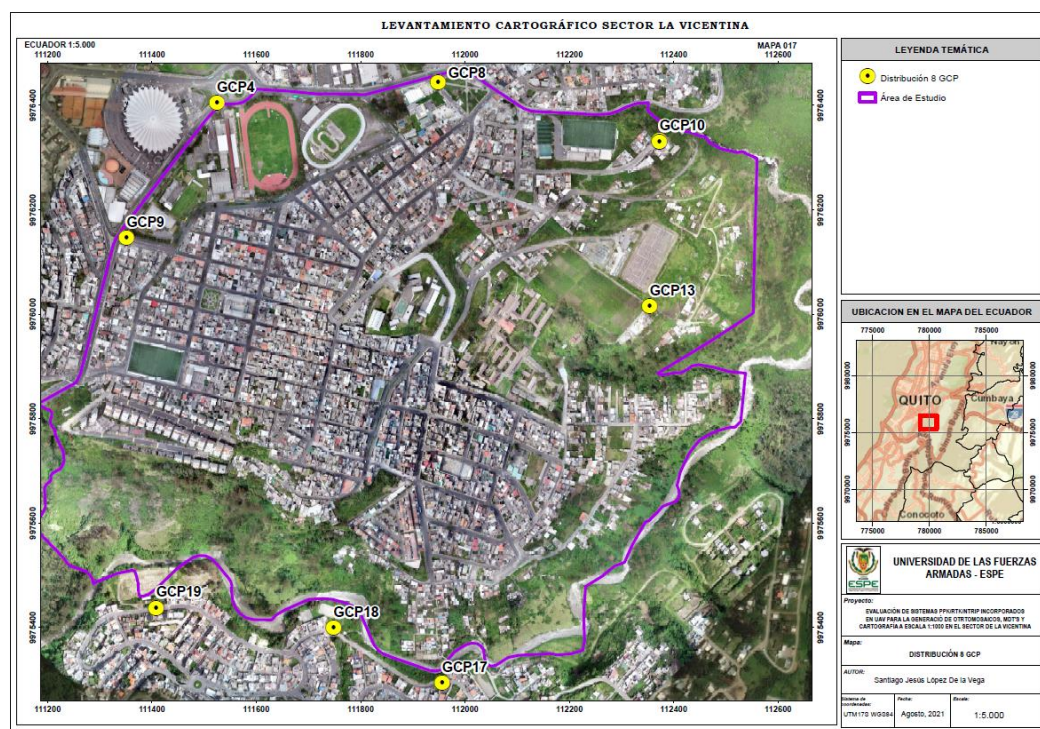
Distribución 4 puntos de control



Nota: Se visualiza la distribución en el proceso con 4 puntos de control.

Figura 33

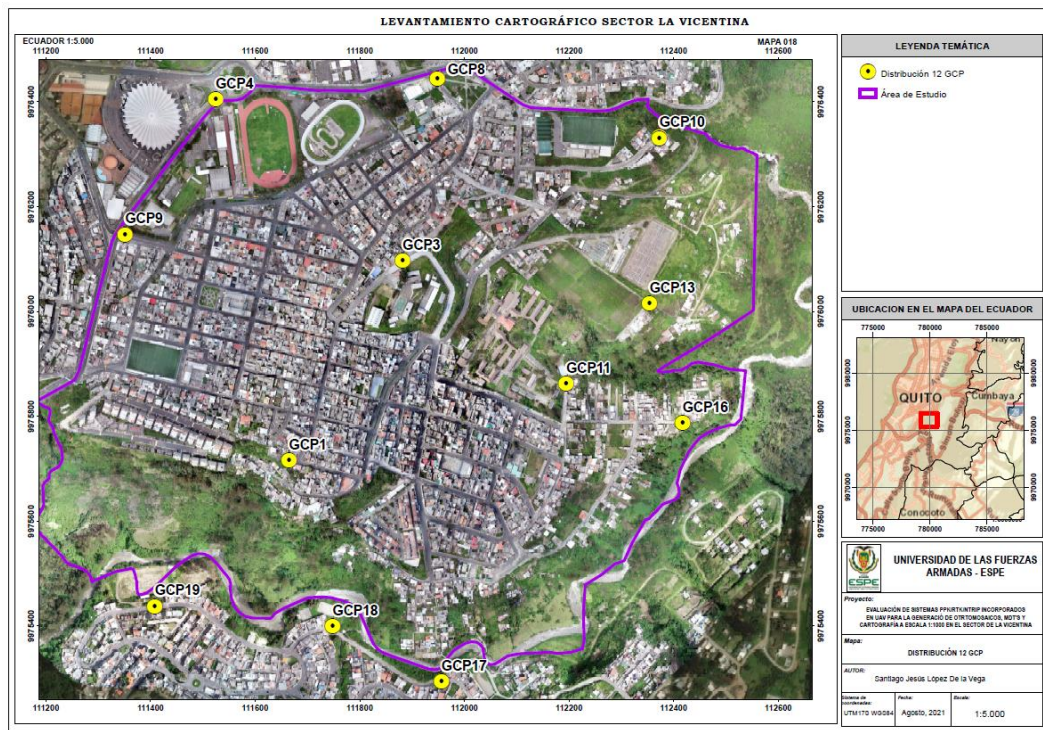
Distribución 8 puntos de control



Nota: Se visualiza la distribución en el proceso con 8 puntos de control.

Figura 34

Distribución 12 puntos de control



Nota: Se visualiza la distribución en el proceso con 12 puntos de control.

Se obtuvo un total de 19 ortomosaicos con sus respectivos MDS, los cuales brindan a su vez, la posibilidad de ser evaluados en cuanto a la exactitud posicional, que cumplen con los objetivos del presente estudio.

Evaluación de exactitud posicional

Precisión Horizontal

Partiendo de los puntos de chequeo se toma como referencia la metodología de la NSSDA para obtener la precisión de los ortomosaicos; el proceso es identificar la coordenada de cada uno de los puntos de chequeo, pero dentro del ortomosaico, en donde se establecerá la

diferencia de posicionamiento en el eje X como en el eje Y, tomando en cuenta las siguientes ecuaciones se tomaron de (NSSDA, 1998).

