



Generación de ortomosaicos a partir de imágenes capturadas con dron, en el procedimiento de saneamiento predial, aplicado en los proyectos DMESR, GSRSC, FHB, usando información espacial de la Gobernación de Antioquia

Andrés Felipe Ramírez Salazar

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Civil

Asesores:

Yadira María Márquez Rivas, Especialista

Wilber Humberto Vélez Gómez, Doctor

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	(Ramírez Salazar, 2024)
Referencia	Ramírez Salazar, A. (2024). <i>Generación de ortomosaicos a partir de imágenes capturadas con dron, en el procedimiento de saneamiento predial, aplicado en los proyectos DMESR, GSRSC, FHB, usando información espacial de la Gobernación de Antioquia</i> [Semestre de Industria]. Universidad de Antioquia, Medellín.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Lina María Berrouet Cadavid.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mis padres y hermana por apoyarme, acompañarme y creer en mí durante este proceso.

Agradecimientos

A la Universidad de Antioquia por formarme profesionalmente.

A la Gobernación de Antioquia, Secretaría de Infraestructura Física, Subsecretaría Operativa, por darme la oportunidad de realizar mis prácticas.

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1 Planteamiento del problema	11
1.1 Antecedentes	11
2 Justificación.....	13
3 Objetivos	14
3.1 Objetivo general	14
3.2 Objetivos específicos.....	14
4 Marco teórico	15
5 Metodología	16
6 Resultados	17
6.1 Tabla de definiciones.	17
6.2 Matriz de información.	19
6.3 Guía de georreferenciación secuencial, generación de DEM y ortofotos a partir de imágenes capturadas con dron.....	20
6.4 Productos Cartográficos	20
7 Análisis.....	22
8 Conclusiones	24
Anexos.....	26

Lista de tablas

Tabla 1 Definiciones relacionadas con imágenes para el saneamiento predial.....	17
Tabla 2 Insumos técnicos para el saneamiento predial	19
Tabla 3 Parámetros en la generación de ortomosaicos.....	22

Lista de figuras

Figura 1 Modifiaciones en el trazado de vía-GSRSC	26
Figura 2 Ortomosaico generado con Orthomapping-FHB	27
Figura 3 Georreferenciación manual de las imágenes capturadas con dron-FHB	28
Figura 4 DTM generado con Orthomapping-FHB.....	29
Figura 5 DSM generado con Orthomapping-FHB.....	30
Figura 6 Ortomosaico generado con Drone2Map-DMESR	31
Figura 7 DSM generado con Drone2Map-DMESR	32
Figura 8 DTM generado con Drone2Map-DMESR	33
Figura 9 Curvas de nivel con intervalo de 5m generadas con Drone2Map-DMESR	34
Figura 10 Ortomosaico generado con OrthoMapping-GSRSC	35
Figura 11 DTM generado con OrthoMapping- GSRSC	36
Figura 12 DSM generado con OrthoMapping- GSRSC	37

Siglas, acrónimos y abreviaturas

DMESR	Don Matías - Entreríos - Santa Rosa
GSRSC	Guatapé - San Rafael - San Carlos
FHB	Frontino - La Herradura - La Balsa
LMC	La Metida – Concordia
LFLM	La Fabiana – La Mesa
SIG	Sistemas de Información Geográfica
DTM	Modelo digital del terreno
DSM	Modelo digital de superficie
GCP	Punto de control terrestre
DEM	Modelo de elevación digital
GdeA	Gobernación de Antioquia

Resumen

La Gobernación de Antioquia desde el año 2012 viene desarrollando el saneamiento predial de 1068 predios, correspondientes a proyectos de carretera que tienen vigencia en el período comprendido entre 1984-2015. Este trabajo tiene como propósito la elaboración de una guía metodológica de imágenes secuenciales georreferenciadas y generación de ortomosaicos para fortalecer el componente técnico de saneamiento predial en la Gobernación de Antioquia para proyectos de carretera, específicamente para 3 en los proyectos viales DMESR, GSRSC, FHB, y que constituyen un insumo para el saneamiento predial. El proyecto se desarrollará con información suministrada por la Gobernación de Antioquia, mediante el uso del software ArcGIS PRO y Drone2Map.

Palabras clave: georreferenciación, saneamiento predial, dron, SIG, imágenes, proyecto de carreteras, ortomosaico.

Abstract

Since 2012, the Government of Antioquia has been undertaking the property sanitation of 1068 properties, corresponding to highway projects valid in the period between 1984-2015. The objective of this initiative is to develop a methodological guide for georeferenced sequential images and the generation of orthomosaics. This aims to enhance the technical aspect of property sanitation in the Government of Antioquia for highway projects, specifically for three projects in the DMESR, GSRSC, FHB, which serve as inputs for property sanitation. The project will utilize information provided by the Government of Antioquia, employing ArcGIS PRO and Drone2Map software.

Keywords: georeferencing, property sanitation, drone, GIS, images, road project, orthomosaic.

Introducción

El saneamiento predial es un procedimiento incluido en la gestión predial puesto en marcha para proyectos de infraestructura vial entre 1984-2015 por la Secretaría de Infraestructura física de la Gobernación de Antioquia, la cual define a este procedimiento como “la consolidación de la propiedad y titularidad de los bienes inmuebles en el patrimonio de las entidades de derecho público con el fin de incorporar dentro del inventario de bienes todos los predios que son de uso público y a los cuales no se les ha realizado las respectivas inscripciones en los folios de matrículas inmobiliarias como propiedad del ente territorial” (Secretaria de Infraestructura Física, 2021).

La Gobernación de Antioquia tiene pendiente por sanear 749 predios (con fecha de corte del 23/11/2023) que hacen parte de los diferentes proyectos viales en las 9 subregiones del departamento de Antioquia, correspondientes a proyectos de carretera que tienen vigencia en el período comprendido entre 1984-2015.

A través del procedimiento de saneamiento predial de los proyectos de carreteras, realizados en el período 1984 – 2015, y utilizando los sistemas de información geográfico SIG se pretende contribuir al proceso de saneamiento predial de tres predios ubicados en los proyectos viales DMESR, GSRSC, FHB del departamento de Antioquia.

El presente trabajo tiene como propósito fortalecer el procedimiento de saneamiento predial, mediante la georreferenciación de imágenes secuenciales y la generación de ortomosaicos, utilizando los sistemas de información geográfico SIG, a través de la elaboración de una guía metodológica de imágenes georreferenciadas y secuenciadas, la generación de DEMs y ortomosaicos para la los proyectos viales en estudio, además, se abarca la definición de términos relacionados con datos ráster para ser empleados dentro del procedimiento de saneamiento predial, también, se desarrollará una matriz que registrará distintos elementos gráficos como planos, ortofotos y fotografías aéreas, disponibles en la web, considerando su fuente, datos técnicos relevantes de proyectos de carretera de Antioquia.

Por último, se investigó el levantamiento topográfico mediante el uso de drones, estableciendo sus limitaciones y alcances, también se crearon productos cartográficos como ortofotos y modelos digitales de elevación aprovechando los recursos disponibles a partir de las imágenes obtenidas con dron.

1 Planteamiento del problema

La información espacial asociada a los proyectos viales (planos antes de obra, planos después de obra, cuadros de medición de fajas, planchas del IGAC, imágenes capturadas con dron, ortofotos de la GdeA) presentan una baja integración entre sí, dentro del componente técnico de saneamiento predial, lo cual dificulta la identificación y ocupación predial durante la ejecución de los proyectos viales en vigencias de 1984 a 2015.

En consiguiente, la baja integración de la información existente, el débil conocimiento en la utilización de imágenes capturadas con dron y otras fuentes de información de imágenes que aporten en la identificación predial son una de las causas de la baja capacidad de respuesta a los derechos de petición durante el saneamiento predial.

Por otra parte, la información técnica predial de los proyectos viales ejecutados en ocasiones es parcial, inconsistente y se encuentra dispersa en distintas entidades de la Gobernación de Antioquia, aumentando la complejidad y duración del procedimiento de saneamiento predial.

Esta demora asociada a la falta respuesta produce sobrecostos económicos y contractuales asociados a soluciones de adquisición o saneamiento predial, también una baja capacidad de adquisición de predios asociados a las vías a cargo del departamento.

1.1 Antecedentes

Desde la Subsecretaría Operativa de la Secretaría de Infraestructura Física de la Gobernación de Antioquia, se ha venido trabajando en los últimos años en el procedimiento de saneamiento predial con la finalidad de mejorar cada vez más dicho procedimiento, para esto se han resuelto distintas problemáticas por los diferentes practicantes que han hecho parte de este proceso.

En el trabajo desarrollado por Victoria Ortiz Ortega en 2020, se crea una ruta técnica que permite clasificar los procesos y establecer tiempos aproximados requeridos para la identificación técnica predial de los predios pendientes por legalizar, lo anterior debido a la reducida conexión entre las informaciones geográfica y documental de los predios ocupados por la Gobernación de Antioquia.

En el 2021, Daniela Restrepo Escobar crea un diagrama que sintetiza el procedimiento técnico de saneamiento predial, debido a la falta de una ruta específica o un orden para realizar las actividades de dicho procedimiento.

Jersson Mosquera López durante su práctica en el 2022, logró alimentar la base de datos espaciales de la Gobernación de Antioquia, georreferenciando alrededor de 514 planos que permiten la identificación técnica predial en el proyecto GSRSC.

En 2023, en el trabajo desarrollado por Dilan García Pabón, se desarrollan una serie de instructivos para la georreferenciación de imágenes y planchas del IGAC, estos instructivos aseguran su replicabilidad y facilitan posteriormente el análisis para determinar las áreas ocupadas con la ejecución del proyecto vial.

2 Justificación

Debido a la baja integración que hay entre la información espacial de los proyectos viales ejecutados en el período de 1984-2015 y el bajo conocimiento para la articulación de las imágenes capturadas con dron, se desea establecer una relación entre estas imágenes y la información espacial de la GdeA, de tal manera que facilite la identificación y ocupación predial aplicado en proyectos viales FHB, LMC, LFLM, GSRSC, DMESR.

Este trabajo busca establecer dicha relación, mediante la generación de ortomosaicos el cual permite tener una mejor visualización del trazado horizontal de la vía, ubicación de obras de drenajes y cercos. Una vez obtenido el ortomosaico junto con la información espacial de los proyectos viales, mediante un análisis técnico es posible saber si en la vía se modificó el trazado horizontal y en consecuencia el área ocupada por el proyecto.

El resultado principal de este proyecto es crear una guía metodológica de imágenes secuencialmente georreferenciadas, generación de DEM y ortomosaicos considerando las fotografías aéreas obtenidas mediante dron, de este modo se obtiene un insumo adicional que facilita la identificación y ocupación predial durante el procedimiento de saneamiento predial mejorando los tiempos de respuesta a los derechos de petición.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Crear una relación entre imágenes secuenciales georreferenciadas de proyectos de carretera, referente al procedimiento de saneamiento predial aplicado en los proyectos DMESR, GSRSC, FHB, frente información espacial de la gobernación de Antioquia, para la identificación y ocupación predial durante la ejecución de los proyectos viales.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar una tabla de definiciones de los términos relacionados con imágenes, como fotografías aéreas, satelitales, y su utilización con los sistemas de información geográfica, para el saneamiento predial de proyectos de carreteras.
- Crear una matriz donde se registre información como planchas cartográficas, planos, ortofotos, fotografías aéreas que incluya parámetros como la fuente, el tipo de datos técnicos útiles en los proyectos de carreteras en Antioquia.
- Elaborar una guía metodológica de imágenes secuencialmente georreferenciadas, generación de DEM y ortomosaicos considerando las fotografías aéreas obtenidas mediante dron.
- Implementar la guía metodológica de imágenes secuencialmente georreferenciadas en el saneamiento predial de los proyectos viales DMESR, GSRSC, FHB, en tres predios y con 100 fotos georreferenciadas.
- Generar productos cartográficos como modelos de elevación digital y ortomosaicos a partir de fotografías aéreas capturadas con drones de los proyectos viales DMESR, GSRSC, FHB.

4 Marco teórico

Dentro del procedimiento técnico de saneamiento predial implementado por la Secretaría de Infraestructura Física, Subsecretaría Operativa en la componente de georreferencia de insumos se encuentran las actividades relacionadas con georreferenciación de datos ráster e imágenes para la identificación predial (Restrepo, 2021).

El procedimiento técnico de saneamiento predial requiere herramientas ágiles y amigables, que faciliten un lenguaje común entre profesionales de diferentes perfiles, además, que aproveche los sistemas de información geográfico y disminuya las controversias de tipo técnico.

Así pues, la visualización, el procesamiento y análisis de imágenes y datos ráster desempeñan un papel significativo en los Sistemas de Información Geográfica SIG. Por medio de esta herramienta es posible analizar la ubicación espacial y estructurar la información mediante capas para visualizarla en mapas. Proporcionando de esta manera información para una comprensión más detallada de los datos, lo que ayuda a tomar decisiones más inteligentes (ESRI, s.f).

En los últimos años, los avances tecnológicos de los vehículos aéreos no tripulados han mejorado la capacidad de recopilación de imágenes aéreas, mejorando variables como estabilidad y tiempo de vuelo de los vehículos aéreos no tripulados, además, el uso de software de planificación de vuelos permite la captura de imágenes optimizadas. (James et al., 2017)

Hoy en día una de las mayores aplicaciones del uso de drones, se encuentra en la elaboración de topografía aérea para obtener ortomosaicos y modelos digitales de elevación terrestre que tienen aplicación en la inclusión de los sistemas SIG y para la comprobación de superficies y catastro (Rivera, 2019).

5 Metodología

Este proyecto se desarrollará en 5 Etapas:

- **Etapa 1:** Obtención de la información para la creación de la tabla de definiciones técnicas de los términos relacionados con imágenes y datos ráster que se emplearán en el procedimiento de saneamiento predial de proyectos de carretera. Se incluirán términos relacionados con las imágenes, datos ráster, fotografías aéreas y satelitales para conocer su alcance y establecer sus limitaciones para el saneamiento técnico predial de proyectos de carreteras.
- **Etapa 2:** Obtención y categorización de la información para la creación de la matriz de imágenes con carreteras y predios del Departamento de Antioquia relacionadas con insumos como mapas, planos y fotografías aéreas en el saneamiento predial de proyectos de carretera en Antioquia, su fuente de información para el saneamiento predial de los proyectos de carretera en Antioquia y el tipo de dato técnico del insumo.
- **Etapa 3:** Georreferenciación manual secuencial de 97 imágenes asociadas a 1 predio, obtenidas con dron en el proyecto vial FHB.
- **Etapa 4:** Elaboración de una guía metodológica de imágenes secuencialmente georreferenciadas de dron, que incluye el paso a paso requerido desde la obtención hasta la georreferenciación secuencial de las imágenes de dron, además, se incluye la generación de productos cartográficos (DEMs y ortomosaicos) en ArcGIS Pro. En esta etapa se incluye el plan de vuelo, la adquisición de fotografías aéreas con dron y coordenadas de puntos de control.
- **Etapa 5:** Generación de productos cartográficos (DEMs y ortomosaicos) a partir de las imágenes obtenidas con dron para los 3 predios en los correspondientes proyectos de carretera. En esta etapa se realiza el procesamiento de los datos obtenidos y la evaluación de la calidad de los productos cartográficos.

6 Resultados

Los productos finales de este trabajo son los siguientes:

Una tabla de definiciones de términos relacionados con imágenes, como fotografías aéreas, satelitales, para comprender su utilización con los sistemas de información geográfica en el saneamiento predial de proyectos de carretera.

Una matriz de información donde se registra información de parámetros como la fuente, tipo de archivo y datos técnicos útiles, de planchas cartográficas, ortoimágenes, fotografías aéreas e imágenes satelitales. Estos insumos son esenciales para la identificación predial y la elaboración del informe técnico.

Una guía metodológica de georreferenciación de imágenes secuenciales obtenidas con dron, generación de ortomosaicos y DEM a partir de las imágenes capturadas con dron de un área de interés mediante el software ArcGIS Pro 3.1 para la obtención de insumos que son parte del procedimiento de saneamiento predial de proyectos de carretera.

Adicionalmente, se muestran los ortomosaicos, los DEM y el mosaico obtenido de la georreferenciación manual obtenidos con la implementación de esta guía, cabe destacar que estos productos se generaron para los predios analizados durante el procedimiento de saneamiento predial en los proyectos viales DMESR, GSRSC, FHB.

6.1 Tabla de definiciones.

Tabla 1

Definiciones relacionadas con imágenes para el saneamiento predial

Términos	Definición	Utilización en los SIG dentro del saneamiento predial
Fotogrametría	La fotogrametría es la ciencia consistente en obtener mediciones fiables a partir de fotografías e imágenes digitales. La salida del proceso fotogramétrico suele generar mapas de ortomosaicos, mapas simbólicos, capas SIG o modelos tridimensionales (3D) de escenas u objetos del mundo real.	No Aplica.

