

Aplicación del método de fotointerpretación de nube de puntos, escalamiento de ortomosaico y postproceso de muestras fotogramétricas mediante el uso de una aeronave remotamente tripulada RPAS, utilizando procesos de fotogrametría con Pix4d Mapper, ArcGIS, Global Mapper para el levantamiento topográfico de vías urbanas no pavimentadas en el municipio de Barrancas – La Guajira

Eduardo Carlos Hernández Fragozo, Yulis Isabel Pacheco Márquez

Trabajo investigativo para optar al título de Especialistas en Interventoría y Supervisión de la Construcción, opción de grado diplomado en piloto de operaciones RPAS y Fotogrametría básica con pix4d y ArcGIS Para la arquitectura y las ingenierías

Director

Robert Gutiérrez Ortiz

Arquitecto

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Especialización en Interventoría y Supervisión de la Construcción

2024

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo de grado en primer lugar a Dios por ser quien nos dio la salud, la sabiduría el entendimiento y los medios para continuar con nuestra educación. A nuestros padres por ser quienes nos dieron la vida y quienes con sus esfuerzos nos regalaron la bendición de la educación y por creer siempre que nunca es tarde para el aprendizaje. A nuestros esposos por acompañarnos en este proceso. A nuestros hijos por ser el motor que nos impulsa a ser mejores personas y profesionales cada día.

Contenido

Introducción	12
1. Aplicación del método de fotointerpretación de nube de puntos, escalamiento de ortomosaico y postproceso de muestras fotogramétricas mediante el uso de una aeronave remotamente tripulada RPAS, utilizando procesos de fotogrametría con Pix4d Mapper, ArcGIS Global Mapper para el levantamiento topográfico de vías urbanas no pavimentadas en el municipio de Barrancas – La Guajira.....	14
1.1 Planteamiento del problema.....	14
1.2 Justificación	15
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo General.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
2 Marco referencial.....	16
2.1 Marco teórico	16
2.2 Marco conceptual.....	18
2.2.1 Medición de obras de forma tradicional	18
2.2.2 Medición áreas con vehículos aéreos no tripulados.....	19
2.2.3 Modelo digital de elevaciones (MDE) y modelo digital del terreno (MDT).....	20
2.2.4 Curvas de nivel	21
2.2.5 Ortofoto.....	21
2.3 Marco legal	21
3 Método.....	22
3.1 Identificación de herramientas del vehículo aéreo.....	22

3.2	Determinación de las actividades de seguimiento	23
3.3	Aplicación de la metodología de seguimiento	24
4	Resultados.....	24
4.1	Localización y ubicación del proyecto	24
4.2	Puesta en marcha del dron Mavic 2 Pro para la realización del levantamiento topográfico.	27
4.3	Parametrización previa procesamiento de imágenes	27
4.4	Procesamiento de imágenes	33
4.5	Edición de ortofoto en Recap Pro	43
4.6	Planimetría en autocad.....	43
4.7	Fotointerpretación en Global Mapper	45
4.8	Longitudes de vías existentes.....	50
5	Conclusiones.....	51
	Referencias.....	52

Lista de figuras

Figura 1. <i>Localización del municipio de Barrancas y del proyecto</i>	25
Figura 2. <i>Tramos intervenidos</i>	26
Figura 3. <i>Imágenes capturadas en el vuelo</i>	27
Figura 4. <i>Pantalla de inicio Pix4D mapper</i>	28
Figura 5. <i>Identificación y carpeta de ubicación del nuevo proyecto</i>	29
Figura 6. <i>Selección de imágenes y cargue.</i>	29
Figura 7. <i>Imágenes seleccionadas</i>	30
Figura 8. <i>Propiedades de Imagen</i>	30
Figura 9. <i>Edición de coordenadas</i>	31
Figura 10. <i>Edición del modelo de la cámara</i>	32
Figura 11. <i>Selección del sistema de coordenadas de salida</i>	32
Figura 12. <i>Plantilla de opción de procesamiento</i>	33
Figura 13. <i>Procesamiento inicial</i>	34
Figura 14. <i>Ubicación de puntos de control</i>	35
Figura 15. <i>Ingreso de los puntos de control tomados en campo a Pix4D mapper</i>	36
Figura 16. <i>Reoptimización de los puntos de control</i>	36
Figura 17. <i>Reoptimización de los puntos de control</i>	37
Figura 18. <i>Segundo procesamiento: nube de puntos</i>	38
Figura 19. <i>Segundo procesamiento: malla 3D con texturas</i>	38
Figura 20. <i>Tercer procesamiento: MDS y Ortomosaico</i>	40
Figura 21. <i>Tercer procesamiento: Resultados adicionales</i>	40
Figura 22. <i>Tercer procesamiento: Calculadora e índices</i>	41

Figura 23. <i>Edición de ortofoto en Recap Pro</i>	43
Figura 24. <i>Planimetría en autocad con ortofoto.....</i>	44
Figura 25. <i>Planimetria en autocad sin ortofoto.....</i>	44
Figura 26. <i>Pantalla de inicio en Global Mapper.....</i>	45
Figura 27. <i>Diagrama digital de terreno - DTM.....</i>	46
Figura 28. <i>Curvas de nivel</i>	46
Figura 29. <i>Áreas construidas</i>	47
Figura 30. <i>Vías Pavimentadas</i>	47
Figura 31. <i>Vías por intervenir.....</i>	48
Figura 32. <i>Visualizacion consolidada de la zona</i>	48
Figura 33. <i>Perfil longitudinal de la calle 17 entre carreras 16 y 17</i>	49
Figura 34. <i>Plano de vías a intervenir</i>	50

Lista de tablas

Tabla 1. *Localización exacta de las tramos intervenidos y longitud de cada uno* 26

Tabla 2. *Longitudes de tramos de vía pavimentadas* 51

Resumen

El presente trabajo se desarrolló con la intención de utilizar la alternativa de realizar un estudio técnico y descriptivo de vías urbanas en el municipio de Barrancas – La Guajira, las cuales se encuentran sin pavimentar. Para la anterior, se usará como herramienta principal una aeronave remotamente tripulada RPAS, utilizando procesos de fotogrametría con Pix4d Mapper, ArcGIS, Global Mapper, con el propósito de obtener información real y oportuna a partir de nuevas herramientas tecnológicas.

Palabras clave: dron, ortofoto, fotointerpretación, control, seguimiento, levantamiento topográfico.

Abstract

The present work was developed with the intention of using the alternative of carrying out a technical and descriptive study of urban roads in the municipality of Barrancas - La Guajira, which are unpaved. For the above, a remotely manned RPAS aircraft will be used as the main tool, using photogrammetry processes with Pix4d Mapper, ArcGIS, Global Mapper, with the purpose of obtaining real and timely information from new technological.

Keywords: drone, orthophoto, photo interpretation, control, tracking, topographic survey.

Glosario

AirGIS: sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.

Concoord: es un programa de conversión y transformación de coordenadas.

Coordenadas: sistema de referencia que permite que cada ubicación en la tierra sea especificada por un conjunto de números, letras o símbolos.

Drone: Vehículo aéreo no tripulado.

Fotogrametría: Es una técnica de medición de coordenadas 3D, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.

Fotointerpretación: proceso de examinar imágenes fotográficas, con el propósito de identificar objetos o condiciones y apreciar su significado.

Global Mapper: es una aplicación de sistema de información geográfica (SIG) potente y asequible que combina una gama completa de soluciones de software para el procesamiento de datos espaciales y proporciona acceso a una serie de formatos utilizados en el mundo del CAD, SIG y la ingeniería.

Levantamiento topográfico: primera fase de un estudio técnico y descriptivo que se hará en un terreno. Consiste en examinar cuidadosamente la superficie en la que habrá que considerar las características físicas, geográficas y geológicas del terreno.

MAGNA-SIRGAS: Sistema de referencia geodésico usado en la zona Colombia-Bogotá.

MDT: Modelos digital de terreno.

MDS: Modelo digital de superficie.

Monitoreo de Obra: Es un sistema que verifica si las actividades se están llevando a cabo según lo planeado.

Nubes de puntos 3D: Se refiere a un conjunto de vértices en un sistema de coordenadas tridimensional. Estos vértices se identifican habitualmente como coordenadas X, Y, y Z y son representaciones de la superficie externa de un objeto.