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum (X_{ortomosaico,i} - X_{punto\ de\ chequeo,i})^2}{n}} \quad (1)$$

(2)

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_{ortomosaico,i} - Y_{punto\ de\ chequeo,i})^2}{n}}$$

Una vez establecido el error cuadrático medio en cada uno de los ejes X / Y, se puede determinar la precisión horizontal del ortomosaico. Para esto, se debe determinar si con el 95% de confianza estos RMSE en el eje X como en el eje Y son iguales o diferentes para ello se utiliza una prueba de hipótesis de Fisher, de diferencia de varianzas en donde permite determinar si la varianza de una muestra que para el estudio son los datos de diferencia de posicionamiento en el eje X, es igual o diferente a otra varianza que para el caso, es la diferencia de posicionamiento en el eje Y, tomando como desviación estándar al RMSE de cada uno de ellos. De esta manera se establece la prueba de hipótesis.

Ho: $RMSE_x = RMSE_y$ caso contrario la hipótesis alternativa es H1: $RMSE_x \neq RMSE_y$.

Para establecer la comparación se utiliza las siguientes ecuaciones tomada de (Montgomery & Runger, 2002):

$$F_o = \frac{\vartheta^2_{mayor}}{\vartheta^2_{menor}} \quad (3)$$

Donde ϑ representa la desviación estándar que en nuestro caso es el RMSE de cada uno de los ejes, en donde se compara cada uno de los F_o con los F críticos, fórmula tomada de (Montgomery & Runger, 2002).

$$F_{\text{crítico}} = \frac{gl \text{ numerador}}{gl \text{ denominador}} \quad (4)$$

Donde los grados de libertad son dados por la cantidad de datos de las muestras menos uno, para el presente estudio son 26 grados de libertad tanto para el numerador como para el denominador.

Se busca el F crítico en las tablas de Fisher con el 95% de confianza, asumiendo que el F crítico para todos los casos es 1.921. Si el F_o es mayor e igual que F crítico entonces se rechaza la hipótesis H_o y se acepta la hipótesis alternativa, caso contrario se acepta la hipótesis.

Una vez determinado si son o no iguales los RMSE, se utiliza la fórmula 5 para poder determinar el RMSE total y la precisión dependiendo del resultado de la prueba de hipótesis se usa la fórmula 6 o 7, las formulas 5,6,7,8,9 son tomadas de (NSSDA, 1998).

$$RMSE_{total} = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \quad (5)$$

En el primer caso donde el $RMSE_x = RMSE_y$ y entonces la precisión está determinada por la siguiente ecuación:

$$Precisión \text{ Horizontal} = 1.7308 * RMSE_{total} \quad (6)$$

Por otro lado, en el segundo caso donde el $RMSE_x \neq RMSE_y$ y la precisión se encuentra aproximada por la siguiente ecuación:

$$Precisión \text{ Horizontal} \sim 2.4477 * 0.5 * (RMSE_x + RMSE_y) \quad (7)$$

Precisión Vertical

Para poder obtener la precisión del componente vertical se realiza directamente con la siguiente fórmula:

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{(Z_{ortomosaico,i} - Z_{punto\ de\ chequeo,i})^2}{n}} \quad (8)$$

$$Precisión\ Vertical = 1.96 * RMSE_z \quad (9)$$

La precisión horizontal como vertical se realiza para cada uno de los ortomosaicos con la finalidad de poder obtener cada una de sus precisiones, y determinar si tienen una relación directa con el número de puntos de control.

Evaluación del número de GCP óptimo

Para la evaluación se generó la coordenada del punto de chequeo sobre cada punto foto identificable en los diferentes ortomosaicos, contraponiendo a los puntos de chequeo tomados con estáticos rápidos generados en campo (Anexo 6) y realizar la evaluación de exactitud posicional (tabla 15) determinando el número óptimo de puntos de control fotogramétrico en cada uno de los métodos.

Tabla 15

Errores cuadráticos medios

| Método | PPK SIN GCP [m] | PPK 2 GCP [m] | PPK 4 GCP [m] | PPK 8 GCP [m] | PPK 12 GCP [m] | PPK 19 GCP [m] |
|---------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| RMSE x | 0,3899 | 0,1541 | 0,0361 | 0,0276 | 0,0289 | 0,0279 |
| RMSE y | 0,3507 | 0,1173 | 0,1173 | 0,0406 | 0,0301 | 0,0298 |
| Fo | 1,2355 | 1,7271 | 10,5241 | 2,1608 | 1,0843 | 1,1452 |

| | | | | | | |
|---------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Prueba de Hipótesis | Acepta Ho | Acepta Ho | Rechaza Ho | Rechaza Ho | Acepta Ho | Acepta Ho |
| RMSE z | 9,7927 | 3,0027 | 0,1478 | 0,0789 | 0,0432 | 0,0426 |
| Método | RTK SIN GCP [m] | RTK 2 GCP [m] | RTK 4 GCP [m] | RTK 8 GCP [m] | RTK 12 GCP [m] | RTK 19 GCP [m] |
| RMSE x | 0,0291 | 0,0247 | 0,0275 | 0,0221 | 0,0228 | 0,0193 |
| RMSE y | 0,0304 | 0,0271 | 0,0233 | 0,0266 | 0,0231 | 0,0194 |
| Fo | 1,0914 | 1,2081 | 1,3876 | 1,4448 | 1,0284 | 1,0127 |
| Prueba de Hipótesis | Acepta Ho | Acepta Ho | Acepta Ho | Acepta Ho | Acepta Ho | Acepta Ho |
| RMSE z | 0,0211 | 0,0253 | 0,0626 | 0,0755 | 0,0633 | 0,0636 |
| Método | NTRIP SIN GCP [m] | NTRIP 2 GCP [m] | NTRIP 4 GCP [m] | NTRIP 8 GCP [m] | NTRIP 12 GCP [m] | NTRIP 19 GCP [m] |
| RMSE x | 0,0231 | 0,0197 | 0,0227 | 0,0199 | 0,0176 | 0,0124 |
| RMSE y | 0,0357 | 0,0344 | 0,0241 | 0,0204 | 0,0157 | 0,0132 |
| Fo | 2,3750 | 3,0607 | 1,1351 | 1,0438 | 1,2666 | 1,1369 |
| Prueba de Hipótesis | Rechaza Ho | Rechaza Ho | Acepta Ho | Acepta Ho | Acepta Ho | Acepta Ho |
| RMSE z | 0,0220 | 0,0291 | 0,0520 | 0,0595 | 0,0565 | 0,0482 |
| Método | NORMAL [m] | | | | | |
| RMSE x | 0,0257 | | | | | |
| RMSE y | 0,0302 | | | | | |
| Fo | 1,3817 | | | | | |
| Prueba de Hipótesis | Acepta Ho | | | | | |
| RMSE z | 0,0486 | | | | | |

Nota: Se indican los errores medios cuadráticos medidos en cada uno de los tres ortomosaicos en sus 3 ejes.