Términos	Definición	Utilización en los SIG dentro del saneamiento predial
Datos Ráster	Son una matriz de celdas distribuidas en filas y columnas, en la que cada celda almacena un valor que contiene información. Los rásteres pueden ser fotografías aéreas, imágenes de satélite, imágenes digitales o mapas escaneados.	No Aplica.
Teledetección	La recopilación e interpretación de información acerca del entorno y la superficie de la Tierra desde una distancia, principalmente mediante la detección de la radiación emitida de forma natural o reflejada por la superficie terrestre o por la atmósfera, o bien mediante la detección de señales transmitidas por un dispositivo y reflejadas al mismo.	No Aplica.
Imágenes	Son datos ráster que representan mediciones de energía electromagnética reflejada y capturada por un sensor de un dron, avión o satélite.	Georreferenciación de insumos.
Fotografía aérea	Fotografía de la superficie terrestre tomada desde una plataforma que vuela por encima de la superficie, pero no está en órbita, normalmente una aeronave.	Georreferenciación de insumos para la localización de entidades geográficas en la identificación predial. También se usan para generar datos de elevación del terreno (DSM o DTM), y son insumos para la generación de ortomosaicos.
Imágenes de teledetección	Imágenes adquiridas desde satélites y aeronaves.	Georreferenciación de insumos para la localización de entidades geográficas en la identificación predial. También se usan para generar datos de elevación del terreno (DSM o DTM), y son insumos para la generación de ortomosaicos.
Ortomosaico	Un ortomosaico es un producto de imagen fotogramétricamente ortorrectificado organizado como mosaico a partir de una colección de imágenes, donde la distorsión geométrica se ha corregido y donde se ha realizado un balance de color de las imágenes para producir un dataset de mosaico continuo.	Para la localización de entidades geográficas durante la identificación predial.

6.2 Matriz de información.

Tabla 2

Insumos técnicos para el saneamiento predial

Nombre	Tipo de Archivo	Fuente	Datos Técnicos
Fotografía aérea	JPG	Colombia en mapas. https://www.colombiaenmapas.gov.co/ Gobernación de Antioquia, Gestión Documental y Archivo Histórico de Antioquia, SIGANT	Imágenes que reflejan la superficie de la tierra, de alta, media y baja resolución, se pueden identificar elementos como carreteras, edificaciones, afluentes, ríos, caminos rurales.
Imágenes Satelitales	JPG	Colombia en mapas https://www.colombiaenmapas.gov.co/	Imágenes que reflejan la superficie de la tierra, de alta, media y baja resolución, se pueden identificar elementos como carreteras, edificaciones, afluentes, ríos, caminos rurales.
Cartografía Histórica	PDF	Colombia en mapas https://www.colombiaenmapas.gov.co/	Diferentes unidades geográficas de Colombia desde 1810.
Planchas cartográficas	PDF	Colombia en mapas https://www.colombiaenmapas.gov.co/ Gobernación de Antioquia, Gestión Documental y Archivo Histórico de Antioquia, SIGANT	Corresponden a la cartografía básica, se puede identificar la ubicación de elementos de construcciones, hidrografía, trazado carreteras, relieve y vegetación.
Ortoimágenes	TIFF	Colombia en mapas https://www.colombiaenmapas.gov.co/	Imágenes que muestran la superficie de la tierra, se pueden identificar elementos como carreteras, edificaciones, afluentes, ríos, caminos rurales
Planchas catastrales	TIFF	Gobernación de Antioquia, Gestión Documental y Archivo Histórico de Antioquia, SIGANT	Localización y linderos de predios, se puede identificar la ubicación de elementos de construcciones, hidrografía, trazado carreteras, relieve y vegetación.
Planos viales antes de obra y después de obra	TIFF	Gobernación de Antioquia, Gestión Documental y Archivo Histórico de Antioquia, SIGANT	Trazado horizontal del eje vial, localización de obras de drenaje, abscisado eje vial, ancho de vía.
Archivos shape	.shp	Gobernación de Antioquia, Base Gerencia Catastro	Localización, linderos del predio
Cuadros de medición de fajas	PDF	Gobernación de Antioquia	Área de fajas de ocupadas en la ampliación del proyecto

Ortomosaico	TIFF	Secretaria de Infraestructura Física, Subsecretaría Operativa	Trazado horizontal del eje vial, ancho de vía, localización de obras de drenaje.
--------------------	------	--	--

6.3 Guía de georreferenciación secuencial, generación de DEM y ortofotos a partir de imágenes capturadas con dron

La guía de georreferenciación se puede observar en el anexo 4.

6.4 Productos Cartográficos

La georreferenciación manual de las 97 imágenes que se capturaron para el corredor vial FHB tardó alrededor de 15 días, debido a que es un procedimiento de ensayo y error, en el que se busca escalar y orientar cada una de las imágenes, mientras que con el uso de la herramienta Ortho Mapping, la generación del ortomosaico y del DSM tardó alrededor de unas 4 horas. La principal ventaja de este método radica en el ajuste en bloque de las imágenes y en la ortorrectificación de las mismas, pues es el software el encargado de orientar y escalar todas las imágenes, además descarta aquellas que no son útiles durante la generación de estos productos.

Por otra parte, las alineaciones y la perspectiva de los diferentes elementos que aparecen en las fotografías hacen que el mosaico creado manualmente no tenga una uniformidad de los elementos que la componen. La generación de la nube de puntos y el DSM a partir de la triangulación de imágenes para extraer datos de elevación ayuda a corregir los errores de perspectiva y alineación de los elementos, generando en una sola imagen una vista en planta de la trayectoria realizada por el dron.

Para comparar la topografía generada a partir de las imágenes capturadas con dron con una topografía elaborada convencionalmente es necesario generar un DTM, al momento de generar dicho insumo se encuentra que no es posible tener un DTM que represente únicamente la elevación del suelo, pues en las zonas donde existe cobertura vegetal alta no fue posible depurar los datos de elevación en estos lugares de manera que se represente únicamente la altura de la superficie, lo anterior debido a que el suelo no es visible en las imágenes capturadas con dron, lo cual es una limitación para hacer una comparación entre los dos productos topográficos.

El ortomosaico para el proyecto vial DMESR fue generado con el software Drone2Map, este es un software exclusivo para el procesamiento de imágenes capturadas con dron para la generación de productos en 2D y 3D, nubes de puntos 3D y mallas texturizadas.

Cabe resaltar que los productos generados con Drone2Map como el ortomosaico, DSM, DTM y curvas de nivel muestran un mejor resultado respecto a los productos generados con ArcGIS Pro, por ejemplo, no se observan distorsiones en el ortomosaico, no se presentan espacios vacíos en el modelo digital de elevación, las curvas de nivel partir del DTM no muestran una alteración significativa debido a la presencia de otros elementos como estructuras o zonas con vegetación. Se evidencia una representación de la superficie del terreno más detallada ya que las zonas con presencia de cobertura vegetal son depuradas del DSM.

Las imágenes de los productos cartográficos generados en el desarrollo de la práctica se muestran en los anexos 1, 2 y 3. Además, se generó 2 ortmosaicos adicionales a los propuestos, correspondientes a los procesos prediales LMC_1081 y LFLM_828, los cuales fueron incluidos en las respuestas a las peticiones con radicados de la GdeA: 2023030604252 y 2023030606300, respectivamente.

7 Análisis

Comparando los ortomosaicos con la ortofoto base de la Gobernación de Antioquia, se observa que al ortorrectificar las imágenes hay coincidencia espacial de elementos como techos de estructuras, alcantarillas, cercos y geoformas de la superficie con la ortofoto base de la GdeA. En el mosaico manual no es posible obtener dichos resultados al superponer imagen por imagen debido a la perspectiva de las imágenes.

Las zonas analizadas en los 3 proyectos viales son zonas rurales, en consecuencia, su nivel de detalle corresponde a una escala de 1:10000 según la resolución 658 de 2022. Para definir la precisión de estos productos nos remitimos a la resolución 471 de 2020.

El error cuadrático medio radial (RMSEr), GSD e imágenes procesadas durante la generación del ortomosaico se muestran a continuación:

Tabla 3

Parámetros en la generación de ortomosaicos

Proyecto vial	RMSEr(m)	GSD(cm)	Imágenes procesadas
FHB	1,6	2,2	97
GSRSC	0,19	2,4	124
DMESR	0,37	2,7	94

Lo anterior significa que según el nivel de detalle de en el que se deben analizar los productos cartográficos y teniendo en cuenta las especificaciones técnicas por producto de ortoimágenes según el IGAC, vemos que la resolución espacial (GSD) y la exactitud absoluta de posición (EMSr), estos tres productos cumplen con las especificaciones técnicas mínimas como productos de cartografía básica para una escala de 1:10000.

Por otra parte, los ortomosaicos de los proyectos viales FHB y GSRSC presentan un porcentaje de área con distorsión geométrica y vacío en las zonas de cobertura vegetal alta o zonas donde hay presencia de construcciones de cualquier tipo, en cuanto al ortomosaico en el tramo vial DMESR no hay presencia de estos dos tipos de errores.

Durante la elaboración de los informes técnicos prediales en las respuestas a los derechos de petición (con solicitudes de pagos por áreas en los predios, por la ejecución de un proyecto vial), es posible identificar el área ocupada no incluida en una achura de 6m correspondiente al ancho de vía antigua, el área ocupada no incluida en la anchura mínima utilizable de la vía y el área de la vía antigua ocupada por los predios después de la ejecución del proyecto vial, datos necesarios para concluir con el área ocupada a pagar.

También es posible determinar los cambios de trazados de la vía o modificaciones en sus especificaciones geométricas por mejoramientos o construcción de vías alternas o fenómenos naturales. En los anexos se muestra un ejemplo de este análisis para el proyecto vial GSRSC.

8 Conclusiones

Se logró crear una relación entre las imágenes obtenidas con dron y la información espacial de la gobernación de Antioquia mediante la generación de ortomosaicos que conforman un insumo y mejora la capacidad de respuesta en la identificación predial.

Los productos cartográficos obtenidos (ortomosaico) durante el desarrollo de la práctica cumplen con las especificaciones técnicas de productos básicos de cartografía en una escala de 1:10000 que son los requeridos para insumos de zonas rurales.

La implementación de la guía metodológica para la georreferenciación y generación de elementos cartográficos fortalece el procedimiento técnico de saneamiento predial, ya que durante el análisis técnico es posible identificar el área ocupada no incluida en una anchura de 6m, área ocupada no incluida en la anchura mínima utilizable y el área de la vía antigua ocupada por predios, lo cual disminuye las controversias de tipo técnico.

Referencias

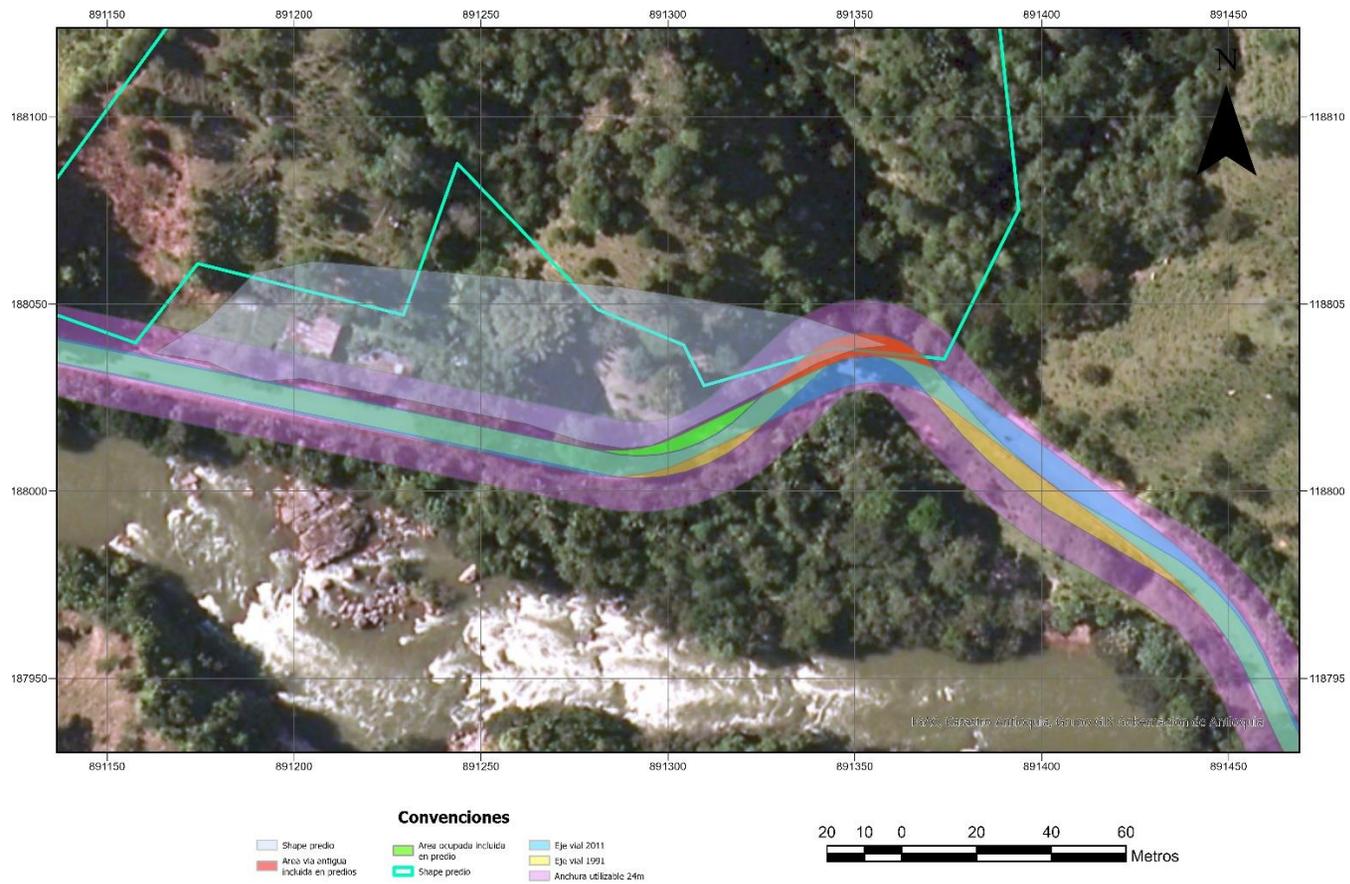
- ESRI. (s.f). ¿Qué son los SIG?. <https://cutt.ly/YwOw7SsA>
- Gobernación de Antioquia. Secretaría de Infraestructura Física (2021). Información suministrada por la Subsecretaría Operativa.
- Mosquera, J. (2022). *Georreferenciación de la información espacial de los proyectos del sistema de contribución a valorización y el saneamiento predial en la Secretaría de Infraestructura de la Gobernación de Antioquia* [Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia] Repositorio Universidad de Antioquia. <https://hdl.handle.net/10495/29077>
- M.R. James, S. Robson, S. d'Oleire-Oltmanns, U. Niethammer. (2017). Optimising UAV topographic surveys processed with structure-from-motion: Ground control quality, quantity and bundle adjustment. *Geomorphology*, 280, 51-66. <https://cutt.ly/3wIcYkfV>
- Ortiz, V. (2020). *ACOPLAMIENTO DE ASPECTOS TÉCNICOS PREDIALES OBTENIDOS DURANTE LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO PSP, UTILIZANDO INFORMACIÓN ESPACIAL DE LA GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA*. [Tesis de pregrado, Universidad Eafit]
- Pabón, D. (2023). *IDENTIFICACIÓN TÉCNICA PREDIAL PARA EL ÁREA AFECTADA POR LOS PROYECTOS PSP, JLACJT, BSFA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA, ESPACIAL Y GEOGRÁFICA DE LA GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA*. [Tesis de pregrado, Universidad Eafit]
- Restrepo, D. (2021). *Procedimiento técnico del saneamiento predial para el proyecto de infraestructura vial “San José de la Montaña - Llanos de Cuivá” con información de la Gobernación de Antioquia*. [Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia] Repositorio Universidad de Antioquia. <https://hdl.handle.net/10495/22426>
- Rivera, V. (2019). *FACTIBILIDAD DEL USO DE VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS PARA EL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRICO APLICADO AL CATASTRO EN ZONAS PERIURBANAS* [Tesis de posgrado, Universidad Mayor de San Andrés] Repositorio Universidad Mayor de San Andrés. <https://cutt.ly/owIcOiZ1>