Obras Civiles: Se refiere al proceso de construcción de una infraestructura en general.

Ortofoto: Imagen fotográfica del terreno con proyección ortogonal, esta proyección permite que se eliminen las distorsiones planimétricas dadas por la inclinación de la cámara y por el desplazamiento que se da debido al relieve, dicha imagen da origen después de un respectivo procesamiento a mosaicos de cualquier plano seleccionado.

Pix4D mapper: es un software multipropósitos que permite generar resultados con precisión milimétrica y brinda un control total del proyecto.

Introducción

Con los avances tecnológicos actuales y las nuevas oportunidades laborales, se ha vuelto importante integrar herramientas para procesar información en la industria de la construcción y la topografía. El sector de la construcción tiene un crecimiento anual del 1% a diferencia de sectores económicos y de otras industrias, esto debido al bajo grado de digitalización de proyectos. El levantamiento topográfico es la primera fase del estudio técnico y descriptivo de un terreno. Se trata de examinar cuidadosamente la superficie considerando las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, pero también las alteraciones existentes de éste y que debían intervenir al hombre.

Anteriormente las herramientas básicas utilizadas en topografía plana eran una cinta métrica para determinar las distancias más cortas, un nivel para determinar las diferencias de altura o elevación, y un teodolito, en un trípode, para medir ángulos, en combinación con el proceso de triangulación. A partir de una posición con ubicación conocida y elevación, se miden la distancia y ángulos para el punto desconocido. Luego entró en auge la Estación Total, la cual puede medir ángulos y distancias de forma electrónica y procesar trigonométricamente los datos para proporcionarnos unas coordenadas de posición en el espacio, como mínimo. Desde su introducción, Estaciones Totales han hecho el cambio tecnológico de ser dispositivos óptico-mecánicos para ser totalmente electrónico.

La tecnología GPS ha tenido un gran auge en los últimos años, ya que ésta presenta en todos sus campos de aplicación resultados rápidos y eficaces. Estos campos de aplicación son fundamentales para el desarrollo humano y van desde la navegación aérea y marítima, monitoreo de actividades sísmicas, hasta las obras más vanguardistas de ingeniería.

En respuesta a lo anterior, se ha implementado la creación de nuevas herramientas técnicas para optimizar levantamientos topográficos. Los drones son un vehículo aéreo no tripulado, es decir, una máquina que vuela sin necesidad de que alguien la conduzca, ha demostrado simplificar diversas actividades en la ejecución de proyectos de infraestructura vial con el fin de generar múltiples beneficios en la obra, su implementación se ha venido regulando a través de los años siendo en el año 2019 la última nueva regulación de drones en Colombia, el uso de drones en infraestructura vial más habitual según PwC es la monitorización de la obra, el mantenimiento y el inventario de activos.

Por consiguiente, el propósito del presente trabajo como opción de grado, es realizar el levantamiento topográfico vías urbanas sin pavimentar en el municipio de Barrancas – La Guajira mediante el uso de una aeronave remotamente tripulada RPAS, utilizando procesos de fotogrametría con Pix4d Mapper, ArcGIS, Global Mapper.

Nuestra herramienta principal será el uso de un dron MAVIC 2 PRO, en la que se realizarán sobrevuelos que nos generen imágenes, mismas serán procesadas en el software Pix4D mapper, de la que obtendremos entre otros datos una ortofoto, la cual será foto interpretada en ArcGIS 10.8 y Global Mappers. Los datos geométricos de la fotointerpretación permitirán conocer el estudio técnico y descriptivo de un terreno, examinando la superficie cuidadosamente y considerando las características físicas, geográficas y geológicas del terreno.

1. Aplicación del método de fotointerpretación de nube de puntos, escalamiento de ortomosaico y postproceso de muestras fotogramétricas mediante el uso de una aeronave remotamente tripulada RPAS, utilizando procesos de fotogrametría con Pix4d Mapper, ArcGIS, Global Mapper para el levantamiento topográfico de vías urbanas no pavimentadas en el municipio de Barrancas – La Guajira

1.1 Planteamiento del problema

Cuando hablamos de levantamiento topográfico se debe considerar que es una operación de precisión. Es decir, estamos ante una serie de actividades que deben llevarse a cabo con instrumental especializado (la estación total topográfica), que deberá utilizarse por técnicos con la cualificación requerida. Es decir, que lo consideremos una actividad de precisión y que efectivamente, deba serlo, implica que lo realizará un topógrafo con estación total.

En la actualidad, con el avance acelerado y constante de la tecnología, aplica métodos alternativos remotos para capturar información que reducen tiempo y costos, especialmente en la topografía, por lo que hay que determinar el grado eficiente de estos métodos de levantamientos para utilizar en levantamientos topográficos.

Dicho lo anterior, ¿Qué herramientas se pueden utilizar para optimizar la realización de levantamientos topográficos con el fin de que no solamente facilite el trabajo, sino que también genere un beneficio a nivel global en el proyecto?, y así mismo ¿Qué tan beneficioso en términos de costo, tiempo y en general el proyecto hacer uso de una aplicación de drones?

1.2 Justificación

Con el pasar de los años, hemos visto el aumento en los usos de drones, esto gracias a las diferentes innovaciones tecnológicas que se han hecho frente a la tecnología de control, diseño y comunicaciones. Las nuevas herramientas tecnológicas permiten obtener datos con una resolución temporal reducida y con una alta resolución espacial, tanto de fotografías como de puntos. El proceso de obtención de los datos pasa de ser desde el proceso de imágenes planas 2D a imágenes en 3D.

En la construcción son cada día más utilizados, ya que son capaces de reducir los costos, los tiempos de ejecución y de obtener información más precisa. De acuerdo con datos de la consultora PwC la industria con mayor potencial para uso de drones es la de infraestructura. “Se estima un mercado mayor a los 45 mil millones de dólares a nivel mundial”. Uno de los sectores que más aprovecha el uso de esos instrumentos es el de carreteras; para dar mayor seguridad en las obras y analizar información durante el proceso de proyectos. Gracias a tomas aéreas los drones pueden aportar datos muy precisos en trazado de carreteras, libramientos, entronques y puentes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar el levantamiento topográfico de vías urbanas no pavimentadas mediante el uso de una aeronave remotamente tripulada RPAS, utilizando procesos de fotogrametría con Pix4d Mapper, ArcGIS, Global Mapper en el municipio de Barrancas – La Guajira.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

Identificar las características generales y las herramientas del dron necesarias a fin de que pueda facilitar la realización de un levantamiento topográfico teniendo en cuenta las condiciones del fabricante. CONCOORD

Determinar el procedimiento para realizar el procesamiento de imágenes por medio de los softwares Pix4D mapper, ArcGIS, Global mapper.

Formular una metodología para un levantamiento topográfico en vías urbanas no pavimentadas en Barrancas – La Guajira mediante el uso de una aeronave remotamente tripulada RPAS.

Analizar los resultados del levantamiento topográfico.

2 Marco referencial

2.1 Marco teórico

Un "dron" es un vehículo aéreo no tripulado más conocido como UAV, este hace referencia a una máquina que vuela sin la necesidad de una tripulación, su trayectoria de vuelo es programada por software o se maneja a través de un control remoto (GCF Global,2018). Posiblemente el uso de los drones que predomina actualmente en la ingeniería civil sea la inspección directa de fotografías, trabajando directamente con las imágenes obtenidas, así mismos procesos en los que se trabaja con modelos digitales o modelos digitales de elevación obtenidos a partir la fotografía aérea tomada desde un dron.

Actualmente las herramientas más utilizadas en el levantamiento topográfico son una cinta métrica para determinar las distancias más cortas, un nivel para determinar las diferencias de altura

o elevación y distancias, y una estación, para medir ángulos, distancias y niveles, haciendo esto un cambio tecnológico por ser un dispositivo totalmente electrónico (Zamarripa, 2010).