Se usó las anteriores fórmulas para poder encontrar la precisión horizontal y vertical en cada uno de los ortomosaicos, como se puede visualizar en la tabla 16 y en la figura 35, donde se delimita el número de puntos de control y la precisión que posee cada uno de los métodos

GNSS analizados con un gráfico comparativo, por un número determinado de puntos de control GCP.

Tabla 16

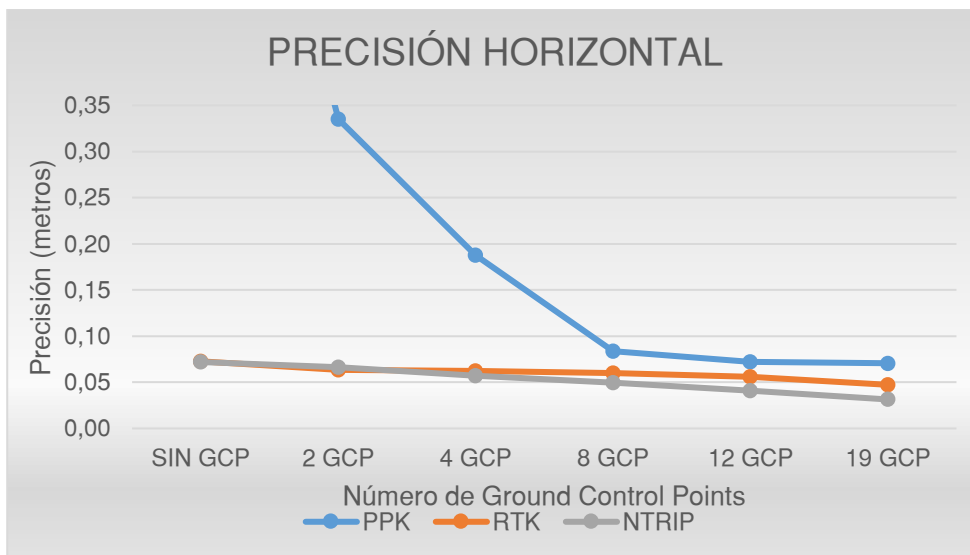
Precisión horizontal con diferencia de puntos de control

| GCP | Optimo Normal 19 GCP [m] | PPK [m] | RTK [m] | NTRIP [m] |
|-----|-----------------------------|------------|------------|--------------|
| 0 | ----- | 0,9076 | 0,0727 | 0,0720 |
| 2 | ----- | 0,3351 | 0,0635 | 0,0662 |
| 4 | ----- | 0,1877 | 0,0624 | 0,0573 |
| 8 | ----- | 0,0836 | 0,0599 | 0,0493 |
| 12 | ----- | 0,0721 | 0,0562 | 0,0408 |
| 19 | 0,0686 | 0,0707 | 0,0473 | 0,0314 |

Nota: Se visualiza las precisiones obtenidas con las fórmulas 6 y 7 que corresponden aplicar según lo explicado.

Figura 35

Precisión Horizontal de los ortomosaicos según el número de GCP.



Nota: Se visualiza una tabla con las precisiones horizontales de los ortomosaicos con diferentes números de puntos de control.

La precisión para el catastro urbano es de 0.30 m, entonces se puede inferir que casi todos los productos pueden ser utilizados para catastro 1:1000 (IGM, 2019). Descartando del método cinemático PPK, los ortomosaicos generados sin puntos o con solo 2 GCP, son los únicos productos cartográficos sin una precisión para escalas 1:1000.

Donde se resalta que los métodos cinemáticos diferenciales RTK y NTRIP pueden no prescindir de puntos de control dentro del proceso fotogramétrico moderno, ya que cumplen con los parámetros para escala 1:1000.

Así como la tabla 16 indica la precisión que posee cada uno de los ortomosaicos generados, en la componente horizontal, pero para el componente vertical la precisión se encuentra dada por la siguiente tabla 17 y su respectivo gráfico comparativo en la figura 36.