Anexos

Anexo 1. Análisis del trazado vial en el proyecto GSRSC

Figura 1

Modificaciones en el trazado de vía-GSRSC

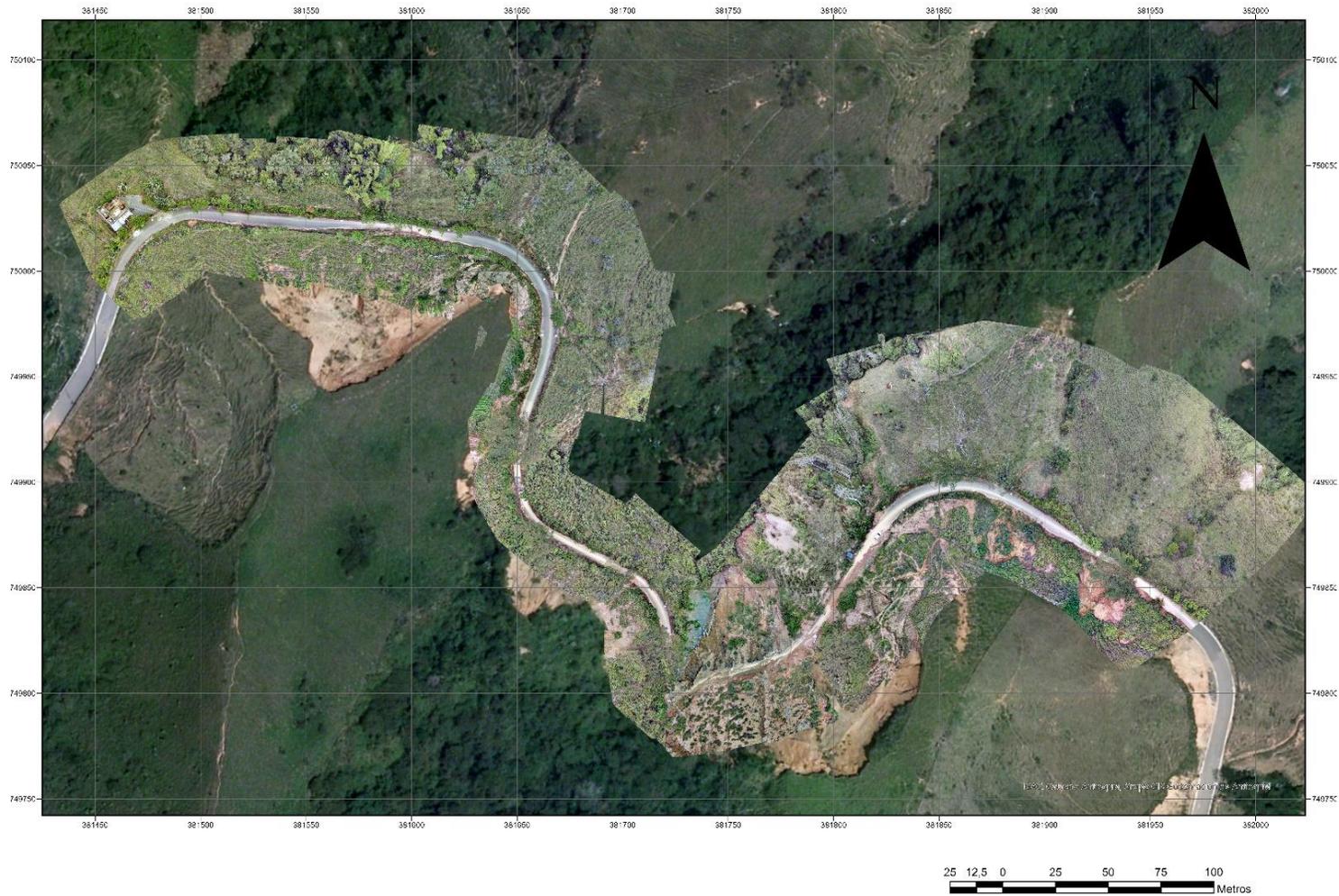


Nota. El mapa base en la figura corresponde a la ortofoto de la GdeA. Fuente Elaboración propia

Anexo 2. Ortomosaicos y modelos de elevación digital para el proyecto vial FHB

Figura 2

Ortomosaico generado con Orthomapping-FHB



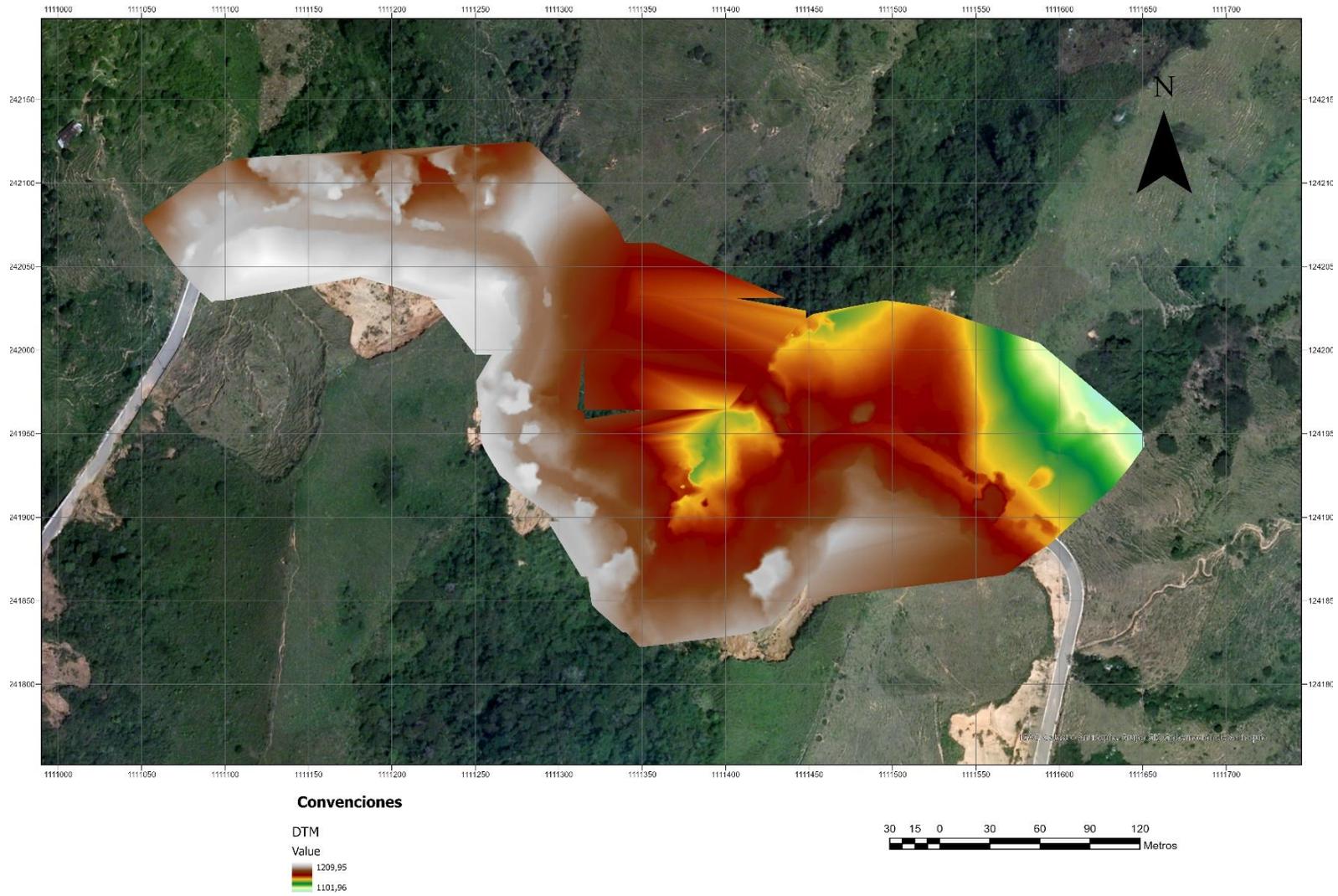
Nota. El mapa base en la figura corresponde a la ortofoto de la GdeA. Fuente Elaboración propia

Figura 3
Georreferenciación manual de las imágenes capturadas con dron-FHB



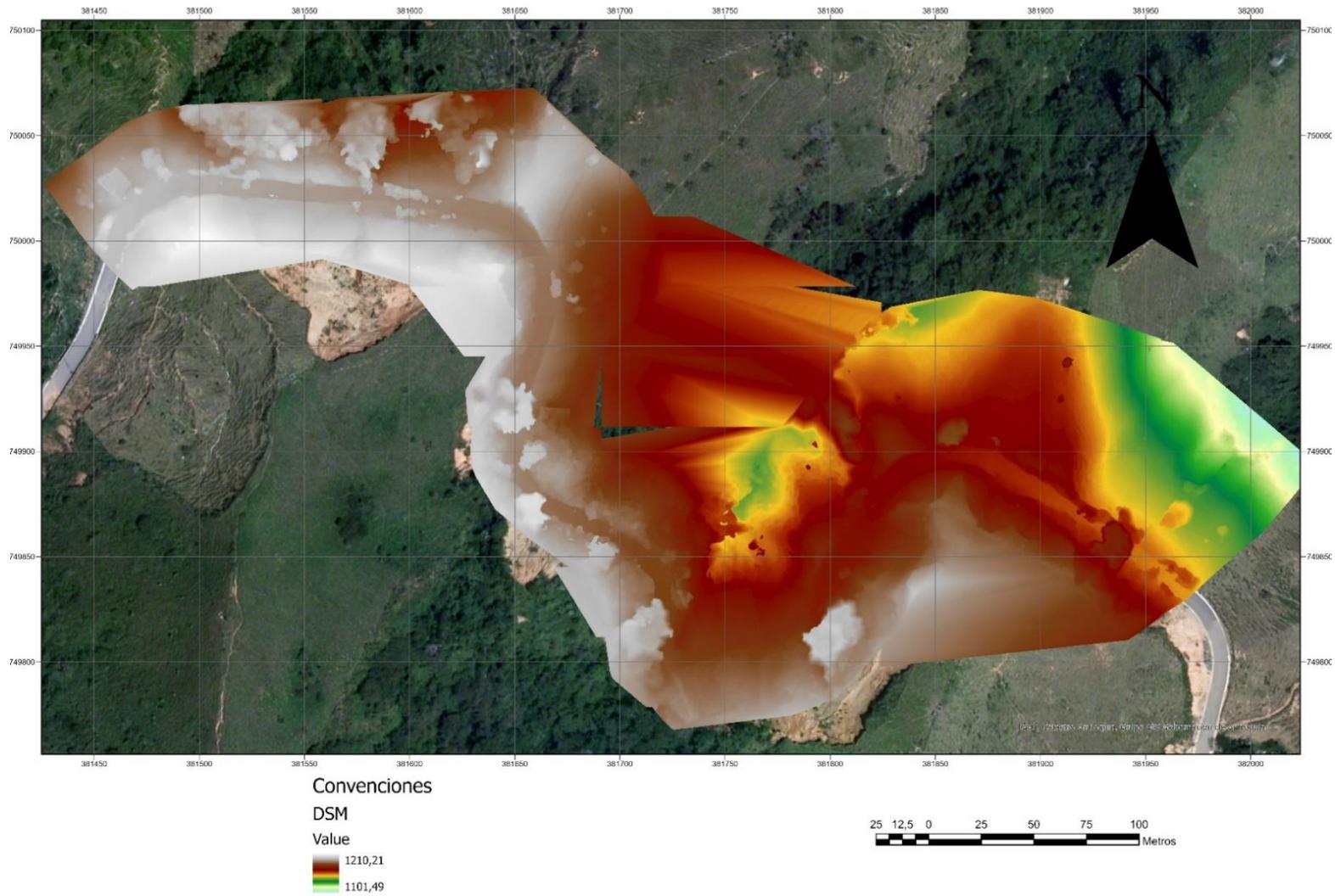
Nota El mapa base en la figura corresponde a la ortofoto de la GdeA. Fuente Elaboración propia

Figura 4
DTM generado con Orthomapping-FHB



Nota El mapa base en la figura corresponde a la ortofoto de la GdeA. Fuente Elaboración propia

Figura 5
DSM generado con Orthomapping-FHB



Nota El mapa base en la figura corresponde a la ortofoto de la GdeA. Fuente Elaboración propia

Anexo 3. Ortmosaico y modelos de elevación digital para el proyecto vial DMESR

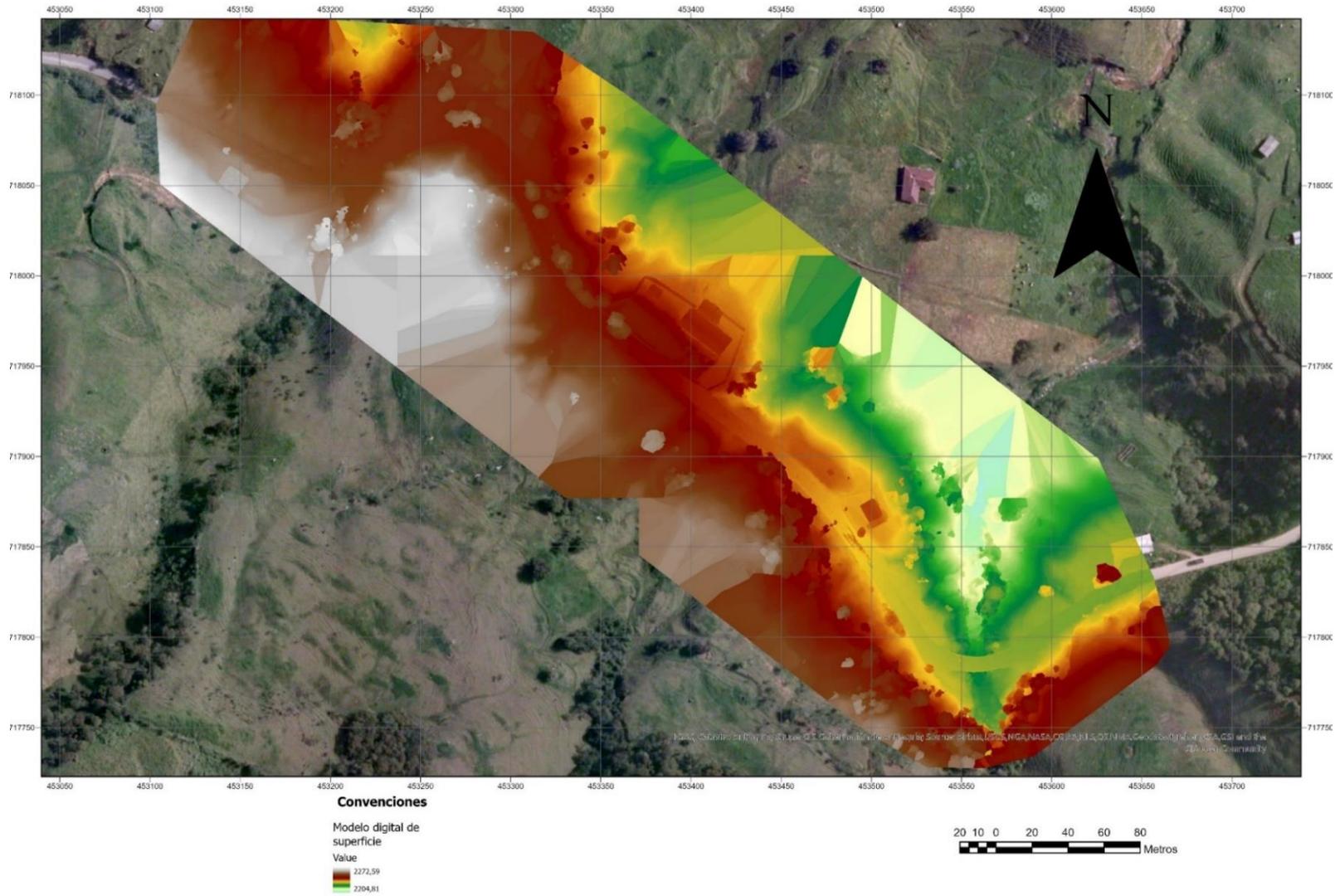
Figura 6

Ortomosaico generado con Drone2Map-DMESR



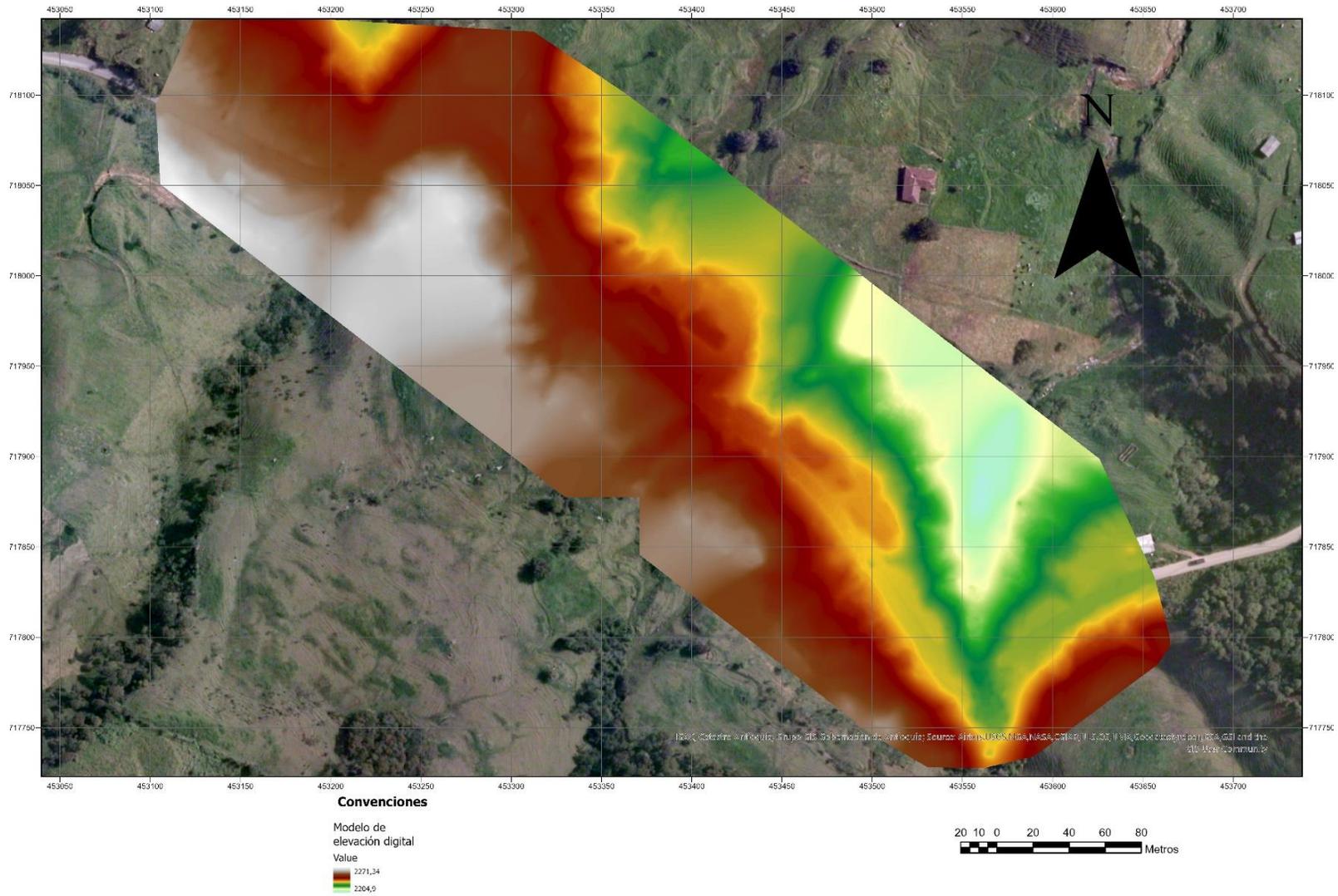
Nota El mapa base en la figura corresponde a la ortofoto de la GdeA. Fuente Elaboración propia