En la ingeniería civil, los drones ofrecen un amplio mundo de posibilidades, entre las aplicaciones más frecuentes están las cartográficas y topográficas. Los drones, dotados de dispositivos GPS, obtienen imágenes ortogonales o subortogonales, que luego son procesadas por medio de software especializado (Solís, 2004). Para realizar levantamiento con drones se hace uso de una técnica (o colección de técnicas) llamada fotogrametría la cual se encarga de determinar las propiedades geométricas y espaciales de los objetos en una zona determinada, a partir de imágenes aéreas. El objetivo principal es convertir datos bidimensionales en información cartográfica. Para obtener una fiel reconstrucción de los datos, los objetos en la zona de reconstrucción deben aparecer en un número suficiente de imágenes, esa información es la que permite extraer de manera clara su estructura.

Para obtener esa extra de información se realiza un solapamiento entre imágenes consecutivas (overlap), para esto el piloto del UAV debe planificar ruta o misión de manera que en cada imagen este un elemento, que también aparece en la imagen anterior, posterior y en las venideras (Aerial Insights, 2019).

Dentro de sus principales usos en obra a continuación menciono los más conocidos en el sector:

- Creación de mapas en 3D: el monitoreo aéreo proporciona datos para la creación de objetos en 3D y el mapa orto fotográfico del área. Los datos se pueden actualizar y almacenar continuamente como un mapa en línea para la visualización interactiva de objetos. Esto proporciona un mejor control sobre el progreso del trabajo y la

capacidad de proporcionar a los inversores y clientes la información visual más reciente.

- Fotografía aérea y escaneo 3D de proyectos de construcción: la fotografía aérea y el video se pueden utilizar para proporcionar a los clientes imágenes impresionantes. Un modelo 3D de un proyecto de construcción hace que todos los detalles estén disponibles para su visualización en línea.
- Monitoreo del progreso de la construcción de rutas: a lo largo de la fase de construcción de un desarrollo (e incluso antes), se pueden establecer rutas de vuelo acordadas sobre y alrededor del sitio para proporcionar informes de progreso visual casi en tiempo real para los desarrolladores, las partes interesadas e incluso las personas en el sitio.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Medición de obras de forma tradicional

La medición de un proyecto se puede llevar a cabo considerando diferentes alternativas, los más utilizados tradicionalmente representan costo y tiempo. Estos se basan en el mismo concepto, realizar una comparación entre lo planeado previo a la ejecución y el estado actual de avance que se lleva en cierto momento.

La curva S es una de las alternativas más usadas para conocer el estado de avance de un proyecto, se puede visualizar en función del costo y del tiempo. El problema es que con la variable de costo se logra conocer si uno se encuentra por abajo o encima de lo presupuestado a la fecha, y con la variable tiempo si uno está atrasado o adelantado con respecto a lo planificado, pero en ningún caso se sabe realmente cuanto porcentaje del proyecto se ha ejecutado.

El modelo se alimenta de la información diaria obtenida con las actividades que se ejecutaron en campo mediante los reportes de supervisión y proporciona el estado actual de avance en cada una de las etapas, indicando el porcentaje de avance del proyecto. Cuando la actividad se concluye, indica un valor numérico de ejecución, basado en el 100% de ejecución, por lo que cualquier variación respecto a lo planeado se verá reflejado en el indicador y puede ser base de comparación con cualquier proyecto.

2.2.2 Medición áreas con vehículos aéreos no tripulados

El vuelo aéreo se basa en el uso un vehículo aéreo no tripulado, que captura imágenes con cámaras verticales a establecida altura y velocidad constante en un área determinada. Con trayectorias paralelas entre si durante su recorrido, las imágenes serán tomadas con traslapos zona común a éstas (zona de solape) en su imagen inmediatamente anterior que permitirán la reconstrucción del terreno.

El levantamiento con drones es un avance en el desarrollo de la ingeniería y tecnología en general, este instrumento representa un apoyo, en vista de que se realiza en menor tiempo, con gran precisión y un costo inferior a un levantamiento topográfico tradicional según estudio realizado en la Universidad Santiago de Cali.

El uso de Drones en la topografía proporciona información gráfica en 3D debido a sus cámaras de última generación, mayor resolución y calidad del área en estudio y de sus alrededores. Además, captura un mayor número de puntos garantizando una planimetría y altimetría más detallada.

El levantamiento con drones se realiza a partir de imágenes aéreas cuyo objetivo principal es usar los datos bidimensionales obteniendo con ellos información cartográfica. Es importante

capturar suficientes imágenes, incluso fuera del borde definido para obtener una veraz reconstrucción de los datos.

En la actualidad existen gran variedad de software que procesan las imágenes tomadas por el Dron, transfiriendo los datos en alta calidad y precisión. Estos son: pix4D mapper, software fotogramétrico cuyas imágenes digitales tomadas en campo elaboran nubes de puntos densas y texturadas, realizando orto mosaicos en 3D a partir de una colección de imágenes.

De igual forma ArcGIS Pro “Aplicación SIG de escritorio para crear y trabajar con datos espaciales, proporciona herramientas para visualizar, analizar, compilar y compartir datos en entornos 2D y 3D”. Una de las características de ArcGIS Pro cumple la función de importar archivos en MXD en “proyectos”. Por medio de los cuales se puede organizar las carpetas en mapas, presentaciones, tareas, cajas de herramientas, estilos, conexiones a base de datos y carpetas.

Global Mapper es una aplicación de sistema de información geográfica (SIG) potente y asequible que combina una gama completa de soluciones de software para el procesamiento de datos espaciales y proporciona acceso a una serie de formatos utilizados en el mundo del CAD, SIG y la ingeniería. Con un énfasis especial en el procesamiento de datos 3D y terreno, las funciones de análisis de Global Mapper incluyen el modelado de cuencas visuales, así como delineación de cuencas hidrográficas, la medición de volúmenes y la optimización de cortes y rellenos, medición de volúmenes, cálculo ráster, creación de cuadrículas y terrenos personalizados, generación de contornos y mucho más.

Por último, AutoCAD refiriéndose a un software de diseño asistido por computadora (CAD) que permite crear dibujos en 2D y 3D.

2.2.3 Modelo digital de elevaciones (MDE) y modelo digital del terreno (MDT)

Uno de los elementos básicos de cualquier representación digital de la superficie terrestre son los Modelos Digitales de Terreno (MDT). Se denomina MDT al conjunto de capas (generalmente raster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

2.2.4 *Curvas de nivel*

Una curva de nivel es aquella línea que en un mapa une todos los puntos que tienen igualdad de condiciones y de altura.

2.2.5 *Ortofoto*

La Ortofoto es un producto cartográfico georreferenciado y corregido de deformaciones, generado a partir de fotografía aérea. Mantiene toda la información de la fotografía y permite además la medición a escala tanto de distancias como de superficies, lo que garantiza el ajuste con los mapas existentes sobre la zona de referencia.

La generación de Ortofotografías Aéreas a partir de las fotografías obtenidas desde plataformas aéreas se realiza mediante un riguroso proceso que comprende diferentes fases: orientación de las fotografías aéreas, obtención de un Modelo Digital de Elevaciones (del Terreno), ortorectificación de cada fotografía, ajustes colorimétricos y mosaicado.

2.3 Marco legal

Colombia, desde 1944, es país miembro de la Organización de aviación civil – OACI, quienes desde el 2011 están desarrollando un plan de gestión para la operación de los UAS/Drones a nivel mundial (Vega,2021). Esto quiere decir, que cada país miembro de la OACI es responsable

de las consecuencias de un mal uso del espacio aéreo. Cada país dispone de una autoridad aeronáutica que controla y garantiza el cumplimiento de los tratados entre países (Vega,2021).

En Colombia, la Unidad Administrativa especial de Aeronáutica Civil – UAEAC o Aero civil es la autoridad y el 05 de febrero de 2019, entró en vigencia la nueva regulación de Drones en Colombia reemplazando la circular 002 del 2015.

Algunos de los cambios más importantes en la regulación se refieren principalmente a los tipos de drones y las formas de operación en el espacio aéreo colombiano (Vega, 2021). La regulación de Drones en Colombia no cubre operaciones del estado, pero si a todas las personas o empresas que quieran operar Drones o UAS en Colombia. Aquí evidencia las diferentes clases que existen en el país para uso profesional (Vega, 2021).