Tabla 17

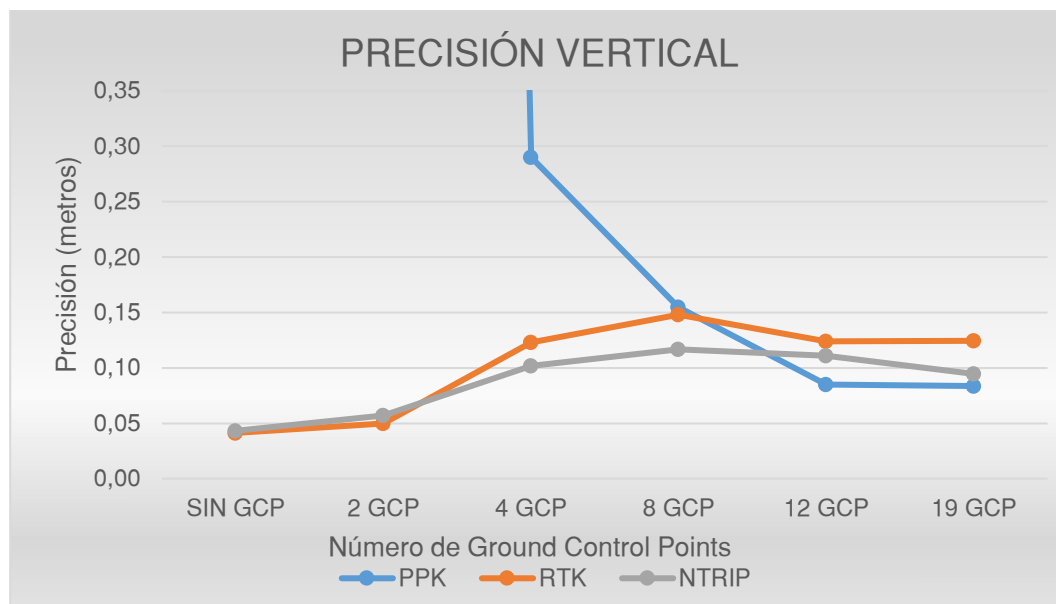
Precisión Vertical por cada ortomosaico

| GCP | Optimo Normal 19 GCP [m] | PPK [m] | RTK [m] | NTRIP [m] |
|-----|-----------------------------|------------|------------|--------------|
| 0 | ----- | 19,1938 | 0,0413 | 0,0432 |
| 2 | ----- | 5,8853 | 0,0496 | 0,0570 |
| 4 | ----- | 0,2897 | 0,1227 | 0,1019 |
| 8 | ----- | 0,1546 | 0,1479 | 0,1167 |
| 12 | ----- | 0,0847 | 0,1240 | 0,1107 |
| 19 | 0,0952 | 0,0836 | 0,1246 | 0,0944 |

Nota: Se visualiza las precisiones obtenidas con las fórmulas 9.

Figura 36

Precisión Vertical de los ortomosaicos según el número de GCP.



Nota: Se visualiza una tabla con las precisiones verticales de los modelos digitales de superficies y del terreno con diferentes números de puntos de control.

Cuadros comparativos

Una de las principales comparaciones que se debe demostrar es la del costo beneficio que trae cada uno de los métodos dentro de los condicionantes que principalmente son el número de baterías. Se considera también los costos del tiempo aplicado en gabinete como en campo y la cantidad de puntos de control necesarios para que cumpla con la precisión requerida. Además, se toma en cuenta que los 12 vuelos que contempla cada uno de los métodos se realizaron en 5 días, visualizar tabla 18.

Tabla 18

Tiempo empleado en cada método GNSS.

| ACTIVIDAD | Normal | PPK | RTK | NTRIP |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| PLANIFICACIÓN | 1 día | 1 día | 1 día | 1 día |
| CAMPO | 6 días | 6 días | 7 días | 6 días |
| CORRECCIÓN MÉTODO GNSS | 0 día | 2 días | 1 día | 0 día |
| TOTAL | 7 días | 9 días | 9 días | 7 días |

Nota: Tiempo empleado por cada ortomosaico generado por cada uno de los métodos.

Para generar el costo beneficio que tendría cada uno de los métodos establecidos se parte del tiempo necesario para realizar cada método y se toma en referencia el día de trabajo por un costo de 60 dólares, un costo derivado de un sueldo de 1320 dólares al mes, también en consideración que cada punto de control posee un costo de 40 dólares dentro del ámbito laboral, como costo de alquiler diario de los equipos dentro de la fase de campo se toma como referencia el costo de 50 dólares el alquiler diario de los equipos GPS diferenciales para los puntos de control o puntos de la estación RTK, y el costo de 100 dólares por el alquiler diario del dron, con su respectiva antena RTK.

Además de descartar los costos que intervienen en cada proceso como una computadora, software, oficina, ya que para cada uno de los métodos se utilizó los mismos elementos, razón por la cual su costo no varía en el proceso, visualizar tabla 19.

Tabla 19

Costos empleados por método aplicado

| ACTIVIDAD | Actividad | Costo por día o actividad (dólares) | Días o cantidad | Valor por actividad (dólares) | Total (dólares) |
|------------------|-------------------------|--|------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| Normal | Campo (Técnico) | 60 | 6 | 360 | 1790 |
| | Planificación (Técnico) | 60 | 1 | 60 | |

| | | | | | |
|-------|----------------------------------|-----|----|-----|------|
| | Equipo GPS diferencial | 50 | 1 | 50 | |
| | Dron | 100 | 5 | 500 | |
| | GCP | 40 | 19 | 760 | |
| | Logística /Movilidad | 10 | 6 | 60 | |
| | Campo (Técnico) | 60 | 6 | 360 | |
| | Planificación (Técnico) | 60 | 1 | 60 | |
| | Equipo GPS diferencial | 50 | 1 | 50 | |
| | Dron | 100 | 5 | 500 | |
| PPK | GCP | 40 | 8 | 320 | 1470 |
| | Logística /Movilidad | 10 | 6 | 60 | |
| | Tiempo de Corrección en Gabinete | 60 | 2 | 120 | |
| | Campo (Técnico) | 60 | 7 | 420 | |
| | Planificación (Técnico) | 60 | 1 | 60 | |
| | Equipo GPS diferencial | 50 | 1 | 50 | |
| | Dron | 100 | 5 | 500 | |
| RTK | Puntos RTK Base | 40 | 12 | 480 | 1640 |
| | Logística /Movilidad | 10 | 7 | 70 | |
| | Tiempo de Corrección en Gabinete | 60 | 1 | 60 | |
| | Campo (Técnico) | 60 | 6 | 360 | |
| | Planificación (Técnico) | 60 | 1 | 60 | |
| | Equipo GPS diferencial | 50 | 1 | 50 | |
| NTRIP | Dron | 100 | 5 | 500 | 1035 |
| | Logística /Movilidad | 10 | 6 | 60 | |
| | Internet en campo | 5 | 1 | 5 | |

Nota: Dinero empleado por cada método GNSS.

Como se puede ver dentro de la tabla 19 uno de los costos más relevantes, depende del número de puntos de control requeridos para la corrección externa dentro del proceso fotogramétrico.

Con toda la información planteada por cada método GNSS aplicado en el estudio se puede decir también que poseen características que limitan la aplicación de uno u otro método, se generó un cuadro por un análisis de inconvenientes que se fueron presentando dentro del desarrollo del estudio, visualizar tabla 20.

Tabla 20*Limitantes de cada método GNSS*

| Limitante | NORMAL | PPK | RTK | NTRIP |
|-----------------------------------|---------------|-----------------|------------|--------------|
| Post Proceso | No | Si | No | No |
| Toma de puntos RTK | No | No | Si | No |
| Conexión a Internet | No | No | No | Si |
| Tiempo del Proceso | Rápido | Moderado | Lento | Rápido |
| Uso de GCP | Si | Sí | No | No |
| Tipos de Soluciones de corrección | Ninguna | Fija / Flotante | Fijo | Fijo |

Nota: Se presenta los inconvenientes o limitantes que se pueden presentar dependiendo de cada método aplicado.