Figura 7
DSM generado con Drone2Map-DMESR



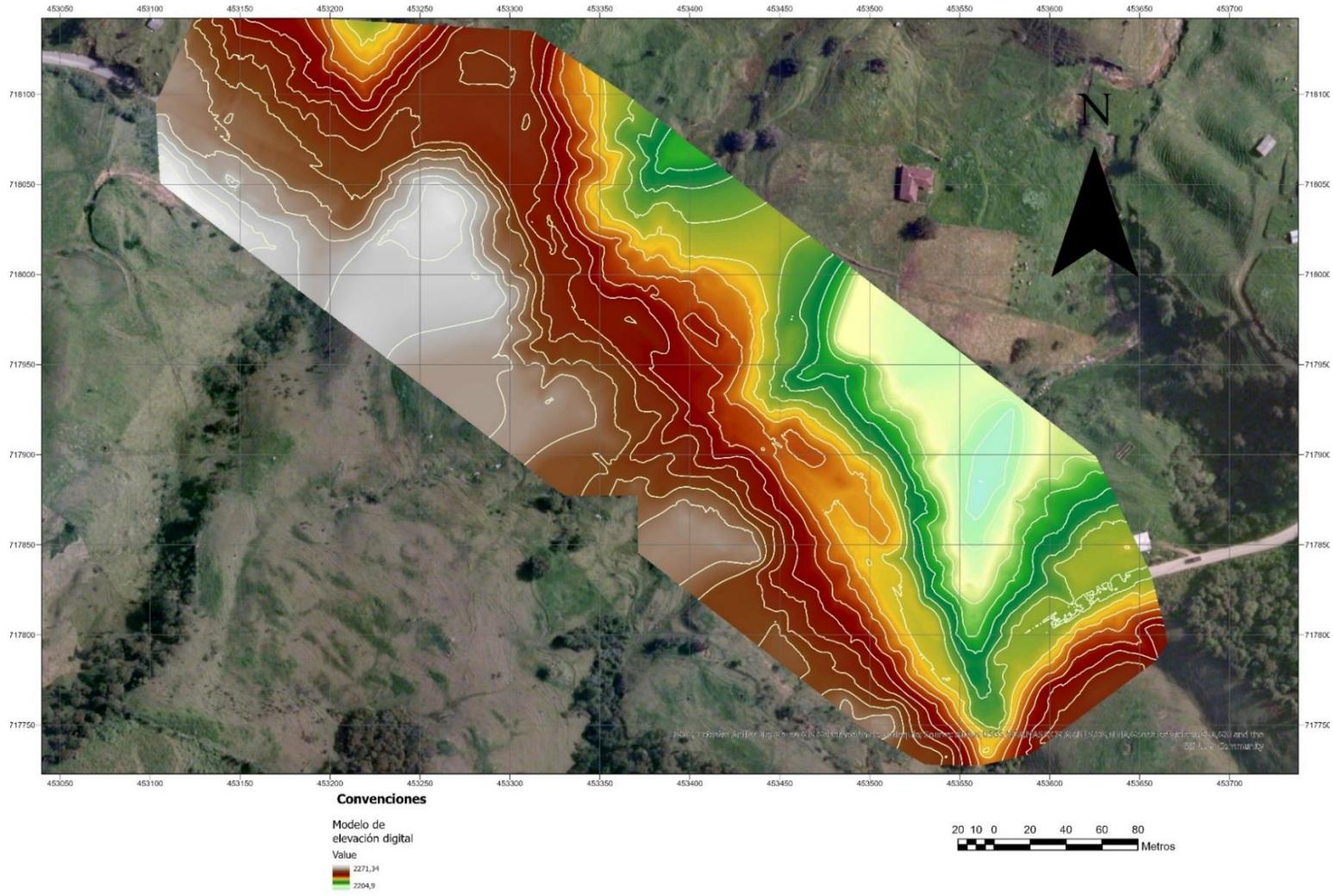
Nota El mapa base en la figura corresponde a la ortofoto de la GdeA. Fuente Elaboración propia

Figura 8
DTM generado con Drone2Map-DMESR



Nota El mapa base en la figura corresponde a la ortofoto de la GdeA. Fuente Elaboración propia

Figura 9
Curvas de nivel con intervalo de 5m generadas con Drone2Map-DMESR



Nota El mapa base en la figura corresponde a la ortofoto de la GdeA. Fuente Elaboración propia

Anexo 4. Ortomosaico y modelos de elevación digital para el proyecto vial GSRSC

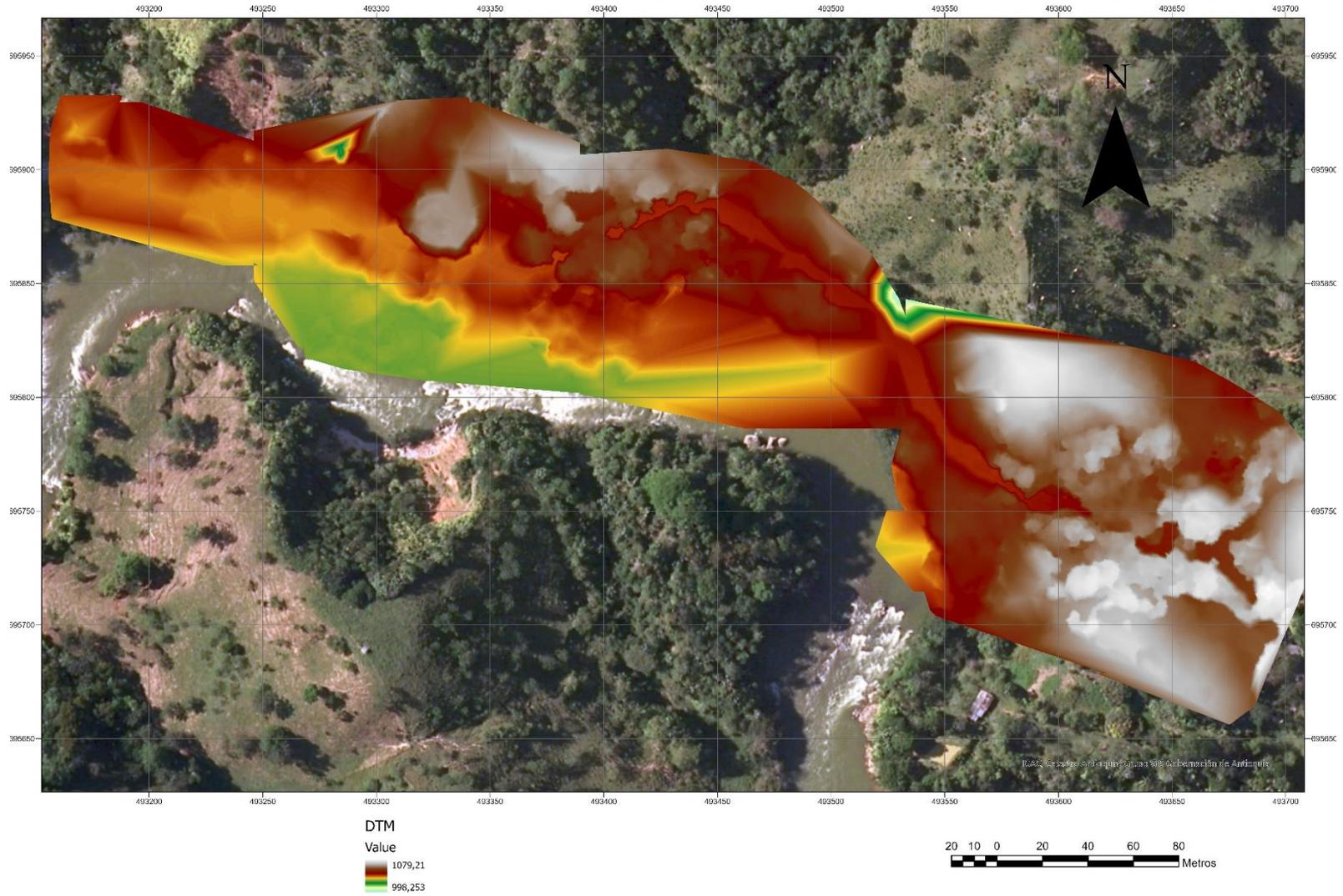
Figura 10

Ortomosaico generado con OrthoMapping-GSRSC



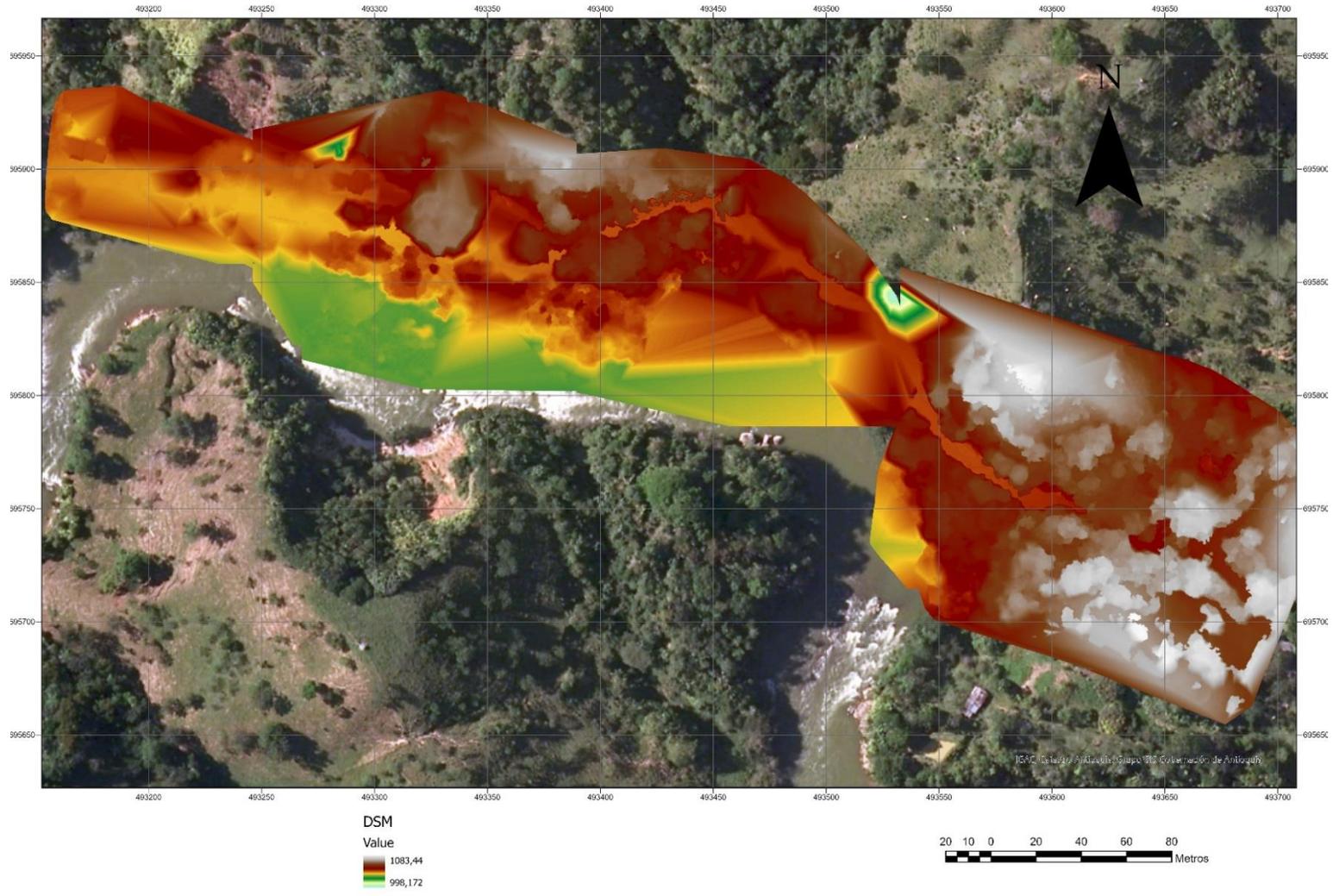
Nota El mapa base en la figura corresponde a la ortofoto de la GdeA. Fuente Elaboración propia

Figura 11
DTM generado con OrthoMapping- GSRSC



Nota El mapa base en la figura corresponde a la ortofoto de la GdeA. Fuente Elaboración propia

Figura 12
DSM generado con OrthoMapping- GSRSC



Nota El mapa base en la figura corresponde a la ortofoto de la GdeA. Fuente Elaboración propia

Anexo 5. Guía de georreferenciación secuencial y generación de ortomosaicos a partir de imágenes capturadas con dron

**GUÍA DE GEORREFERENCIACIÓN SECUENCIAL Y GENERACIÓN DE
ORTOMOSAICOS A PARTIR DE IMÁGENES CAPTURADAS CON DRON**

Tabla de contenido

1.	Generalidades	40
1.1	Introducción	40
1.2	Elaboración del plan de plan de vuelo.	43
1.3	Ubicación preliminar de los puntos de control terrestre.	43
1.4	Marcación de los puntos de control terrestre en campo.	44
1.5	Medición de las coordenadas geográficas de los puntos de control terrestre	45
1.6	Captura de imágenes	45
2.	Manejo de Datos	46
2.1	Importación de imágenes	46
3.	Generación Productos Cartográficos	51
3.1	Procesamiento de imágenes.	51
3.2	Crear un Workspace de Orthomapping.	52
3.3	Georreferenciación de las fotografías	55
3.4	Alineación de las imágenes (ajuste en bloque de imágenes aéreas).	56
3.5	Adición de los GCPs.	58
3.6	Reajuste en bloque de las imágenes.	60
3.7	Generación del Modelo Digital de Elevación (DSM).	62
3.8	Generación del Ortomosaico.	64
3.9	Elaboración de las curvas de nivel.	65

1. Generalidades

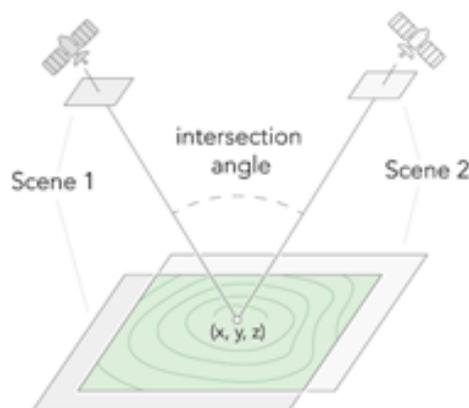
1.1 Introducción

Los modelos digitales de elevación (DEM) son resultados de la aplicación de técnicas de análisis fotogramétrico digital a fotografías aéreas o imágenes satelitales. La fotogrametría digital emplea métodos de comparación de imágenes para calcular la altura de los objetos en el terreno utilizando pares estereoscópicos. La calidad de los DEM producidos a partir de estos pares estereoscópicos depende tanto de la topografía del terreno como de la calidad de la información base, ya sean imágenes satelitales o fotografías aéreas.