- Clase A (abierta): Son todos los drones que tienen un peso superior a 250 gr y de hasta 25 kg. Por lo cual, no requieren de autorización de la UAEAC dado que su operación representa un mínimo riesgo (Vega, 2021).
- Clase B (regulada): Son UAS o Drones que tienen un peso superior a 25 kg y de hasta 150 kg. Las autorizaciones de vuelo pasan de demorarse un promedio de 15 días a tan solo 5 días para uso profesional (Vega, 2021).

3 Método

3.1 Identificación de herramientas del vehículo aéreo

Una de las características que llamaron la atención del Mavic 2 Pro, fueron las lentes de su cámara de la marca sueca Hasselblad L1D-20C. Poseen un focal equivalente a 28 mm superando a los modelos anteriores. Cuenta con un sensor CMOS de 1” de 20 megapíxeles (lo cual le confiere una mayor resolución y detalle) y que tiene una apertura ajustable de f/2.8 a f/11.

Otra característica interesante es que permite que las fotografías tengan un perfil de color Dlog-M de 10 bits, al igual que para video HDR. Lo que resulta en una mayor flexibilidad y rango dinámico al momento de la edición.

Por otra parte, este equipo tiene un sistema de transmisión de video OcuSync 2.0 y un cambio de frecuencia automático entre 2.4 y 5.8 Ghz.

En general, es un equipo muy completo, se puede mantener una distancia de transmisión de video de hasta 8 km a 1080p con 31 minutos de duración de tiempo de vuelo. Este dron aporta funciones de timelapse, panorámicas, así como de hyperlapse y ráfaga.

3.2 Determinación de las actividades de seguimiento

Inicialmente se debe realizar una inspección del área donde se desea el levantamiento topográfico, de ser posible de forma presencial. Esto nos permitirá recolectar información que nos permita identificar posibles limitaciones y/ dificultades como líneas eléctricas o edificios de gran altura. Luego se marcarán los puntos de control para facilitar la orientación del modelo de levantamiento topográfico digital del terreno de estudio para generar un sistema de coordenadas que pueda permitir alcanzar su correcta georreferenciación. Es importante tener en cuenta las condiciones climáticas del día en que se desea realizar el sobrevuelo, teniendo en cuenta las probabilidades de lluvia, así como la intensidad de los vientos.

Los vuelos serán programados mediante la aplicación PIX4DCapture en 2 rutas o trayectorias. La primera será una doble grilla rectangular concéntrica, overlap del 70%, ángulo de la cámara 80° y velocidad rápida. La altura de nuestra primera ruta será de 20m. La segunda ruta será una ruta circular concéntrica sobre el bloque 1, en la que utilizaremos las mismas indicaciones de la primera ruta, pero con una altura de 15m. Posteriormente se realizará el procesamiento de las

imágenes utilizando el software para el procesamiento de imágenes Pix 4D mapper el cual nos generará una nube de puntos, modelos digitales de superficie y ortomosaico de área en estudio. Una vez obtengamos los productos generados en pix4D mapper, optimizaremos el ortomosaico en ReCapPro.

Optimizada la imagen, la visualizaremos y exploraremos en Global mapper que con su herramienta LIDAR se realizará la creación de nubes de puntos fotogramétricos a partir de una serie de imágenes recogidas por el dron, clasificación automática de nubes de puntos, extracción automática de edificios, árboles y postes, visualización de secciones transversales, edición de puntos, escaneo personalizado o extracción de características de áreas, líneas en 3D, generación de superficies mucho más rápida, control de calidad LIDAR y mucho más.

3.3 Aplicación de la metodología de seguimiento

Acatadas las recomendaciones iniciales, en cuanto a la inspección personal donde se desarrollará el levantamiento topográfico, se procedió a volar sobre las vías urbanas no pavimentadas del municipio de Barrancas en el departamento de La Guajira y procesamiento descrito en el modelo.

4 Resultados

4.1 Localización y ubicación del proyecto

El presente proyecto se realizó en el municipio de Barrancas - La Guajira ubicado en la Península de la Guajira en la Región Caribe de Colombia, limitando al este con la República Bolivariana de Venezuela; al norte con los municipios de Hatonuevo y Albania; al sur con el

municipio de Fonseca y al oeste con el municipio de Riohacha. El municipio tiene una superficie total de 742 km² y está a unos 40 m sobre el nivel del mar.

Figura 1. Localización del municipio de Barrancas y del proyecto



Fuente: Adaptado de Wikipedia y Google earth

El levantamiento topográfico se realizó en la carrera 16 y 18 entre calles 15 y 17b, tal como se describe en la tabla 1.

Tabla 1. Localización exacta de los tramos intervenidos y longitud de cada uno

Ubicación	Longitud del tramo (m)
Calle 17b entre Carrera 16 y 18	307.2
Calle 17a entre Carrera 16 y 18	310.87
Calle 17 entre Carrera 16 y 18	310.8
Calle 16 entre Carrera 16 y 18	310.75
Calle 15 entre Carrera 16 y 18	305.09
Carrera 16 entre Calles 15 y 17b	295.77
Carrera 16a entre Calles 15 y 17b	297.05
Carrera 17 entre Calles 15 y 17b	288.5
Carrera 18 entre Calles 15 y 17b	288.02

Figura 2. Tramos intervenidos



Fuente: Adaptado de Google earth

4.2 Puesta en marcha del dron Mavic 2 Pro para la realización del levantamiento topográfico.

El vuelo se realizó el día 10 de septiembre de 2023, utilizando Pix4D Capture para la planificación del vuelo, escogida en una doble grilla rectangular, en la cual solo se tuvo complicaciones debido a que se presentaron fuertes vientos en el momento, no obstante, no afectaron el área de trabajo que se requería estudiar.

Puesta en marcha del dron Mavic 2 Pro para la realización del levantamiento

4.3 Parametrización previa procesamiento de imágenes

Resultado del enunciado anterior se obtuvo un total de 315 imágenes.

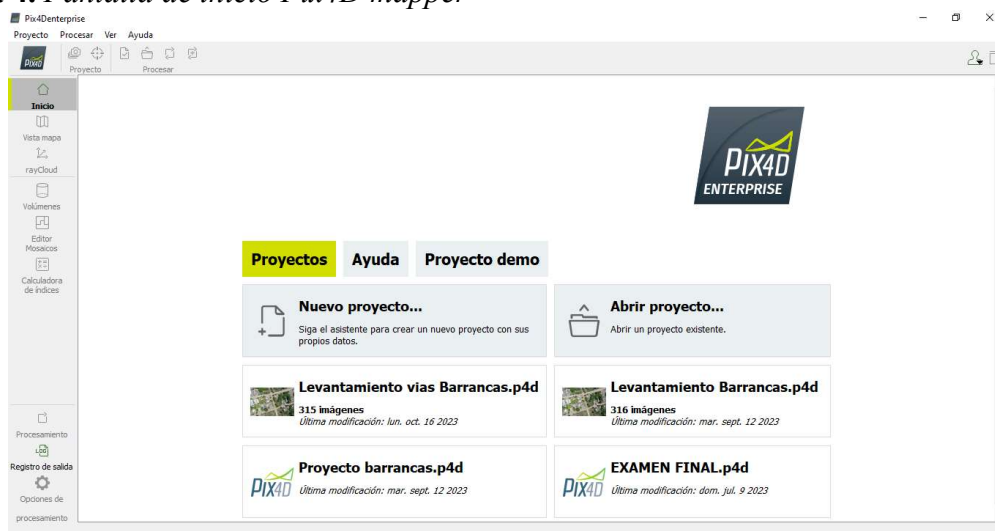
Figura 3. *Imágenes capturadas en el vuelo*