Como se presenta en la tabla 20, cada método tiene un limitante y es la razón por la cual se analizó cada uno de los métodos, de esta manera también se deduce que la reducción de costos es notoria, y la reducción es aplicable según el lugar donde se desarrolle el catastro.

Partiendo que los productos generados se encuentran en un valor de GSD inferior a los 5 cm/pixel se toma la tabla de ejemplos de precisión / calidad horizontal para ortomosaicos digitales y de información planimétrica, además de la tabla de clases de precisiones verticales generadas por la Sociedad Estadounidense de Fotogrametría y Percepción Remota ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) como se muestra en las tablas 21, 22 y 23.

Tabla 21

Ejemplo de precisión / calidad horizontal para ortomosaicos

| Tamaño del Pixel del Ortomosaico | Clase de precisión de datos horizontales | RMSE x o RMSE y (cm) | RMSE total (cm) | Discrepancia Máxima en la construcción de ortomosaicos (cm) | Precisión Horizontal con el 95% de confianza (cm) |
|----------------------------------|--|----------------------|-----------------|---|---|
| 5 - cm (~2 in) | I | 5 | 7,1 | 10 | 12,2 |
| | II | 10 | 14,1 | 20 | 24,5 |
| | III | 15 | 21,2 | 30 | 36,7 |

Nota: Se indica la precisión y calidad de datos para ortomosaicos con tamaño de GSD inferiores a los 5 cm/pixel. (ASPRS, 2013)

Tabla 22

Ejemplo de precisión / calidad de datos planimétricos

| Escala del Mapa | GSD aproximado del ortomosaico base | Clase de precisión de Datos Horizontales | RMSE x o RMSE y (cm) | RMSE total (cm) | Precisión Horizontal con el 95% de confianza (cm) |
|-----------------|-------------------------------------|--|----------------------|-----------------|---|
| 1:500 | 4 - 10 cm | I | 6,3 | 8,8 | 15,3 |
| | | II | 12,5 | 17,7 | 30,6 |
| | | III | 18,8 | 26,5 | 45,9 |
| 1:1000 | 10 - 20 cm | I | 12,5 | 17,7 | 30,6 |
| | | II | 25 | 35,4 | 61,2 |
| | | III | 37,5 | 53 | 91,9 |

Nota: Se indica la precisión y calidad de datos planimétricos de escalas 1:500 y 1:1000 (ASPRS, 2013)

Tabla 23*Clases de precisión vertical*

| Clase de Precisión de Datos Verticales | Precisión vertical sin vegetación al 95% de confianza (cm) | Intervalo de curva apropiado según el valor de RMSE z (cm) |
|---|---|---|
| I | 2,0 | 3,0 |
| II | 4,9 | 7,5 |
| III | 9,8 | 15,0 |
| IV | 19,6 | 30,0 |
| V | 24,5 | 37,5 |
| VI | 39,2 | 60,0 |
| VII | 65,3 | 100,0 |

Nota: Se indica las clases de precisión vertical según (ASPRS, 2013)

Capítulo IV

Resultados

Análisis de los resultados

En la precisión vertical el número de GCP son directamente proporcional al RMSE en dicho eje, puede ser debido a la priorización de datos horizontales por el programa de procesamiento, ya que se demuestra en el número máximo de GCP comienza a descender dicho error, llegando a estabilizarse la curva.

Comparando los resultados obtenidos con los 19 ortomosaicos generados con la tabla de ejemplos y precisiones / calidad horizontal para ortomosaicos (ASPRS, 2013) 17 de los 19 ortomosaicos (89.47%) de nuestros productos se encuentran entre las 2 clases de precisiones para ortomosaicos con un GSD inferior a los 5 cm. Donde el ortomosaico del método PPK con 4 GCP se encuentra en la segunda clase de precisión de datos horizontales con una discrepancia de 20 cm en el ortomosaico, el resto de resultados pertenecen a primera clase de precisión horizontal para ortomosaicos con GSD inferiores a 5 cm/pixel, dando un 5.88% para segunda clase de precisión de datos horizontales del ortomosaico y un 94.12% en primera clase de precisión horizontal para los productos fotogramétricos que además, cumplen con los parámetros de fiscalización para escalas 1:1000 en el Ecuador (IGM, 2019).

La calidad de datos planimétricos que podemos obtener con los 17 ortomosaicos según la ASPRS se encuentran clasificados en la tabla 24 para escalas del mapa 1:500 y 1:1000 demostrando que los productos pueden generar cartografía a grandes escalas.

Tabla 24

Clasificación de ortomosaicos según la ASPRS

| Escala del Mapa | Clase de precisión de Datos Horizontales | Precisión Horizontal con el 95% de confianza (cm) | Ortomosaicos evaluados | Detalle de ortomosaico |
|-----------------|--|---|------------------------|---|
| 1:500 | I | 15,3 | Precisión < 15,3 | 3 ortomosaicos método PPK 6 ortomosaicos método RTK 6 ortomosaicos método NTRIP 1 ortomosaico método Tradicional |
| | II | 30,6 | 0,1877 | 1 ortomosaico PPK con 4 GCP 4 ortomosaicos método PPK |
| 1:1000 | I | 30,6 | Precisión < 30,0 | 6 ortomosaicos método RTK 6 ortomosaicos método NTRIP 1 ortomosaico método Tradicional |
| | | | | |

Nota: Clasificación de ortomosaicos generados según las clases de datos planimétricos de la

(ASPRS, 2013), para escalas 1:500 y 1:1000

Para la precisión vertical según el protocolo de fiscalización para escalas 1: 1000 del ente regulador debe encontrarse el intervalo de curva en 1 metro (IGM, 2019), para poder determinar el intervalo de curva adecuado para nuestros productos hacemos referencia a la tabla de clases de precisiones verticales de (ASPRS, 2013). Donde para tener un intervalo de curva de 1 metro debe estar por debajo de la séptima clase de datos verticales, con una precisión al 95% de confianza y una precisión de 65.3 cm. De los 19 MDS generados como subproductos del proceso fotogramétrico, 17 ortomosaicos se encuentran en mejores clases de precisión vertical y que pueden ser usados para generar MDT's.