Un par estéreo se forma a partir de dos imágenes que capturan la misma geolocalización desde perspectivas distintas. Estos pares estéreos se emplean con el propósito de crear una nube de puntos, de la cual se pueden extraer datos relacionados con la elevación del terreno o la superficie. Estos datos de elevación son fundamentales en el proceso de ortorrectificación durante la generación de los ortomosaicos.

La obtención de datos de elevación se logra cuando el conjunto de imágenes presenta un nivel adecuado de superposición, permitiendo la formación de estereopares. Lo habitual es que la superposición de imágenes para generar nubes de puntos alcance un 80% en la dirección de vuelo y un 60% entre líneas de vuelo, de modo que se abarque la totalidad del área analizada.

Figura A.1
Par estéreo



Fuente: Generar datos de elevación usando el asistente de DEM

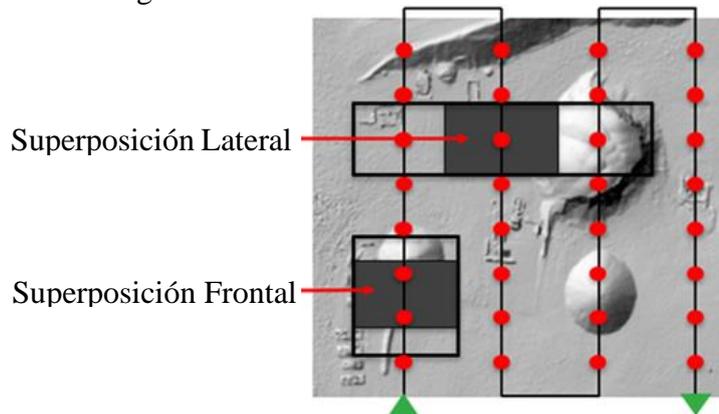
Para crear elementos cartográficos en 2D y 3D de buena calidad y precisión a la hora de generar estos productos es recomendable tener presente las siguientes consideraciones:

- Superposición de imágenes.

Para modelar un objeto, éste debe encontrarse en varias imágenes, tal resultado se logra asegurando la superposición entre las imágenes. Para este caso, los sitios de estudio corresponden a proyectos de carreteras, la mejor manera de obtener fotografías del trazado horizontal de las vías es con la superposición frontal o en la dirección del vuelo.

Figura A.2

Superposición de imágenes

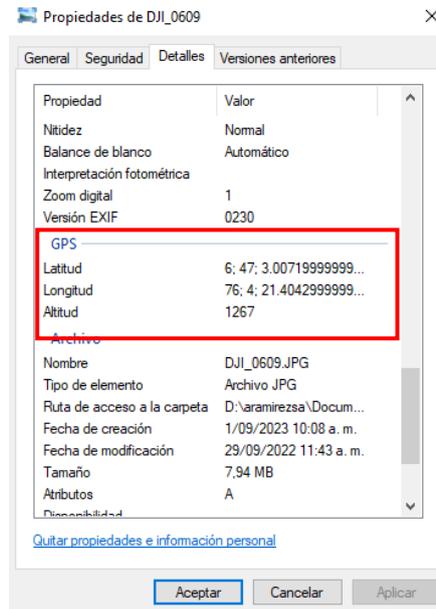


Fuente: *Getting Started with Site Scan for ArcGIS*

- Etiquetas geográficas.

Las imágenes capturadas por el dron deben ser imágenes geoetiquetadas, es decir, que contengan las coordenadas geográficas del lugar donde se tomaron. Esta información se almacena en los metadatos del archivo de la foto.

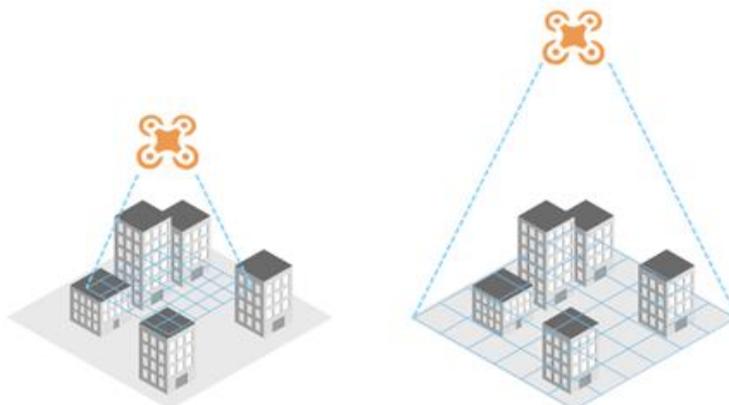
Figura A.3
Geoetiquetado de imágenes capturadas en vía FHB



- GSD o Distancia de muestreo del suelo.

Este parámetro representa la distancia centro a centro de dos pixeles consecutivos en las imágenes. El detalle en una imagen disminuye si el GSD aumenta, los resultados finales se ven afectados por este parámetro. La relación entre la altura de vuelo y el GSD es directamente proporcional, es decir, entre mayor altura de vuelo, mayor GSD.

Figura A.4
Ejemplificación GSD.



Fuente: *Getting Started with Site Scan for ArcGIS*

1.2 Elaboración del plan de plan de vuelo.

Para elaborar el plan de vuelo existen distintas aplicaciones que ayudan a su planificación. Esta planificación es importante porque nos ayuda a capturar fotos de manera que se superpongan entre ellas, registrando por completo la superficie del área de interés y se obtenga un mejor producto. La aplicación estudiada para realizar dicho procedimiento es SiteScan for ArcGIS que es una aplicación web.

En esta aplicación podemos visualizar la ruta y altura de vuelo que sigue el dron durante la captura de imágenes, estableciendo previamente las coordenadas del lugar de estudio, para garantizar la superposición entre imágenes.

Figura A.5

Ruta de vuelo y puntos de captura de imágenes en proyecto vial FHB



1.3 Ubicación preliminar de los puntos de control terrestre.

En caso de no contar con instrumentos GPS de alta precisión, predeterminar la ubicación de los puntos de control terrestre GCP con ayuda de las ortofotos base de la Gobernación de Antioquia, estos puntos pueden ser entidades geográficas fáciles de identificar en el mapa base de la Gobernación de Antioquia y en las imágenes capturadas con dron, por ejemplo, alcantarillas, construcciones y curvas. La ubicación de los puntos de control terrestre ayuda a aumentar la precisión geográfica de los productos finales, así como a escalar y orientar las imágenes.

Figura A.6

GCP en el corredor vial FHB



Figura A.7

GCP en detalle en el corredor vial FHB



1.4 Marcación de los puntos de control terrestre en campo.

En campo se ubican telas blancas cercanas a los puntos de control predeterminados, estas marcas deben ser suficientemente grande para poder ser identificadas en las imágenes capturadas por el dron. Una buena práctica para la identificación de estos puntos de control es hacer alguna marca sobre la tela o realizar una división para definir un solo punto dentro de la tela como punto de control terrestre.

Figura A.8

Punto de control terrestre en proyecto vial FHB.



1.5 Medición de las coordenadas geográficas de los puntos de control terrestre

La medición de coordenadas geográficas de los puntos de control en campo se realiza con GPS, una buena precisión de estos datos mejora la calidad del producto final, adicionalmente estos datos son utilizados en la georreferenciación de las imágenes.

1.6 Captura de imágenes

Una vez en campo, el vuelo para capturar las imágenes se puede realizar manualmente o puede sincronizarse con la aplicación SiteScan for ArcGIS si el dron es compatible con el software. Es importante mencionar que las imágenes para generar productos en 2D, deben ser capturadas en nadir o con ángulo de inclinación cero.

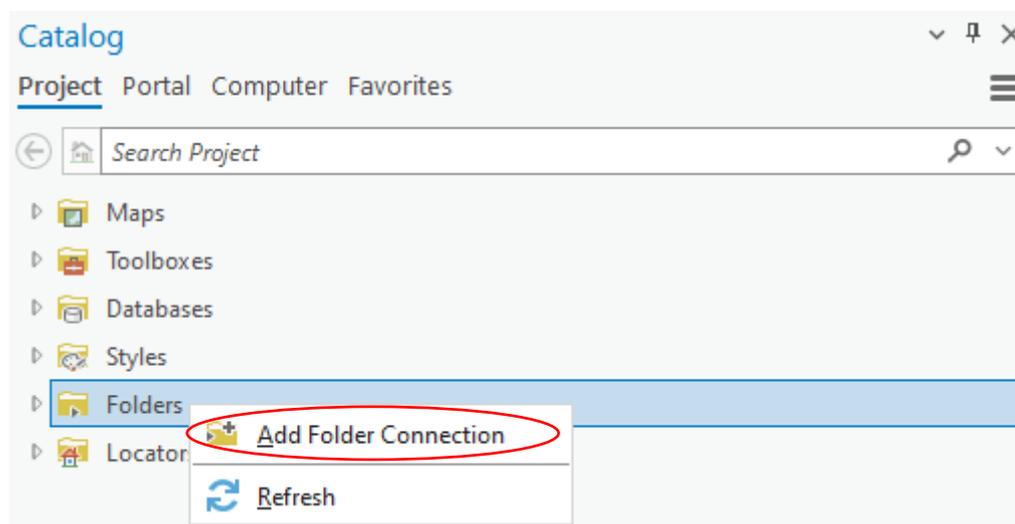
2. Manejo de Datos

2.1 Importación de imágenes

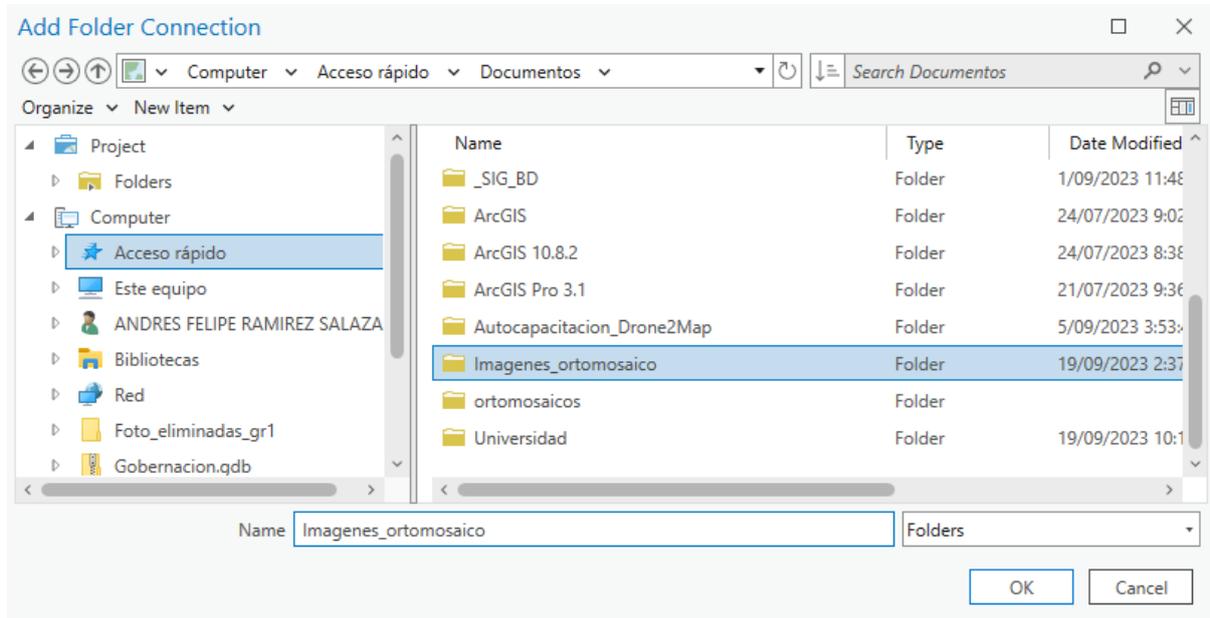
- i. En el Panel Catalog, buscar la opción Folders.



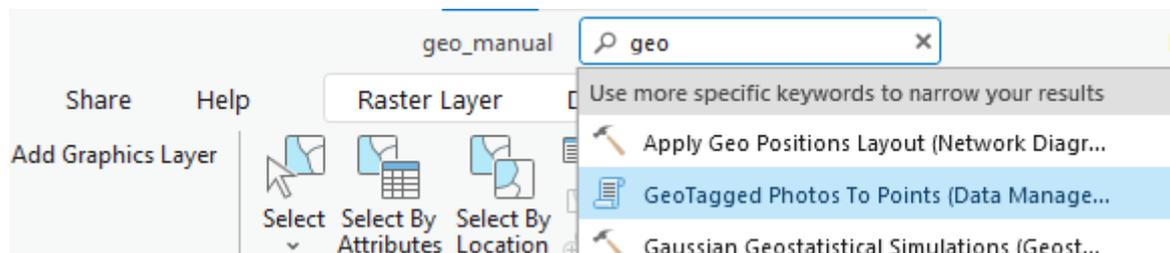
- ii. Clic derecho sobre la opción Folders, luego clic izquierdo sobre la opción Add Folder Connection.



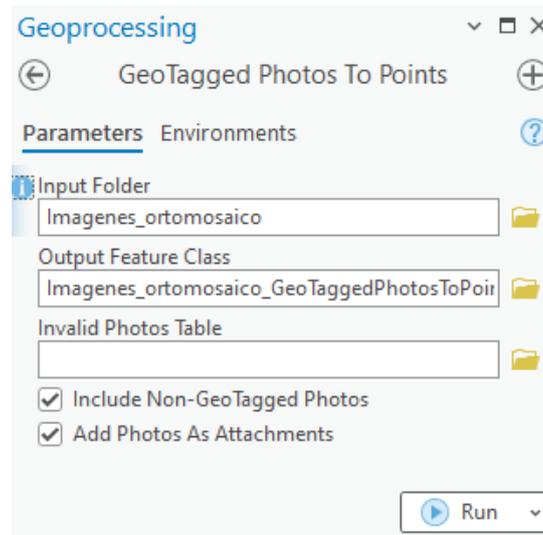
- iii. Buscar la carpeta que contiene las imágenes que se van a georreferenciar y hacer clic en OK.



- iv. Para conocer la ubicación de las 100 fotos que tenemos, seleccionamos la herramienta GeoTagged Photos To Points en el cuadro de búsqueda ubicado en la parte superior.



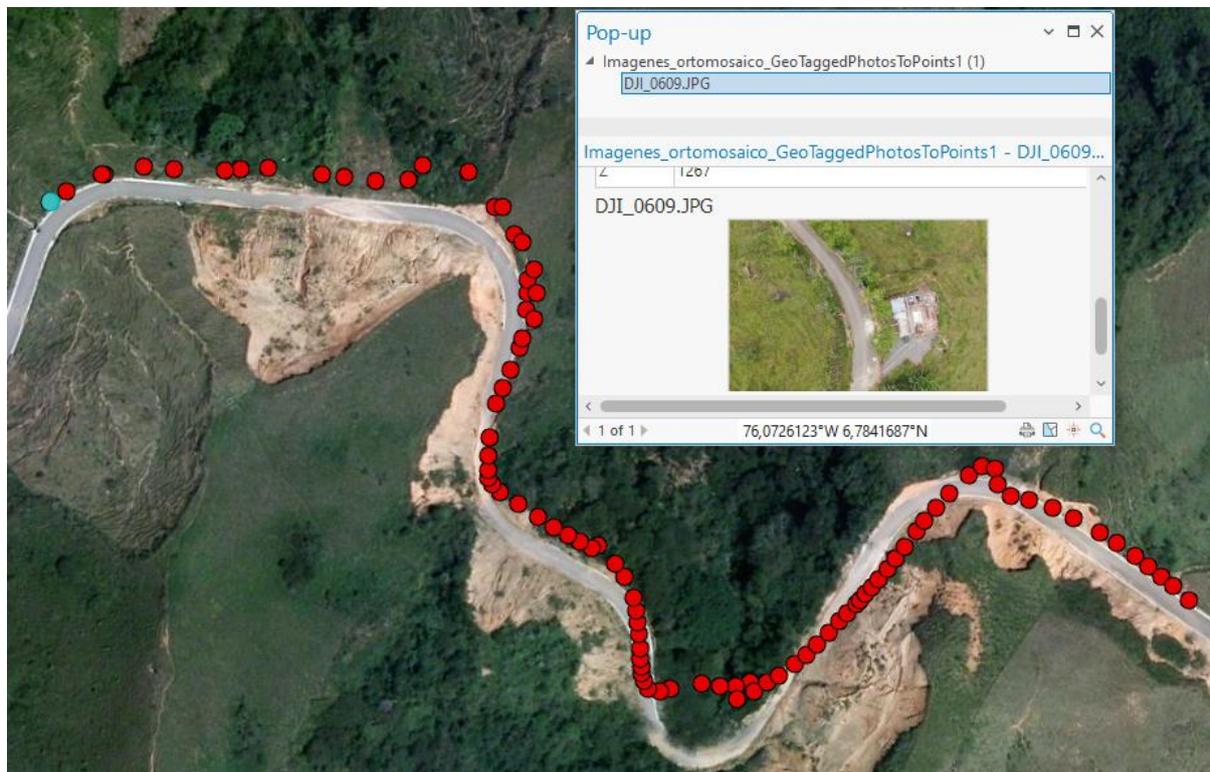
- v. En el parámetro Input Folder, buscamos nuevamente la carpeta en la que se almacenan las imágenes, los parámetros restantes se dejan predeterminados. Luego clic en Run.