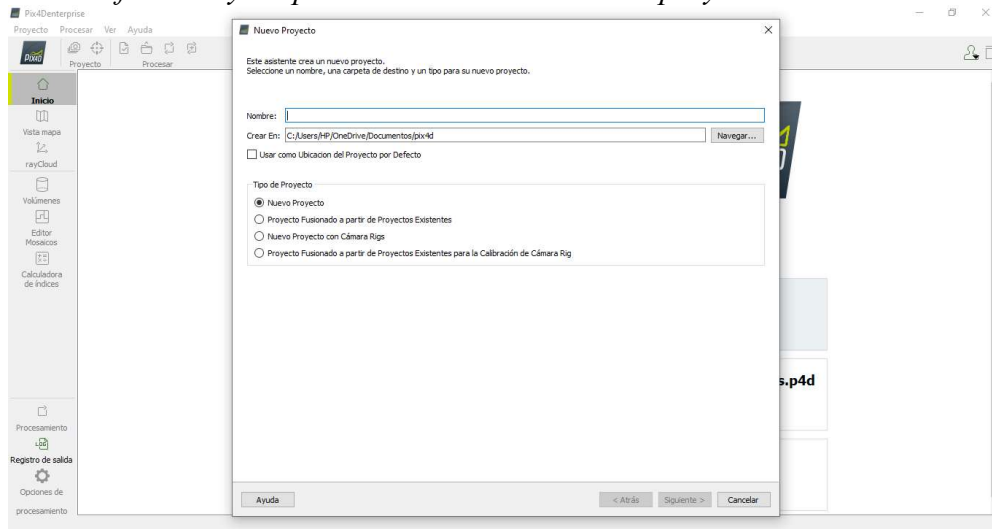
El paso siguiente fue eliminar de la carpeta de imágenes aquellas que por alguna circunstancia no pertenecen a la secuencia de la ruta. Para el procesamiento de las imágenes se usó el software Pix4D mapper.

La pantalla de inicio del programa presenta varias opciones entre ellas la de escoger un nuevo proyecto > clic en nuevo proyecto.

Figura 4. Pantalla de inicio Pix4D mapper



Acto seguido, el programa nos da la opción de dar nombre al nuevo proyecto y de seleccionar la ubicación de la carpeta en donde se guardarán los archivos producto del procesamiento que se realice.

Figura 5. *Identificación y carpeta de ubicación del nuevo proyecto*

Luego pasamos a cargar las imágenes que fueron capturadas con el dron > clic en añadir imágenes. Buscamos la carpeta en donde se encuentra las imágenes y las seleccionamos > clic en abrir. A continuación, nuestras imágenes estarán cargadas > clic en siguiente

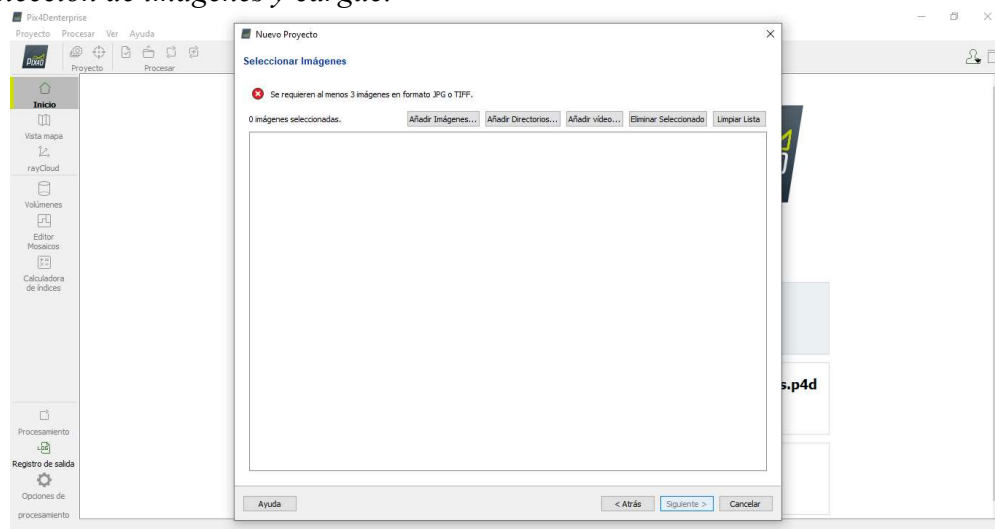
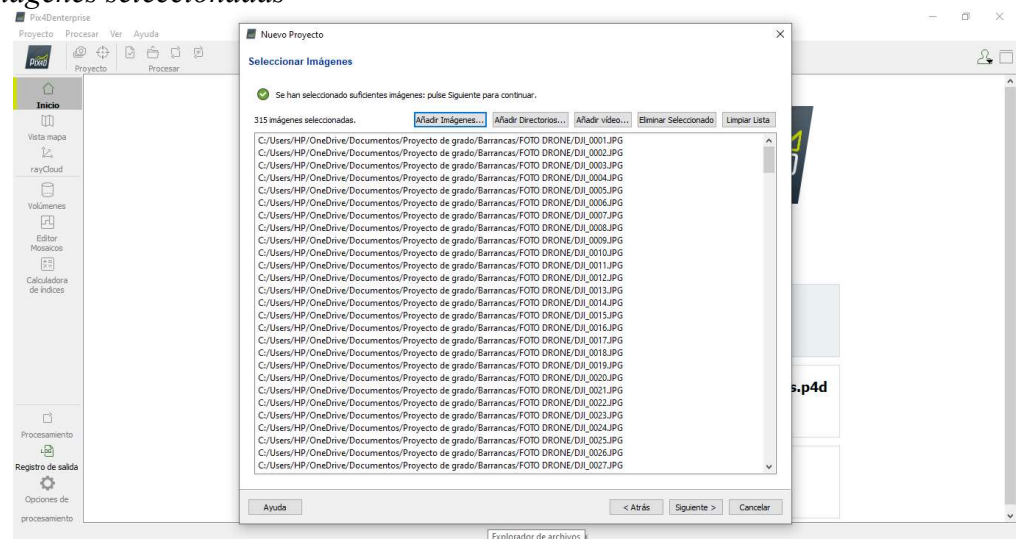
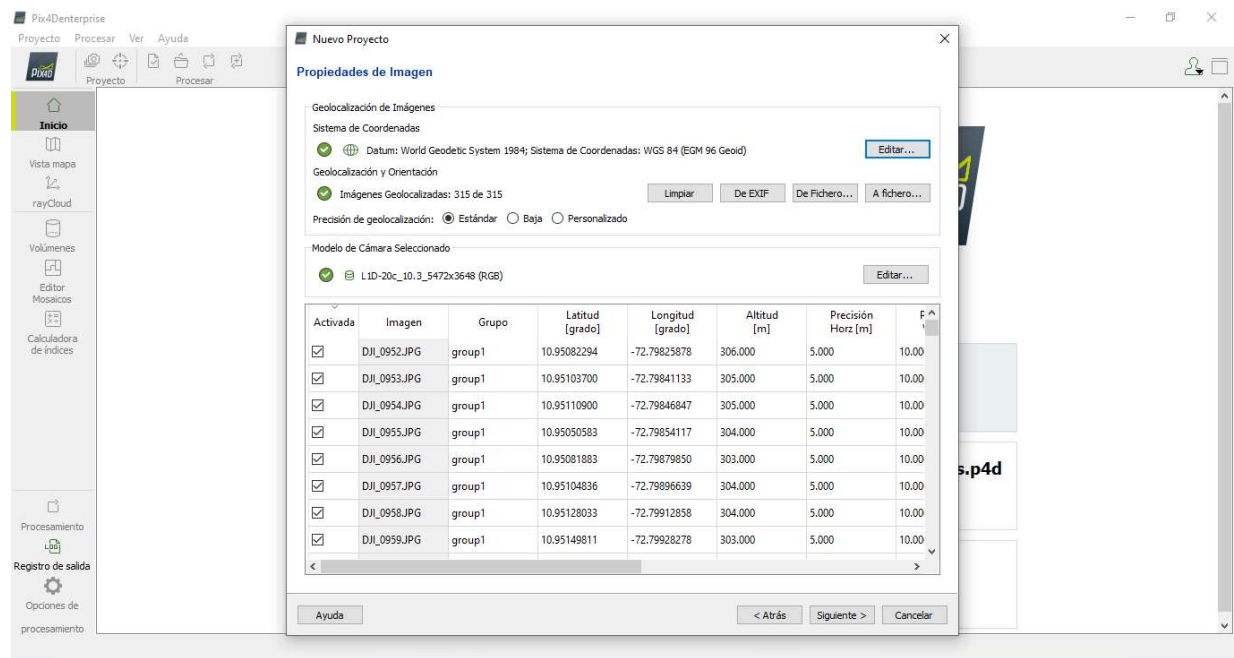
Figura 6. *Selección de imágenes y carga.*