Para la generación de ortomosaicos y subproductos se hizo un gasto aproximado de 1790 dólares para el método tradicional siendo este el punto de referencia con los métodos cinemáticos; como para los métodos cinemáticos PPK, RTK, y NTRIP sus costos de producción fueron 1470, 1640, 1035 dólares respectivamente, se puede determinar que el ahorro con

respecto al método tradicional es de 17.88% para el método PPK, 8.40% para el método RTK y de 42.18% para el método NTRIP.

Discusión de los resultados

Se confirma lo mencionado por (Pérez, Pérez, & Reyes, 2015), el número de GCP son inversamente proporcional al RMSE y a la precisión horizontal de todos los 19 ortomosaicos obtenidos, donde evaluando la exactitud posicional solo 17 ortomosaicos (89.47%) de los mismos pueden ser utilizados para cartografía 1:1000. Únicamente el ortomosaico generado por el método PPK con 4 puntos de control pertenece a segunda clase de precisión de datos horizontales, razón por la cual se establece que el número óptimo para este método sea de 8 GCP en adelante debido a que se alcanzan precisiones de primera clase.

Debido a que los ortomosaicos que no cumplen con las precisiones horizontales y verticales, que son los generados por el método PPK sin GCP y con 2 GCP, se llega a determinar que el método PPK aún es dependiente de GCP en su proceso fotogramétrico.

La precisión vertical al ser directamente proporcional al número de GCP y después llegue a estabilizar su valor, nos indica que tal vez exista algún tipo de inconsistencia en los datos, pese a ello cumplen con los parámetros de fiscalización para altimetría, generada a partir de métodos fotogramétricos y su crecimiento en la precisión no es relevante para productos a escala 1:1000.

Comprobación de hipótesis

En la presente investigación se comprobó que el uso de sistemas GNSS cinemáticos PPK, RTK y NTRIP mejoran la precisión para obtener cartografía 1:1000 reduciendo los costos de producción y la cantidad de GCP necesarios para cumplir con los estándares de calidad.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se generó un plan de distribución de puntos de control conjuntamente con el plan de vuelo, en la etapa de planificación como se puede visualizar en la figura 8 para la planificación de vuelos normal y PPK, en la figura 9 para la planificación de vuelos RTK y NTRIP y en la figura 10 la distribución de los puntos de control GCP teniendo en consideración la topografía del terreno y el traslapo entre vuelos, los mapas se encuentran en el anexo 4.

Se obtuvieron 19 coordenadas de los GCPs, procesados en el software Trimble Business Center (TBC), dando como resultado un cuadro de coordenadas con sus respectivas precisiones, alturas elipsoidales y elevaciones obtenidas con el modelo geoidal EGM96; se puede visualizar los datos e informe de procesamiento en la tabla 6 y el anexo 2 del presente documento.

Se obtuvo un reporte de procesamiento fotogramétrico dentro del software Pix4D con su respectiva información del ortomosaico y MDS generado por cada tipo de levantamiento fotogramétrico empleado, cada reporte de procesamiento se lo puede visualizar en el anexo 1.

Para la generación de cartografía planimétrica a escala 1:1000 por medio del método de interpretación y digitalización, se generó dos geo-data-bases cada una partiendo de dos distintos ortomosaicos. La primera se generó partiendo del ortomosaico del proceso tradicional y la segunda se realizó del ortomosaico generado por el método cinemático RTK sin puntos de control en el procesamiento, las 2 GDB con la cartografía planimétrica que incluye manzanas, predios, ejes viales, tapas de alcantarillado, sumideros y edificaciones menores a 2 metros de altura se encuentran en el anexo 3.

El reporte de exactitud posicional presenta que 17 de los 19 ortomosaicos generados pueden ser utilizados en cumplimiento de la Normativa de Generación de Cartografía Nacional donde los 17 ortomosaicos y subproductos poseen una precisión inferior a los 20 cm que se encuentran por debajo de los 30 cm establecidos por el ente regulador para escalas 1:1000. El reporte de exactitud posicional se encuentra en el anexo 2.

El número óptimo de GCP's para el método GNSS cinemático PPK es de 8 puntos, mientras que para el método RTK es de 12 puntos, tomando en cuenta que los 12 puntos son las coordenadas en las cuales se posiciona la antena D-RTK reemplazando a los GCP's. Por último, para el método NTRIP se logró demostrar que no requiere de GCP en su proceso fotogramétrico.

Por todo lo antes propuesto se puede determinar que los métodos cinemáticos favorecen en mejorar la exactitud posicional de productos obtenidos con métodos fotogramétricos llegando a dar productos que pueden ser usados para escalas más grandes.

En la generación de costos se afirma que los métodos cinemáticos reducen los costos de producción de ortomosaicos y subproductos, dando como el método más beneficioso a los sistemas cinemáticos NTRIP con una reducción de costos del 42.18%

Recomendaciones

Los métodos analizados en el presente estudio, poseen ventajas y limitaciones, la eficiencia del método dependerá de las características del terreno en el cual se aplique, diversificando la forma de levantar información de campo, dentro de la generación de cartografía para escalas 1:1000. Se recomienda, evaluar las condiciones del terreno ante la aplicación de sistemas GNSS cinemáticos PPK, RTK y NTRIP descritos en el estudio, para obtener todos los beneficios de estos.

Para el caso del método PPK se presentó como limitante la velocidad de vuelo ya que, al momento de realizar la corrección diferencial de los centros de fotos, algunas imágenes no obtuvieron la coordenada corregida, razón por la cual se repitió el proceso con una menor velocidad al momento del vuelo, además de que no es un beneficio completo la corrección porque en algunos casos no se presentan soluciones fijas, si no flotantes. Por lo que se recomienda el control de la velocidad al momento del vuelo para obtener las correcciones de manera adecuada.

En el método RTK, si bien se estableció que reduce los GCP en la totalidad, recomienda considerar en la planificación un aproximado de 8 horas o 1 día de campo para la toma de puntos donde se ubicará la antena RTK que enlazada al dron permite la corrección de centros de fotos.