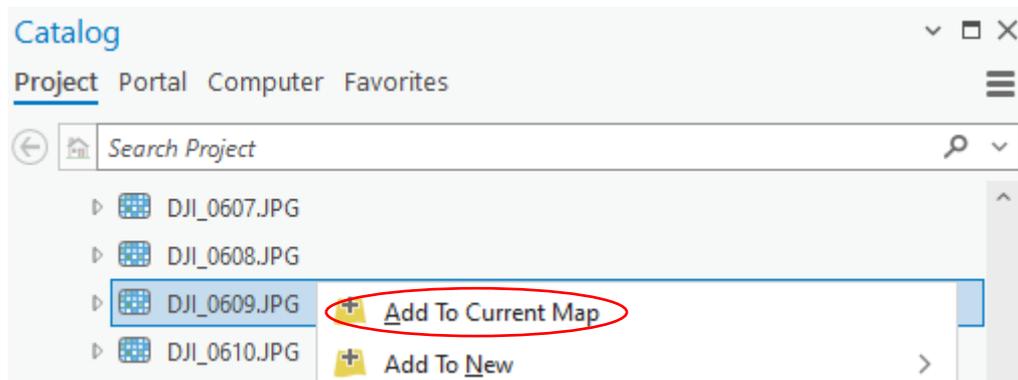
- vi. El resultado es una nube de puntos de la cual podemos visualizar el orden espacial en el que se deben ubicar las imágenes para la georreferenciación.

Figura A.9

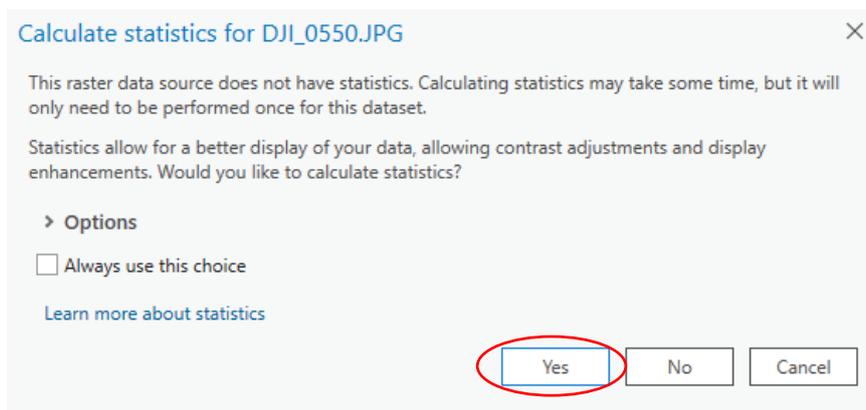
Ubicación geoespacial de las imágenes capturadas en el proyecto vial FHB.



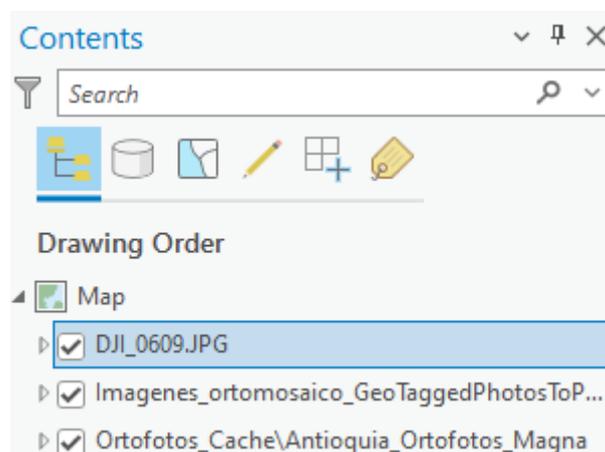
- vii. En el panel Catalog, clic derecho sobre la imagen que se desea georreferenciar después clic izquierdo sobre la opción Add To Current Map

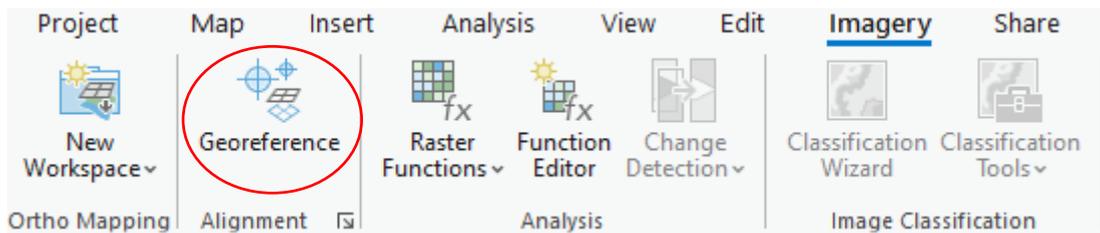


- viii. Clic en YES a la ventana de calcular estadísticas.

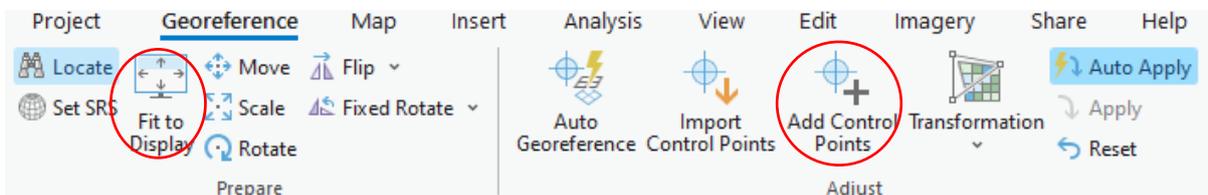


- ix. Seleccionamos la imagen en el panel de Contents, luego buscamos la pestaña Imagery, grupo Alignment y damos clic sobre la opción Georeference.





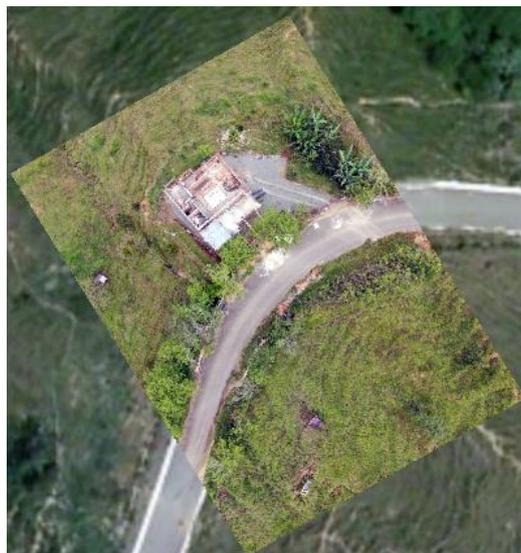
- x. En la pestaña Georeference, en el grupo Prepare, clic en Fit to Display, para traer la imagen a la zona de interés.



- xi. Con las opciones Move, Scale, Rotate y Add Control Points georreferenciamos esta primera fotografía con respecto al mapa base de las Ortofotos de Antioquia. Hasta quedar con una orientación y escala que nos sirva de referencia visual.

Figura A.10

Georreferenciación manual de las imágenes capturadas en el proyecto vial FHB.



- xii. Las siguientes imágenes se georreferencian usando la opción Add Control Points, con ayuda de la anterior, agregando 3 puntos de control por imagen.

Figura A.11

Puntos de control para continuar la georreferenciación secuencial de imágenes manualmente.



- xiii. El paso xii se repite hasta completar la georreferenciación de todas las imágenes, para enlazarlas se recomienda georreferenciar manualmente primero las imágenes correspondientes a las curvas.

3. Generación Productos Cartográficos

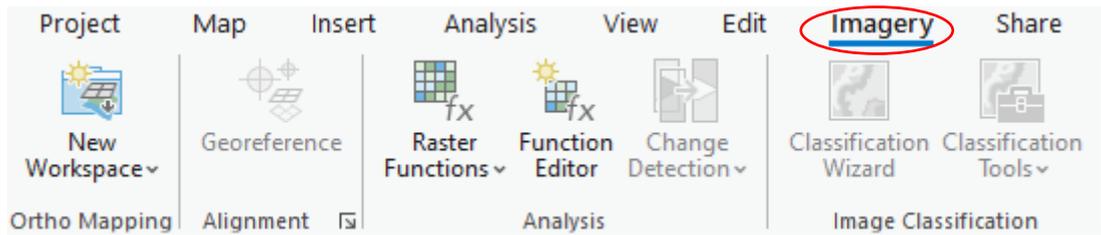
3.1 Procesamiento de imágenes.

El procesamiento de las imágenes se puede realizar mediante distintos softwares. En este caso los ortomosaicos y los modelos de elevación se generaron con la herramienta Orthomapping de ArcGIS Pro, por ende, el procedimiento de la guía metodológica mostrará la generación de estos productos con el uso de esta herramienta.

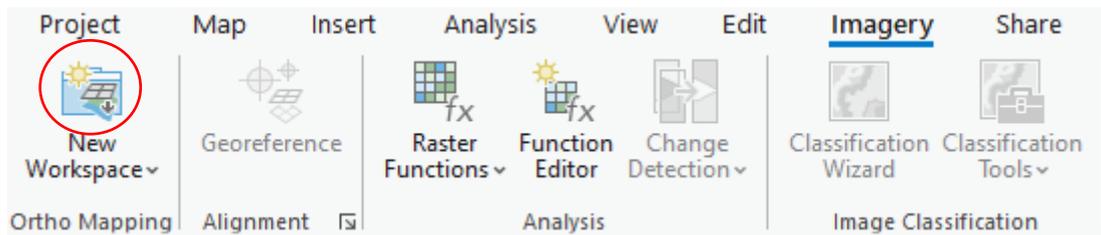
3.2 Crear un Workspace de Orthomapping.

Un workspace es un subproyecto que se almacena en el archivo principal y a su vez, éste almacena los archivos derivados de las imágenes capturadas con dron.

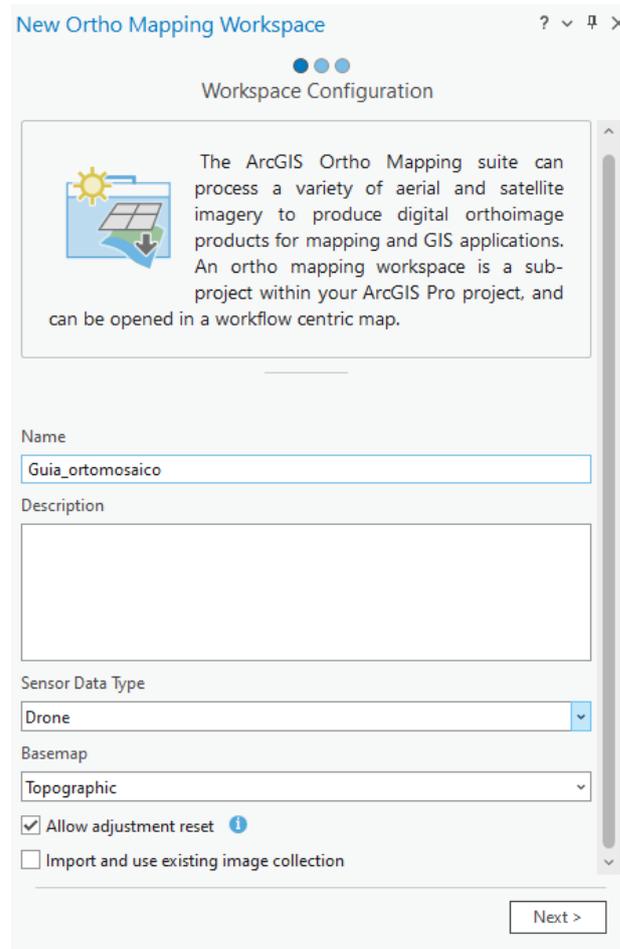
1.1.1 En ArcGIS Pro, vaya a la pestaña Imagery.



1.1.2 Busque el grupo Ortho Mapping, luego clic en New Workspace



1.1.3 Se abre el panel de New Ortho Mapping Workspace. En el Workspace Configuration se procede a dar un nombre al archivo. Luego, verificamos que la opción Sensor Data Type esté configurada en Drone, en la opción Basemap podemos elegir el mapa base que queremos visualizar en el workspace, para este caso lo configuramos en Topographic. Se procede a dar clic en Next.

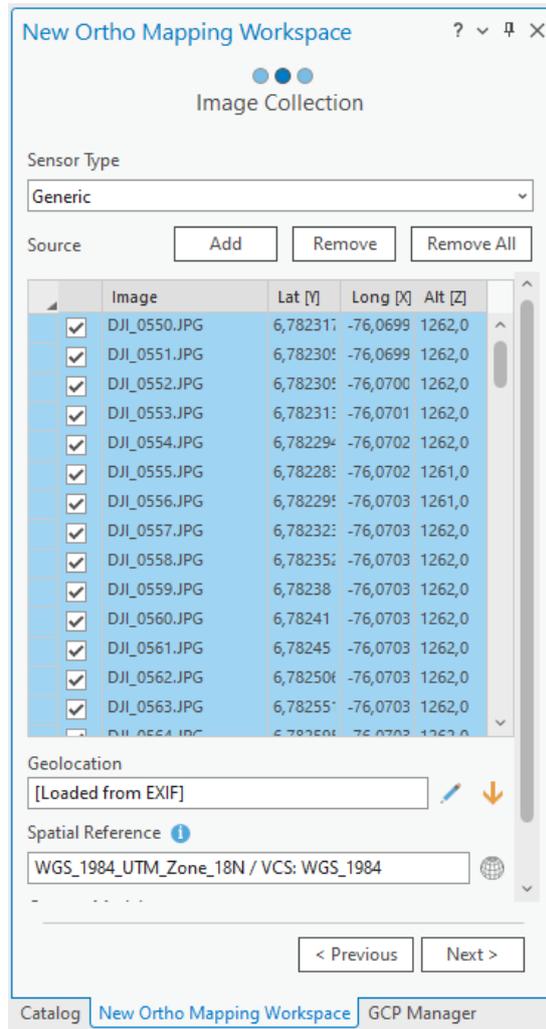


1.1.4 Acabamos de pasar al Image Collection, en la opción Sensor Type aplicamos la opción Generic.

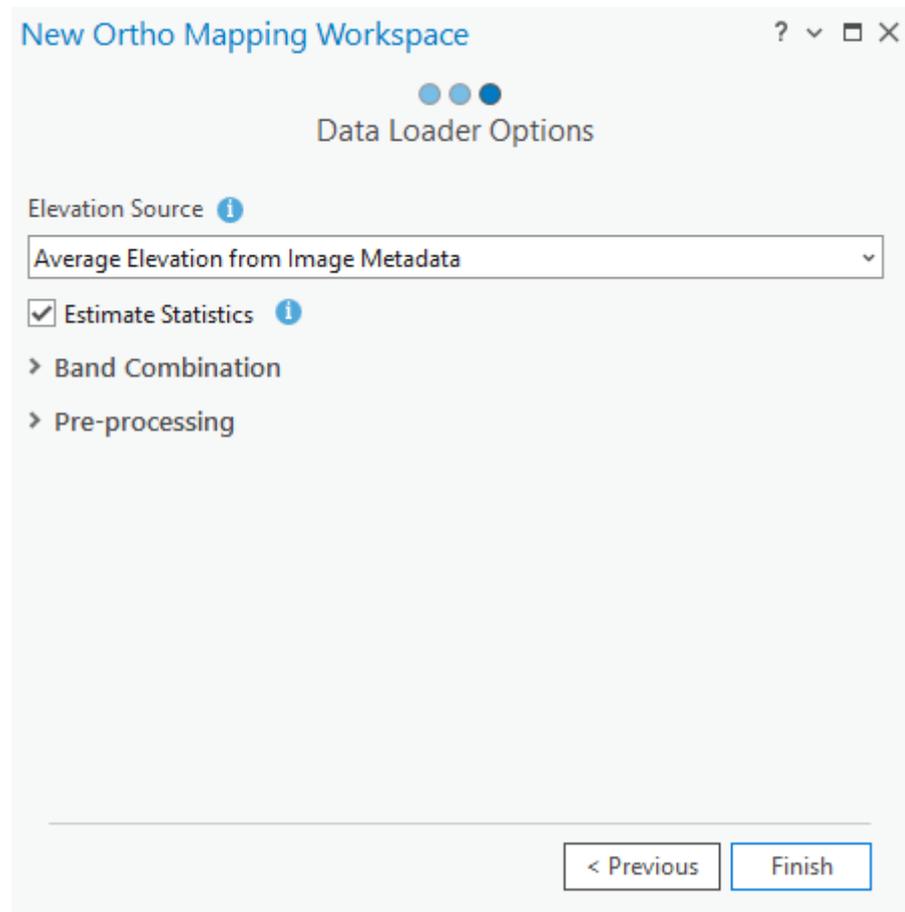
En la opción Source, damos clic en Add y buscamos la carpeta en la que están almacenadas las imágenes capturadas con dron. Al realizar esto, se cargan automáticamente las coordenadas X, Y, Z de las imágenes y la referencia espacial también se define de manera automática. La información anterior se carga de los metadatos almacenados en los archivos. Se procede a dar clic en Next.