Figura 7. Imágenes seleccionadas



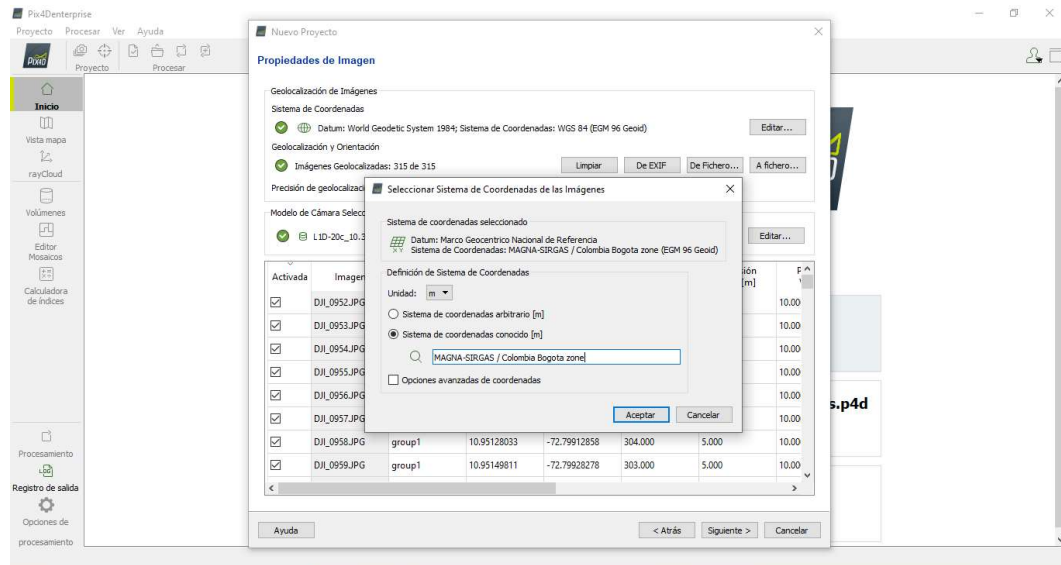
A continuación, el programa nos permite editar el sistema de coordenadas, la precisión de la geolocalización y el modelo de la cámara que se usó para la captura de las imágenes.

Figura 8. Propiedades de Imagen

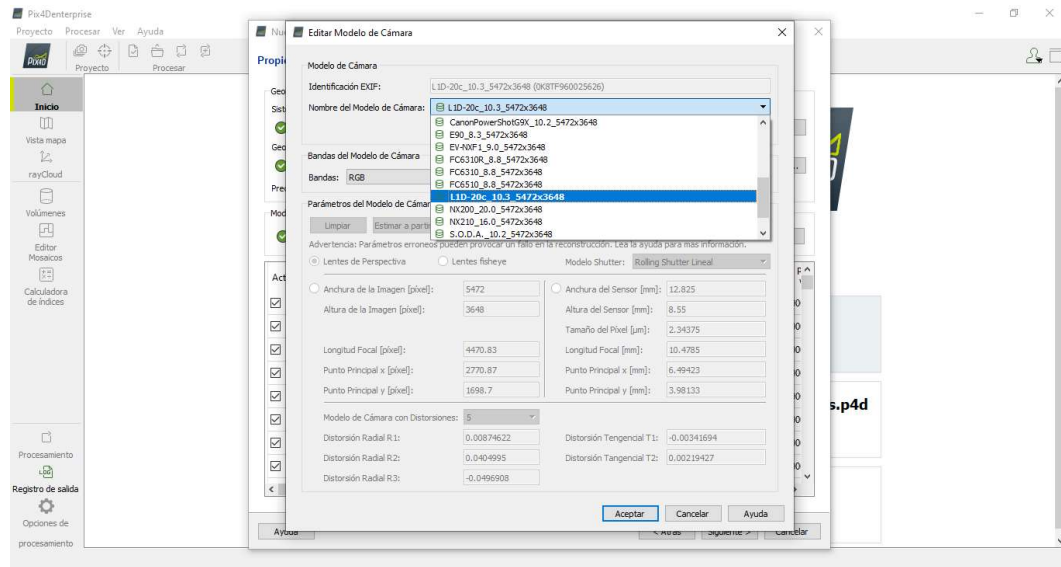


Para editar el sistema de coordenadas, basta con dar clic en editar, se nos muestra un nuevo cuadro de dialogo > clic en sistema de coordenadas conocido y seleccionamos MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogota zone > aceptar.

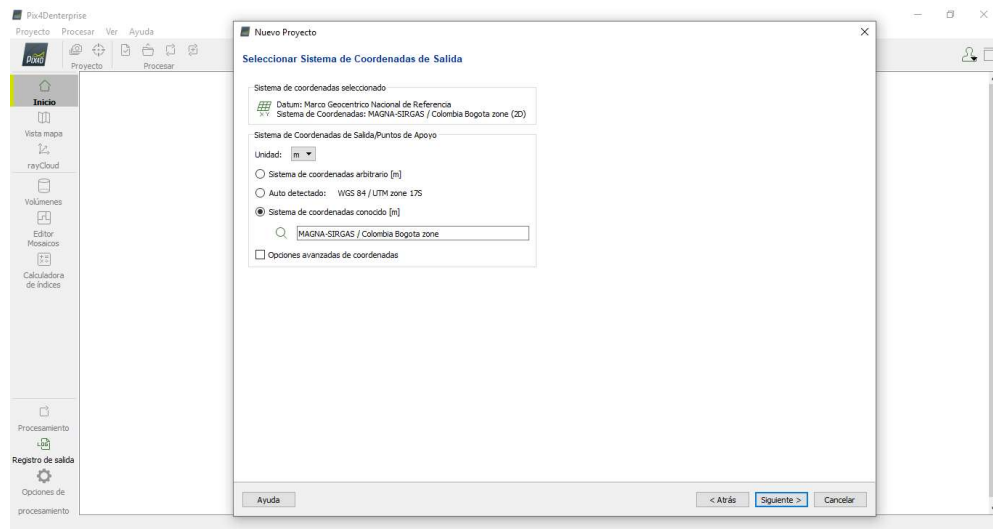
Figura 9. Edición de coordenadas



Para editar el modelo de la cámara, damos clic en editar, se nos muestra un cuadro de dialogo en dónde el programa automáticamente detecta el modelo de la cámara usada en negrilla > clic en el modelo del cámara resaltado por el programa > aceptar.

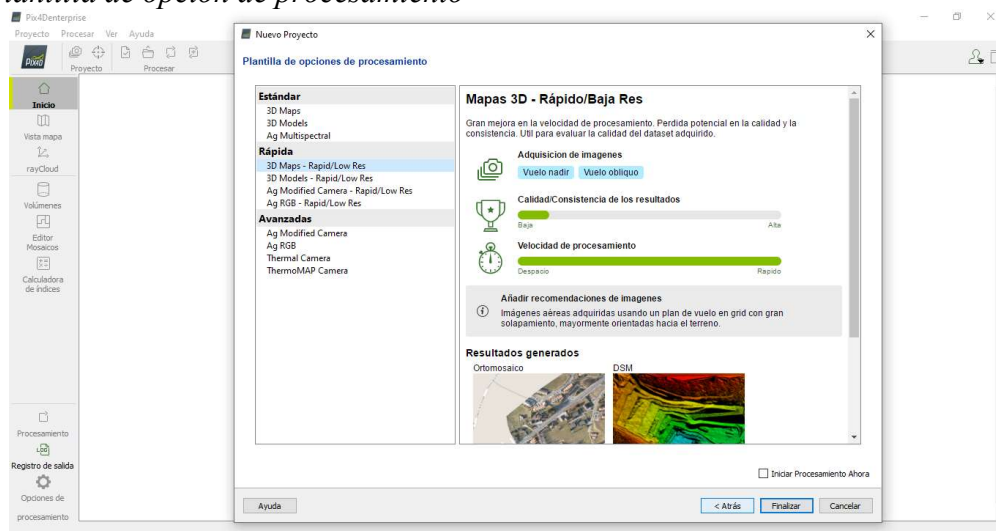
Figura 10. Edición del modelo de la cámara

Una vez editadas las propiedades, damos clic en siguiente para continuar. El nuevo cuadro de dialogo que se nos presenta es el del sistema de coordenadas de salida, por si deseamos cambiar el sistema de coordenadas inicial. Para el caso que nos ocupa dejaremos el mismo sistema de coordenadas inicial que es MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogota zone > siguiente.