En el método NTRIP se recomienda un acceso seguro y estable a internet, para prescindir de los puntos de control del proceso tradicional y generar un producto con menos costo en la elaboración, sin dejar de cumplir con los estándares de calidad del ente regulador.

Se recomienda seguir con estudios investigativos, los cuales optimicen o generen una base teórica que permita ser el punto de partida de más trabajos técnicos, referentes a la cartografía.

En la generación de modelos digitales del terreno se recomienda tener un trabajo minucioso dentro de la clasificación de la nube de puntos, debido a que un solo punto mal clasificado puede llegar a determinar errores abismales dentro del proceso.

Es necesario ver cómo actúan los sistemas GNSS cinemáticos cambiando de variables como: Altura, velocidad de vuelo, o en algunos casos considerando un modelo digital de

elevación, para asegurar que no exista ruptura de la escala y así establecer una base teórica adecuada que guíe el uso de nuevas tecnológicas como los drones.

Bibliografía

AEROTAS. (21 de Noviembre de 2018). *Phantom 4RTK, Processing Workflow*. Obtenido de <https://www.aerotas.com/phantom-4-rtk-ppk-processing-workflow>

Alvarado, S. (2016). *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior en Ensenada, Baja California*. Obtenido de https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/289/1/TESIS_LEVANTAMIENTOS_ALVARADO.pdf

ARCGIS. (2021). *Modelos digitales de elevaciones*. Obtenido de <https://learn.arcgis.com/es/related-concepts/digital-elevation-models.htm>

ASPRS. (1934). *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Obtenido de <https://www.asprs.org>

ASPRS. (Diciembre de 2013). *Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*. Obtenido de http://www.asprs.org/a/society/divisions/pad/Accuracy/Draft_ASPRS_Accuracy_Standards_for_Digital_Geospatial_Data_PE&RS.pdf

Chuquitarco, A. (2018). *Análisis de los métodos de aereotriangulación y número de puntos de control sobre la calidad de las ortofotos con ERDAS LPS CORE y ORIMA*. Sangolquí: ESPE.

- CLIRSEN. (2011). *Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional Escala 1 : 25000*. Manta: SEMPLADES - MAE.
- COOTAD. (21 de Junio de 2017). *Código Orgánico de Organización Territorial* . Obtenido de <https://www.cpcs.gov.ec/wp-content/uploads/2017/06/COOTAD.pdf>
- Costales, G. (2018). *Análisis comparativo entre los software de prueba Agisoft Photoscan y Pix4D para el procesamiento de datos obtenidos con fotogrametría de vehículo aéreo no tripulado (UAV) de bajo costo aplicado a proyectos de medio ambiente*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19825/1/CD-9229.pdf>
- Da Silva, E., & Martínez, D. (2019). *Variación de los valores de exactitud posicional en el procesamiento de un vuelo fotogramétrico realizado por un VANT*. Obtenido de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/22870/1/DM19.pdf>
- DAC. (04 de Noviembre de 2020). *Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)*. Obtenido de <https://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/11/5-DGAC-DGAC-2020-0110-R-Reglamento-de-RPAs.pdf>
- Dinkov, D., & Atanas, K. (Junio de 2020). *Advantages, disadvantages and applicability of GNSS Post-Processing Kinematic (PPK) Method for Direct Georeferencing of UAV images*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/342437950_ADVANTAGES_DISADVANTAGES_AND_APPLICABILITY_OF_GNSS_POST-PROCESSING_KINEMATIC_PPK_METHOD_FOR_DIRECT_GEOREFERENCING_OF_UAV_IMAGES

- DJI. (30 de Julio de 2021). *D-RTK 2Specs*. Obtenido de <https://www.dji.com/d-rtk-2/info>
- DJI. (2021). *Phantom 4 RTK*. Obtenido de <https://www.dji.com/phantom-4-rtk/info>
- Fallas, J. (2003). *Conceptos Básicos de Cartografía*. Obtenido de <https://pim.udelar.edu.uy/wp-content/uploads/sites/14/2019/07/CONCEPTOS-BÁSICOS-DE-CARTOGRAFÍA.pdf>
- Fernandez, A., & Manzo, Q. (2017). *Diseño e implementación de un VANT (Vehículo Aéreo No-Tripulado, Unmanned Aerial Vehicle, UAV) multisensor para estudios post-incendio en entornos forestales*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/343080915_Diseño_e_implementación_de_un_VANT_Vehículo_Aéreo_No-Tripulado_Unmanned_Aerial_Vehicle_UAV_multisensor_para_estudios_post-incendio_en_entornos_forestales
- González, P. (2014). *Levantamiento Mediante GPS de una red de puntos establecidos para correlacionar los distintos espacios de la Universidad en el mismo sistema de coordenadas*. Obtenido de <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4651/pfc5890.pdf>
- Gordini. (17-21 de Junio de 2006). *Testing and Evaluation of a GPS CORS Network for Real Time Centimetric Positioning – The Victoria GPSnet™*. Australia.
- Hernández, S., & Tobón, A. (2017). *Generación de ortoimágenes usando vehículos aéreos no tripulados aplicado a la agricultura*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/159381527.pdf>
- Hoyer, M. (2002). *Conceptos básicos del posicionamiento GNSS en tiempo real NTRIP y tópicos relacionados con el tema*. Obtenido de

http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:AnYM7Qk2ieUJ:ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS-RT/03_Hoyer_GNSS_en_Tiempo_Real.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec&client=opera

Hummel. (2016). *Punto de control de tierra con sensores remotos*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/304338403_Remotely_Sensed_Ground_Control_Points

IAG. (2012). *The International Association of Geodesy*. Obtenido de http://www.iag-aig.org/templates_img/iagbooklet.pdf

IGM. (2008). *Los modelos Digitales del terreno y su uso en cartografía temática*. Obtenido de <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-tematica/>

IGM. (2016). Especificaciones Técnicas para la producción de Cartografía escala 1:5000. 20 - 24. Obtenido de www.igm.gob.ec

IGM. (Junio de 2019). *Protocolo de fiscalización para proyectos de generación de cartografía base con fines catastrales escala 1:1 000, obtenida a través de método aero fotogramétrico, Digitalización 2D sobre ortofoto o levantamiento topográfico*. Obtenido de http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb_dl=1165

IGM. (31 de Julio de 2021). *Visor - NTRIP*. Obtenido de <http://www.geoportaligm.gob.ec/ntrip/public/visor>

IPGH. (2019). *Guía para la evaluación de la exactitud posicional de datos espaciales*. Obtenido de http://publicaciones.ipgh.org/publicaciones-ocasionales/Guia_Evaluacion_Exactitud_Posicional_Datos_Espaciales.pdf

ISPRS. (1910). *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Obtenido de <https://www.isprs.org>

Montgomery, D. C., & Runger, G. (2002). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería* (Segunda ed.).