Figura A.12

Información geoespacial de las imágenes capturadas en el proyecto vial FHB.

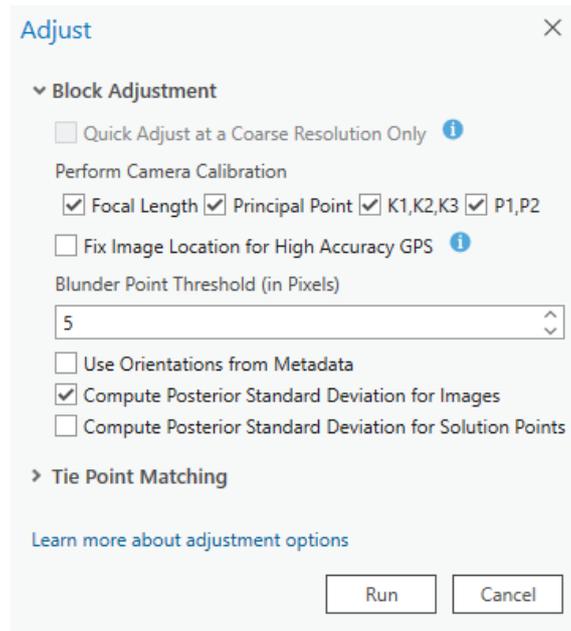


- 1.1.5** En el Data Loader Options dejamos las opciones predeterminadas y damos clic en Finish.



3.3 Georreferenciación de las fotografías

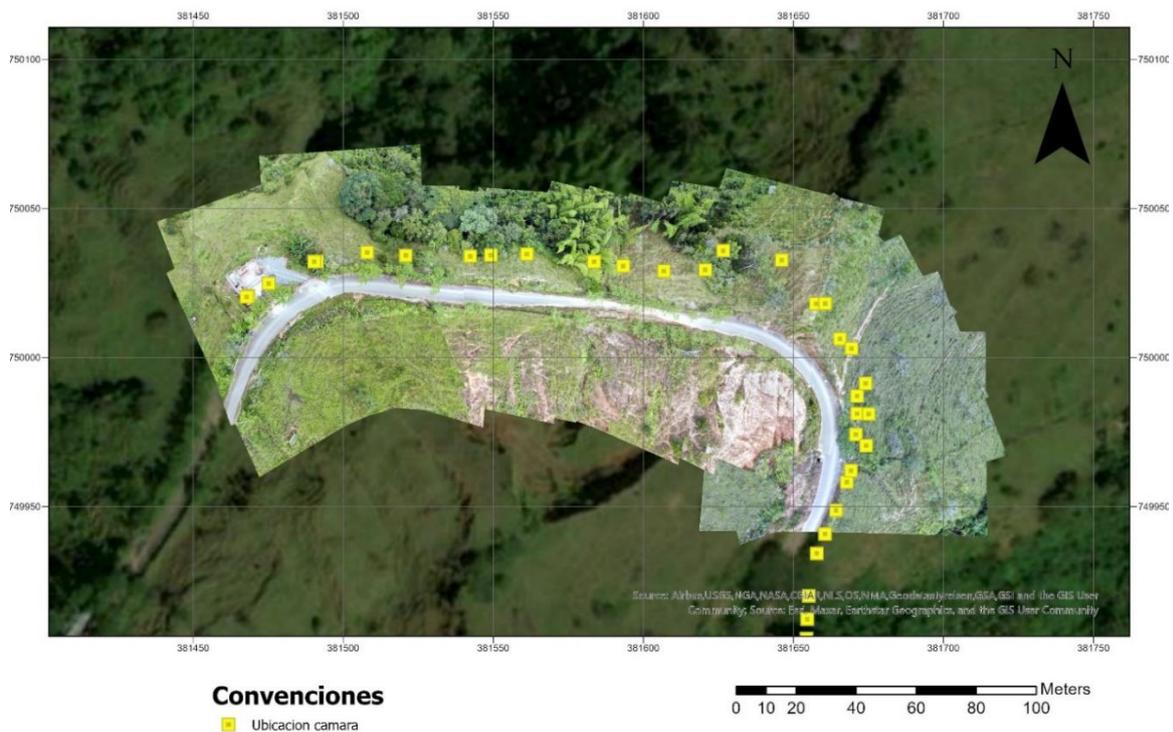
Una vez completado el paso anterior las imágenes se georreferencian con ayuda de la información extraída de los metadatos, pero no tienen la orientación ni la escala acorde a la realidad, por lo que es necesario realizar un primer ajuste.



El resultado de este procedimiento se muestra en la FiguraXX. Se observa que las imágenes se orientaron y escalaron, pareciéndose más al corredor vial que existe allí.

Figura A.14

Ajuste en bloque de las imágenes capturadas en el proyecto vial FHB



3.5 Adición de los GCPs.

La adición de los GCPs se puede realizar de 2 maneras, la primera consiste en importar un archivo .csv de texto, en el que están registradas las coordenadas X, Y, Z de los puntos de control obtenidos en campo. Para poder utilizar estos puntos, sus coordenadas deben medirse con instrumentos que tengan precisión de centímetros.

Si no se cuenta con coordenadas que tengan esa precisión, los GCP se adicionan manualmente, así que de la georreferenciación manual de las 100 imágenes que se hizo en el capítulo 2, se obtuvo coordenadas de 10 puntos para usar como coordenadas de GCPs. Lo anterior se hace con la finalidad de darle la ubicación más cercana posible a la realidad de estos puntos (aumentar la precisión absoluta).

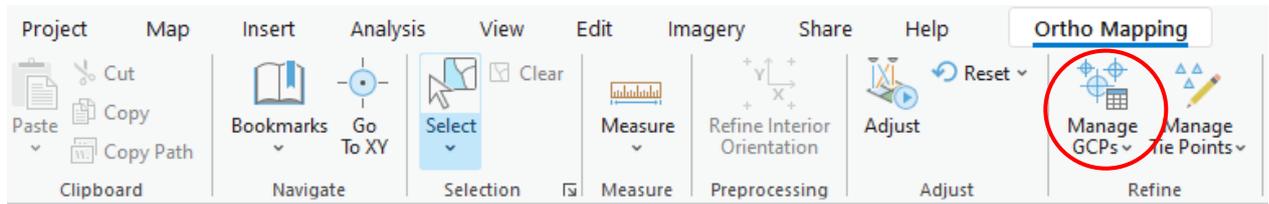
- i. Se revisa la capa con las imágenes georreferenciadas manualmente para extraer las coordenadas de los puntos.

Tabla A.1

Coordenadas de los GCPs

Punto	X	Y	Z
1	381719.86	749841.40	0
2	381716.90	749838.15	0
3	381716.31	749840.58	0
4	381833.48	749887.34	0
5	381866.64	749896.27	0
6	381914.07	749874.72	0
7	381462.23	750010.41	0
8	381661.66	749969.94	0
9	381614.18	750017.80	0
10	381655.87	749891.85	0

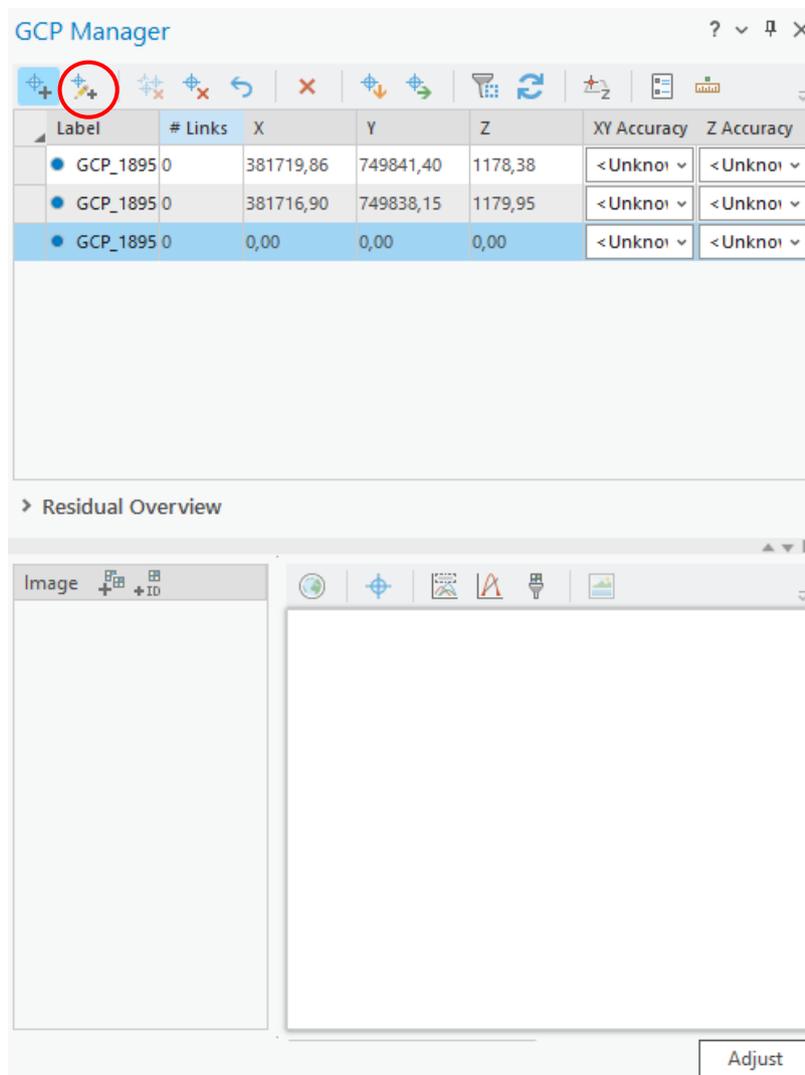
ii. En la pestaña Ortho Mapping, buscamos la opción Manage GCPs



iii. Se abre el panel del GCP Manager y damos clic en la opción Add GCP Manually. Se habilitan las casillas para agregar las coordenadas manualmente. Se ingresan todas las coordenadas.

Figura A.15

Ajuste en bloque de las imágenes capturadas en el proyecto vial FHB

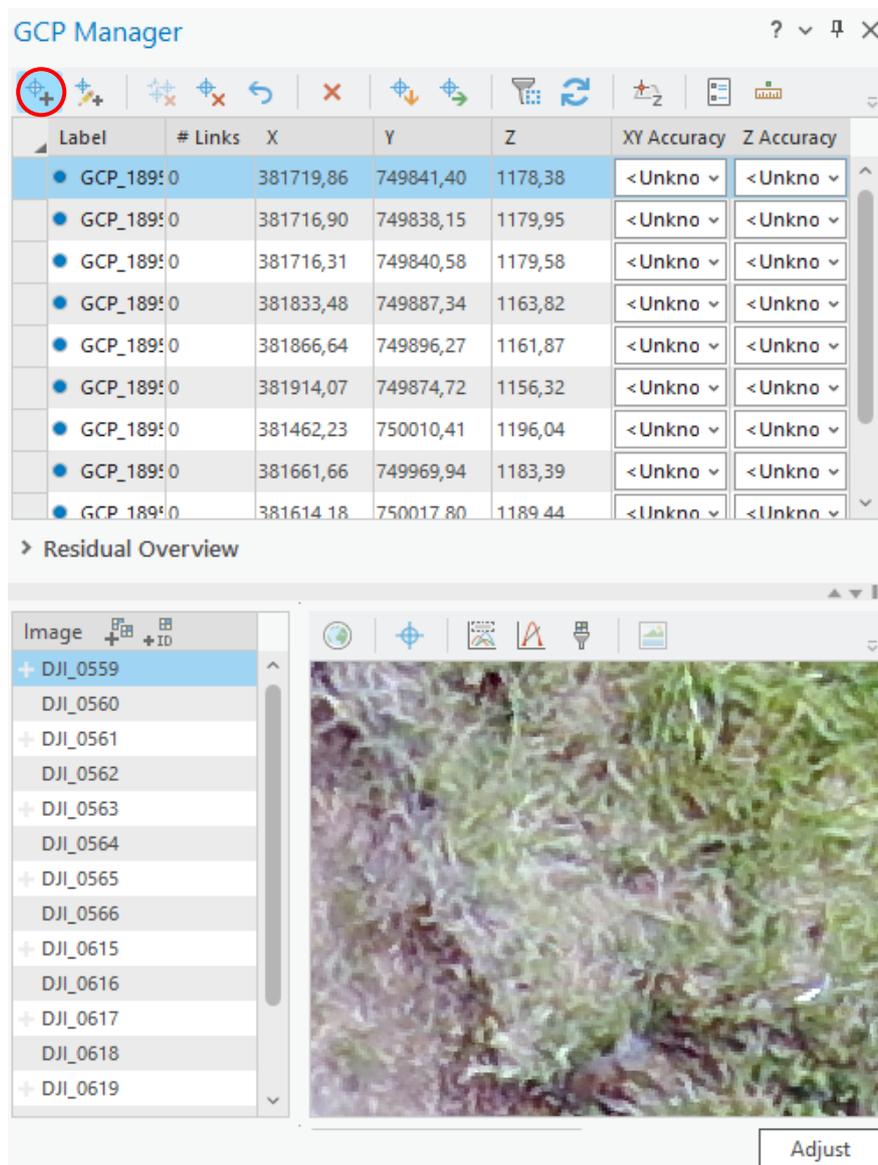


3.6 Reajuste en bloque de las imágenes.

- i. En la parte inferior después de habilitar la opción Add GCP Manually, se observa un panel que contiene las imágenes georreferenciadas cercanas al GCP ingresado y seleccionado.
- ii. Se procede a dar clic en la opción Add GCP, or Tie Point.

Figura A.16

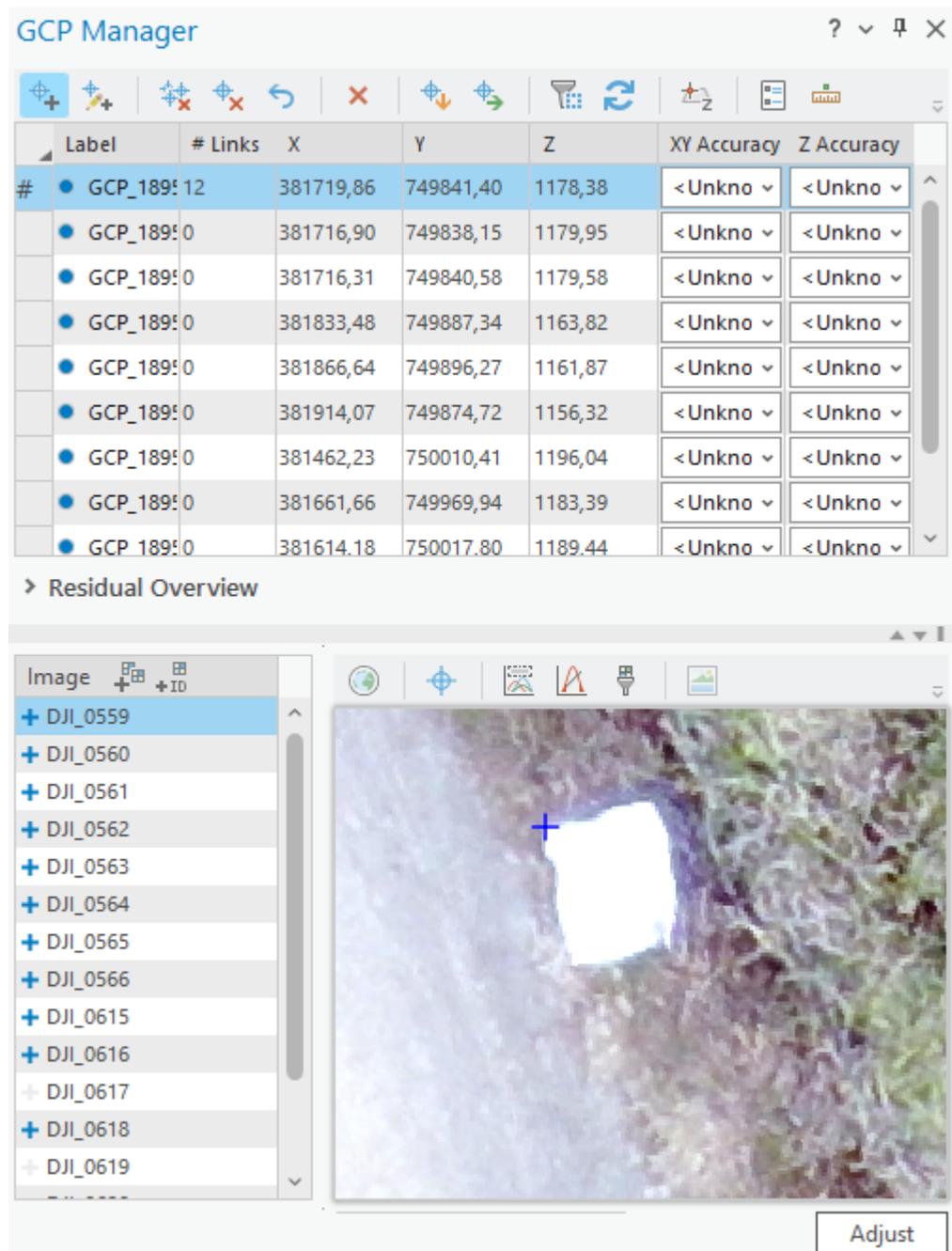
Ajuste en bloque de las imágenes capturadas en el proyecto vial FHB



- iii. En la parte inferior del panel, en la imagen seleccionada se busca el punto que corresponde a la coordenada ingresada en la imagen. La selección del mismo punto en las demás imágenes se realiza de manera automática.