Figura 11. Selección del sistema de coordenadas de salida

A continuación, el programa nos permite escoger la plantilla de opción de procesamiento. En este proyecto escogeremos la opción **Rápida 3D Maps – Rapid/low res**, esto nos da como resultados un ortomosaico, modelo digital de superficie, nube de puntos y una malla en 3D. Verificamos que la casilla que se encuentra en la parte inferior derecha no se encuentre escogida. Con ello más adelante se puede dar características a cada uno de los procesamientos.

Figura 12. *Plantilla de opción de procesamiento*



Con lo anterior damos clic en finalizar y estamos listos para iniciar el procesamiento.

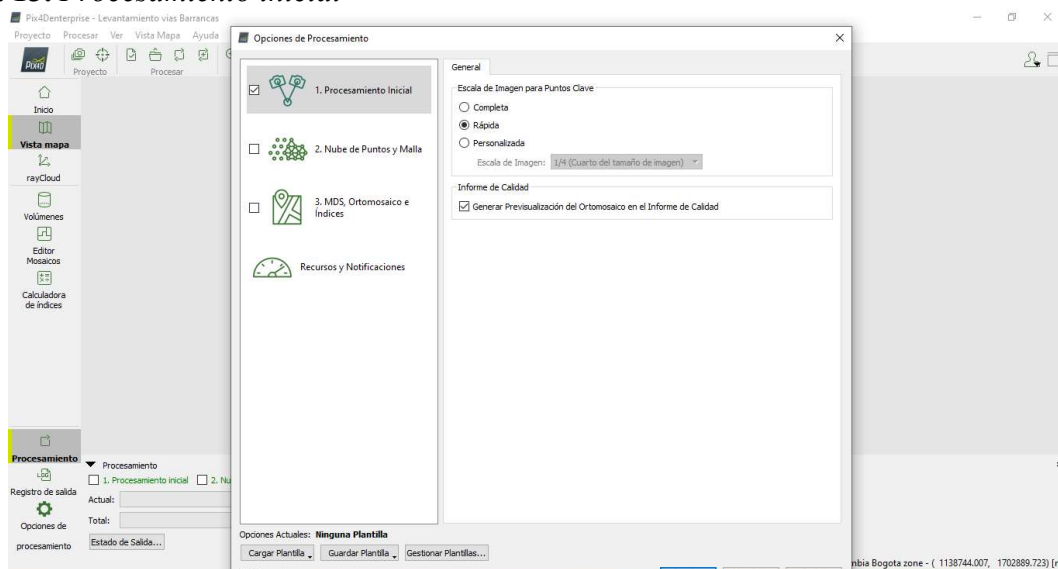
4.4 Procesamiento de imágenes

Teniendo en cuenta la plantilla escogida para el procesamiento de las imágenes que fue Rapid Low/res, el programa nos permite tres opciones de procesamiento: la primera es el procesamiento inicial, el segundo es la nube de puntos y malla y el tercero es el modelo digital de superficie, ortomosaico e índices. Cada uno de los procesamientos nos arroja los productos que se mencionan. Ellos y principalmente el ortomosaico es el archivo que se requiere procesar analizar en en Argisc y Global mapper los resultados finales del levantamiento.

4.4.1 *Procesamiento inicial*

La figura 13 muestra el cuadro de dialogo que nos arroja el procesamiento inicial, en el costado derecha se muestra una pestaña llamada **general**. En la escala de imagen para puntos clave se escoge Rápida y posteriormente se da clic en la casilla para seleccionar la generación de la previsualización del ortomosaico en el informe de calidad.

Figura 13. *Procesamiento inicial*



Escogidos los parámetros del procesamiento inicial se da clic en aceptar > clic en iniciar.

4.4.2 *Puntos de control*

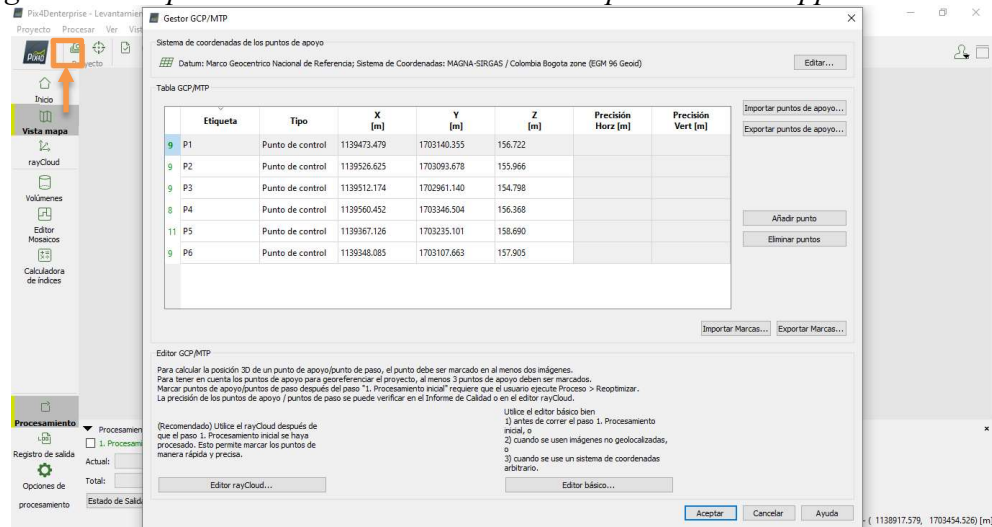
A fin de garantizar la precisión en la información, se ubicaron puntos de control utilizando para ello un GPS. Una vez se realizó el procesamiento inicial se procedió a ingresar los puntos de control en el programa Pix4D mapper. En campo se tomaron 6 puntos de control los cuales fueron demarcados con pintura en el centro de los manholes que se encuentran ubicados en la imagen que a continuación se muestra.