Nájera, A., & Ramos, R. (Febrero de 2019). *PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA GENERACIÓN DE ORTOFOTOS Y MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN A TRAVÉS DE VUELOS CON DRONES NO-FOTOGRAFÉTRICOS*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/331222864_PROPUESTA_METODOLOGICA_PARA_LA_GENERACION_DE_ORTOFOTOS_Y_MODELOS_DIGITALES_DE_ELEVACION_DE_ALTA_RESOLUCION_A_TRAVES_DE_VUELOS_CON_DRONES_NO-FOTOGRAFETRICOS

NSSDA. (1998). *Geospatial Positioning Accuracy Standards*. Obtenido de Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy: <https://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/chapter3>

Pérez, S., Pérez, J., & Reyes, E. (2015). *Evaluación de la calidad de los levantamientos realizados con la tecnología VANT, estudio de caso: modelo DSM facultad tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. Obtenido de <file:///C:/Users/SantiagoJ/Downloads/PerezLopezSamantha2015.pdf>

Pix4D. (29 de Julio de 2021). *Documentación - Reporte de Calidad* . Obtenido de <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558679-Quality-report-specifications#label15>

Quirós, E. (2015). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/272090105_Introduccion_a_la_Fotogrametria_y_Cartografia_aplicadas_a_la_Ingenieria_Civil

Riaño, E. (2018). *Metodología para el diseño de un vuelo Fotogramétrico usando UAV's*.

Obtenido de

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13097/1/RiañoRodríguezEdgarRoberto2018.pdf>

Rodríguez, J. (2015). *Thewebfoto*. Obtenido de Datos EXIF: [http://www.thewebfoto.com/2-](http://www.thewebfoto.com/2-hacer-fotos/218-datos-exif)

[hacer-fotos/218-datos-exif](http://www.thewebfoto.com/2-hacer-fotos/218-datos-exif)

Salmoral, R. (2017). *Intalación de GPS -RTK en RPA para MDT*. Obtenido de

http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91368/fichero/TFG_Rafael_Salmoral.pdf

SNI. (2013). *Catálogo de Objetos Nacional*, 2.0. (SENPLADES, Productor) Obtenido de

[https://iedg.sni.gob.ec/geoportal-](https://iedg.sni.gob.ec/geoportal-iedg/documentos/catalogo_nacional_de_objetos_geograficos_v2.pdf)

[iedg/documentos/catalogo_nacional_de_objetos_geograficos_v2.pdf](https://iedg.sni.gob.ec/geoportal-iedg/documentos/catalogo_nacional_de_objetos_geograficos_v2.pdf)

Tierra, A., Leiva, C., & Silva, O. (2015). CORRECCIONES DIFERENCIALES VÍA NTRIP PARA

DISPOSITIVO MÓVIL CON APLICACIÓN ANDROID. *Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line version, ISSN 1982-2170*, 43-55.

Tomastik, J., Mokros, M., Surový, P., Giznárová, A., & Merganic, J. (2019). UAV RTK/PPK

Method—An Optimal Solution for Mapping Inaccessible Forested Areas? *Remote Sensing*, 2-19.

TOPCON Positioning Systems. (Enero de 2004). *Manual de operaciones del Hiper Lite e Hiper Lite*

(+). Obtenido de

https://ingenieria.udistrital.edu.co/pluginfile.php/701/mod_folder/content/0/Manual_Topcon/Hiper_Lite_OperationManual.pdf?forcedownload=1.

Villanueva, J. (Febrero de 2020). *Contribuciones metodológicas para la obtención de información altimétrica requerida en la evaluación local de amenazas por inundaciones a partir de nuevas tecnologías geoespaciales*. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/339628079_Contribuciones_metodologicas_para_la_obtencion_de_informacion_altimetrica_requerida_en_la_evaluacion_local_de_amenazas_por_inundaciones_a_partir_de_nuevas_tecnologias_geoespaciales

Yilmaz, O. (Noviembre de 2013). *Stereo and kinect fusion for continuous 3D reconstruction and visual odometry*. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/269327935_Stereo_and_kinect_fusion_for_continuous_3D_reconstruction_and_visual_odometry

Zekkos, D., Greenwood, W., Lynch, J., Manousakis, J., Athanasopoulos-Zekkos, A., Clark, M., . . .

Saroglou, C. (20 de Julio de 2018). *Researchgate*. Obtenido de Lessons Learned from The Application of UAV-Enabled Structure-From-Motion Photogrammetry in Geotechnical Engineering: [https://www.researchgate.net/profile/Dimitrios-](https://www.researchgate.net/profile/Dimitrios-Zekkos/publication/328942823_Lessons_Learned_from_The_Application_of_UAV-Enabled_Structure-From-Motion_Photogrammetry_in_Geotechnical_Engineering/links/5bec6f61299bf1124fd20320/Lessons-Learned-from-The-Applic)

[Zekkos/publication/328942823_Lessons_Learned_from_The_Application_of_UAV-Enabled_Structure-From-](https://www.researchgate.net/profile/Dimitrios-Zekkos/publication/328942823_Lessons_Learned_from_The_Application_of_UAV-Enabled_Structure-From-Motion_Photogrammetry_in_Geotechnical_Engineering/links/5bec6f61299bf1124fd20320/Lessons-Learned-from-The-Applic)

[Motion_Photogrammetry_in_Geotechnical_Engineering/links/5bec6f61299bf1124fd20320/Lessons-Learned-from-The-Applic](https://www.researchgate.net/profile/Dimitrios-Zekkos/publication/328942823_Lessons_Learned_from_The_Application_of_UAV-Enabled_Structure-From-Motion_Photogrammetry_in_Geotechnical_Engineering/links/5bec6f61299bf1124fd20320/Lessons-Learned-from-The-Applic)

Anexos