Figura A.17

Ajuste en bloque de las imágenes capturadas en el proyecto vial FHB



- iv. Cuando se haya seleccionado todos los puntos, se realiza el reajuste dando clic en la opción Adjust. En la Tabla 4 se muestra el resultado final del ajuste en bloque.

Tabla A.2

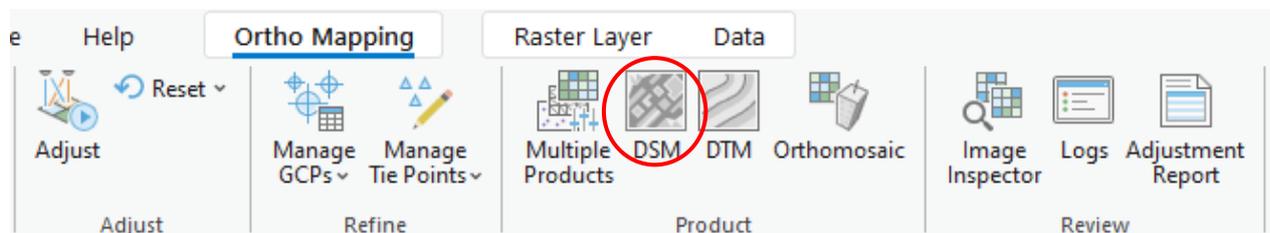
Coordenadas de los GCP y su error de precisión al hacer el reajuste en bloque

Punto	X	Y	Z	dX	dY	dZ
1	381719.86	749841.40	0	0,08	0,22	0,15
2	381716.90	749838.15	0	0,29	0,27	-0,39
3	381716.31	749840.58	0	0,3	0,2	-0,32
4	381833.48	749887.34	0	-0,67	-0,27	-0,38
5	381866.64	749896.27	0	-0,37	0,08	0,28
6	381914.07	749874.72	0	0,82	-0,12	0,1
7	381462.23	750010.41	0	-0,05	-0,06	-0,52
8	381661.66	749969.94	0	-0,06	-1,57	-2,1
9	381614.18	750017.80	0	3,31	-1,04	1,42
10	381655.87	749891.85	0	-0,15	-0,17	-0,11

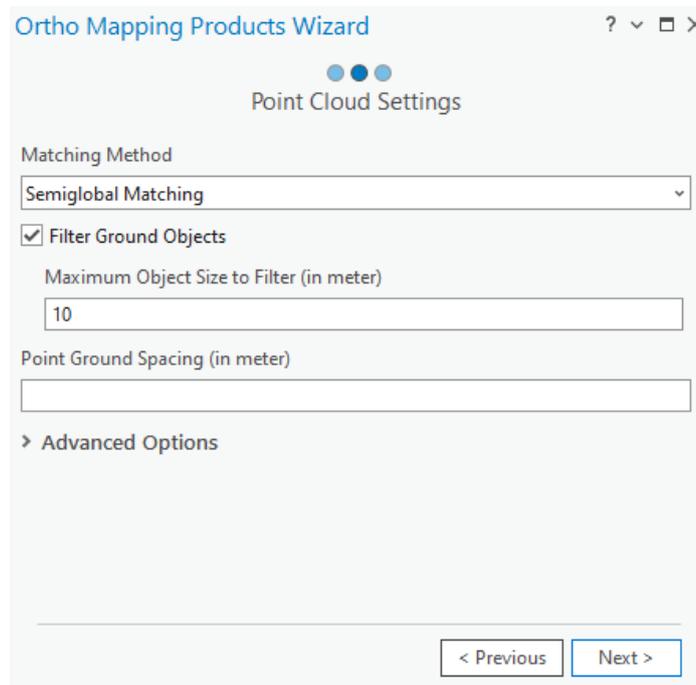
3.7 Generación del Modelo Digital de Elevación (DSM).

Un DSM es un DEM en el cual se representa además de la altura de la superficie del suelo, la altura de entidades geográficas como árboles, edificaciones y cualquier otro objeto que esté sobre la superficie.

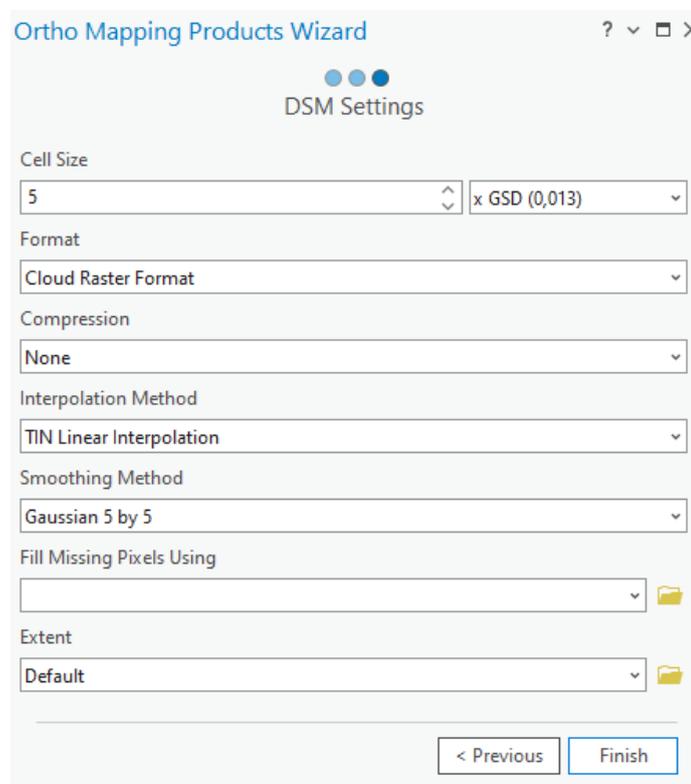
- i. En la pestaña Ortho Mapping, en el panel superior, buscamos la opción DSM, hacemos clic.



- ii. Se abre el panel Ortho Mapping Products Wizard. En la pestaña Point Cloud Settings, en la opción Matching Method definimos la opción Semi Global Matching para tener un DSM con mejor detalle. Damos clic en Next.

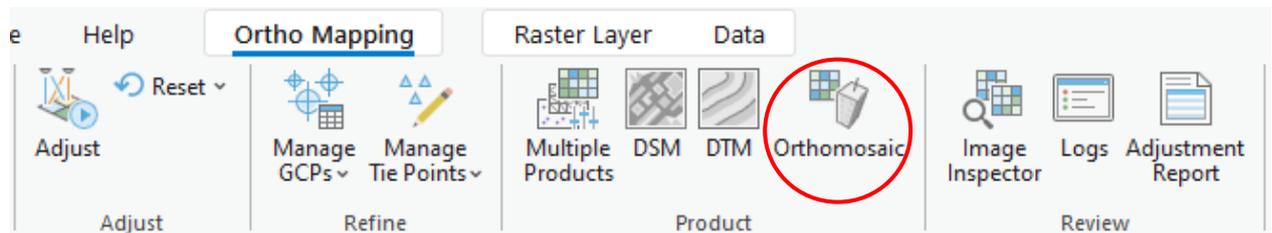


- iii. En la pestaña DSM Settings, se dejan las configuraciones predeterminadas, se da clic en Finish.

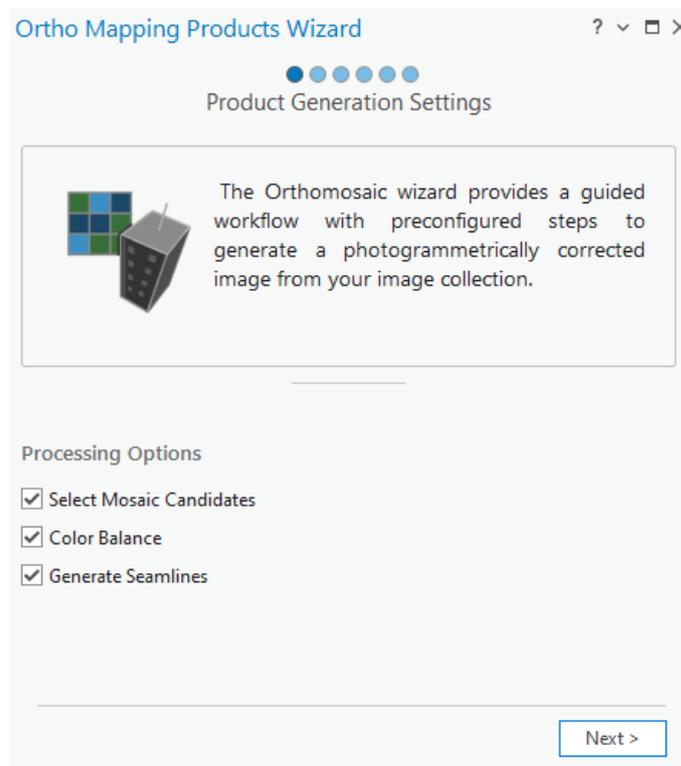


3.8 Generación del Ortomosaico.

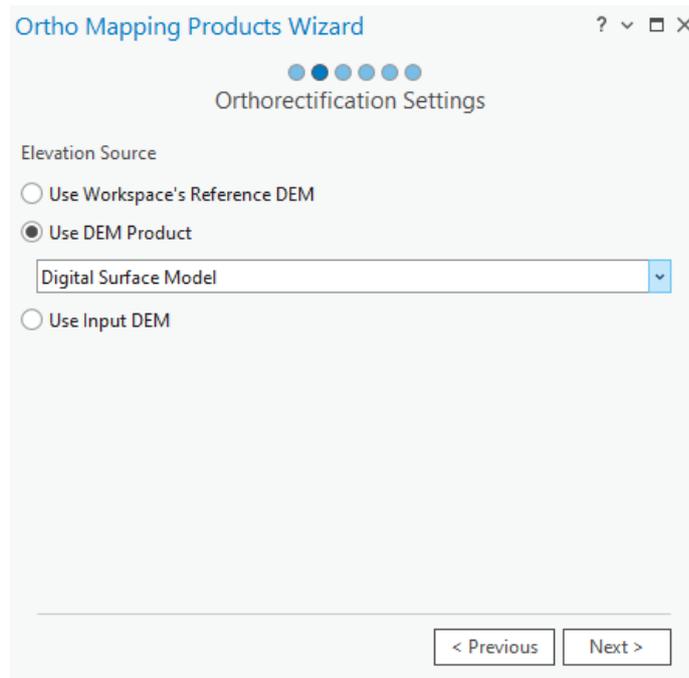
- i. En la pestaña Ortho Mapping en el panel superior, buscamos el grupo Product y luego hacemos clic en la opción Orthomosaic.



- ii. En la pestaña Product Generation Settings, se dejan las opciones predeterminadas, clic en Next.



- iii. En la pestaña Orthorectification Settings, cambiamos la configuración Elevation Source, seleccionamos la opción Use DEM Product.

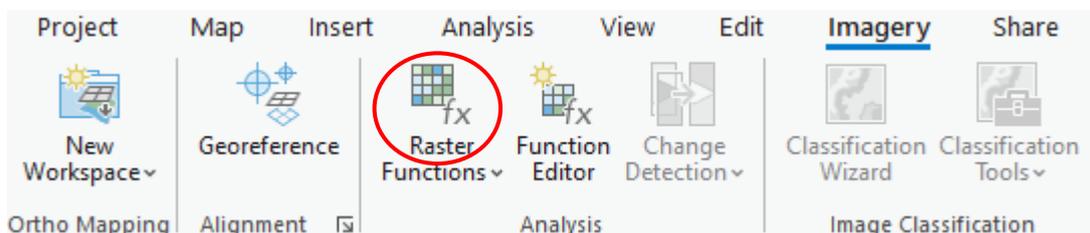


- iv. Se dejan las opciones predeterminadas en las demás configuraciones.

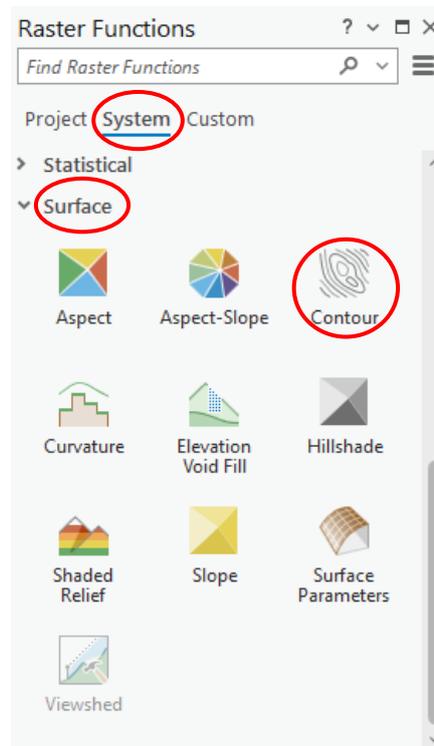
3.9 Elaboración de las curvas de nivel.

Para generar las curvas de nivel es necesario crear primero un DTM, el DTM es un DEM en el cual solo se registra información de la altura del terreno, las entidades geográficas como edificaciones, árboles y demás se filtran, de tal manera que solo se represente la altura de la superficie del suelo.

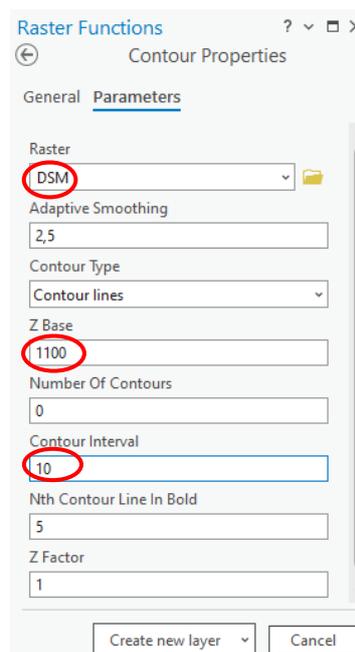
- i. En la pestaña Imagery, buscar el grupo Analysis, luego dar clic en la opción Raster Functions.



- ii. En el panel Raster Functions, clic en la pestaña Systems, buscar la opción Surface, por último, clic a la opción Contour



- iii. Se abre un panel para configurar las opciones de las curvas de nivel. Elegimos el DEM a partir del cual se crearán las curvas de nivel, asignamos un valor Z a la curva correspondiente al nivel más bajo, definimos el intervalo entre curvas de nivel y damos clic en Create New Layer.



Bibliografía

Esri. (s.f). *Generar datos de elevación usando el asistente de DEM*

<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/imagery/generate-elevation-data-using-the-dems-wizard.htm>

Esri. (s.f). *Create Drone Imagery Products in ArcGIS Pro*

<https://doc.arcgis.com/en/imagery/workflows/tutorials/create-drone-imagery-products-ortho-mapping.htm>

Méndez, M; Jiménez, D. (2012). Generación de Modelos de Elevación Digital (DEM) a partir del análisis fotogramétrico utilizando imágenes CARTA-2005. *Tecnología en Marcha*, volumen 26. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835424.pdf>

Esri. (s.f). *Crear líneas de curvas de nivel en ArcGIS Pro*

<https://support.esri.com/es-es/knowledge-base/cmo-crear-lineas-de-curvas-de-nivel-en-arcgis-pro-000022519>

Esri. (s.f). *Getting Started with Site Scan for ArcGIS*

<https://www.esri.com/training/catalog/5ecdbcd6212bad0b1b6e9084/getting-started-with-site-scan-for-arcgis/>

Lorduy, S. (2017). *Generación de ortoimágenes usando vehículos aéreos no tripulados aplicado a la agricultura* [Tesis de pregrado, Universidad EAFIT]. Archivo digital.

<https://core.ac.uk/download/pdf/159381527.pdf>