Figura 14. *Ubicación de puntos de control*

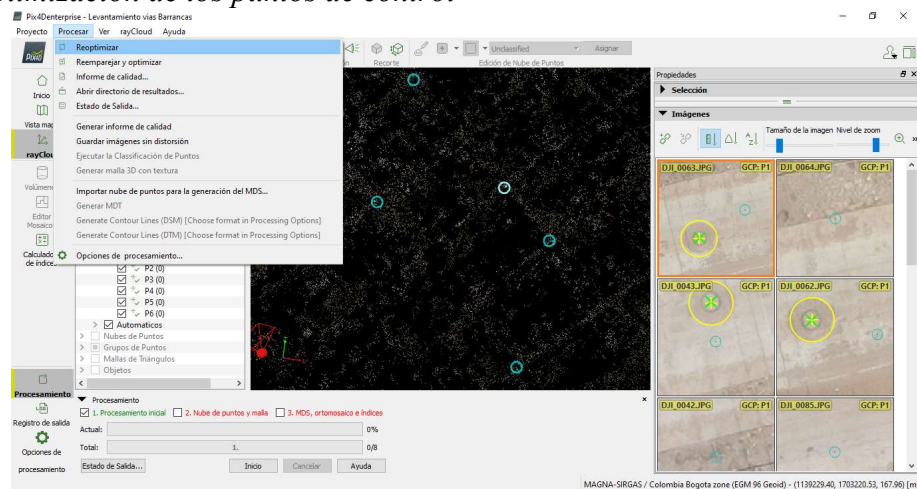


Fuente: adaptado de Google earth

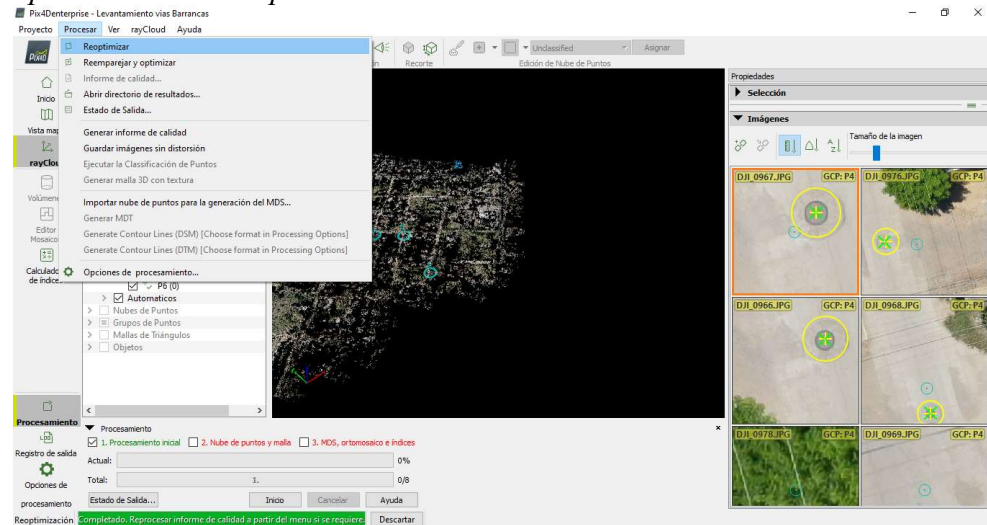
Para ingresar los puntos de control en el programa, basta con dar clic en el ícono Gestor GCP/MTP > añadir punto > Ingresar punto por punto las coordenadas tomadas con el GPS. Una vez se ingresen todos los puntos de control se da clic en el botón de aceptar.

Figura 15. *Ingreso de los puntos de control tomados en campo a Pix4D mapper*

En el costado derecho de la pantalla principal se despliega una serie de imágenes en donde se busca emparejar de cada uno de los puntos de control. El objetivo es emparejar cada uno de los puntos de control en el punto donde fueron ubicados en el sitio.

Figura 16. *Reoptimización de los puntos de control*

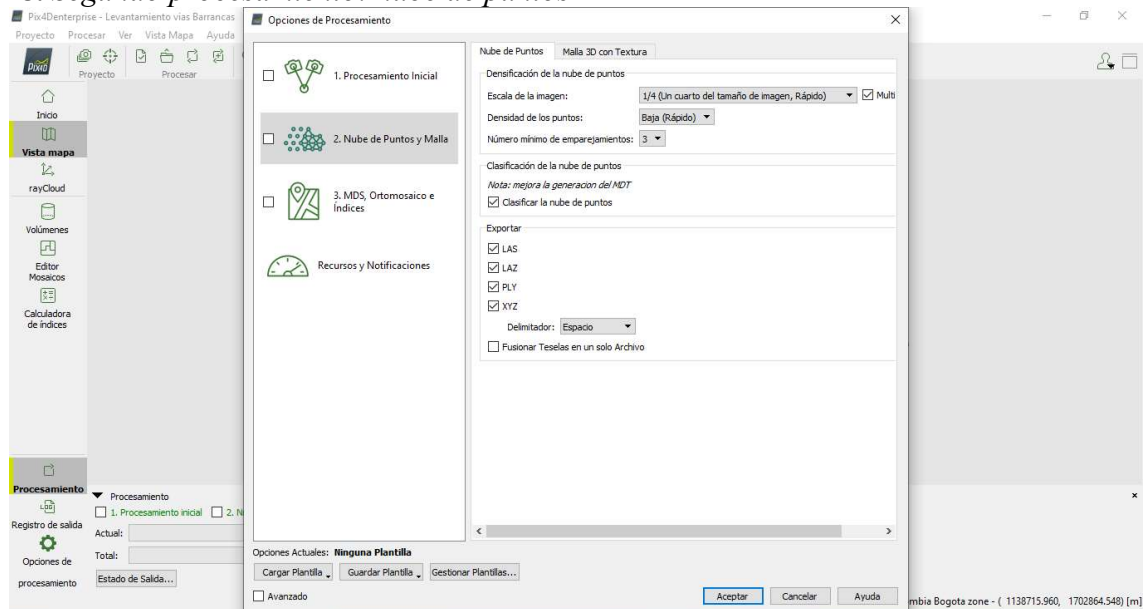
Una vez se realice el emparejamiento en cada uno de los puntos de control, se da clic en procesar en la barra de título > Reoptimizar.

Figura 17. Reoptimización de los puntos de control

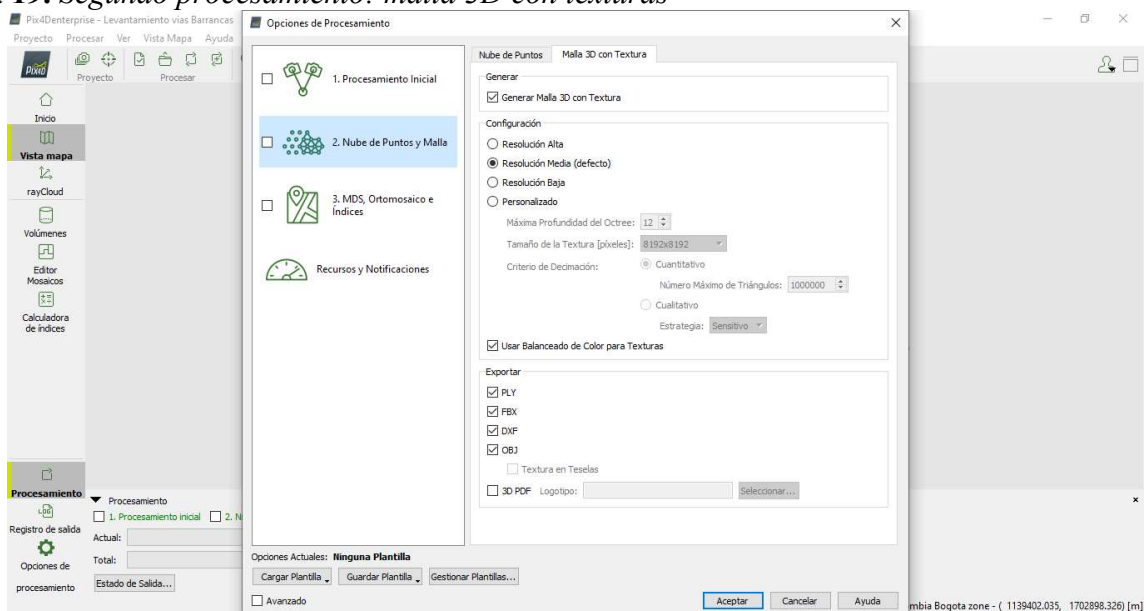
4.4.3 Segundo procesamiento: nube de puntos y malla

Para la realización de segundo procesamiento, que corresponde a la nube de puntos y malla se tienen dos pestañas para parametrizar, tal como se muestra en las figuras 14 y 15.

En la pestaña de nube de puntos, se tiene en cuenta la densificación y clasificación de la misma, así como las extensiones en la que se desea que se genere el archivo luego del procesamiento. En la densificación se escoge: la escala de la imagen, la densidad de los puntos y el número mínimo de emparejamientos.

Figura 18. Segundo procesamiento: nube de puntos

En la pestaña de malla 3D con texturas se tienen opciones para la generación de la malla 3D con texturas, la configuración y las extensiones en la cuales se desea que se genere el archivo luego del procesamiento.

Figura 19. Segundo procesamiento: malla 3D con texturas

Para la realización del presente levantamiento se escogió las siguientes:

1. Nube de puntos

- Densificación de la nube de puntos:

Escala de la imagen: $\frac{1}{4}$ (Un cuarto del tamaño de la imagen, rápido)

Densidad de los puntos: Baja (rápido)

Número mínimo de emparejamientos: 3

- Clasificación de la nube de puntos:

Se da clic para clasificar la nube de puntos

- Exportar:

Clic en las casillas para exportar en formato LAS, LAZ, PLY y XYZ

2. Malla 3D con texturas

- Generar

Clic para seleccionar la casilla para generar la malla 3D con texturas

3. Configuración

- Clic en resolución media (defecto)
- Clic en la casilla para usar balanceado de color para texturas

4. Exportar

- Clic en las casillas para exportar en formato PLY, FBX, DXF y OBJ

Escogidos los parámetros del procesamiento inicial se da clic en aceptar > clic en iniciar.

4.4.4 Tercer procesamiento: MDS, ortomosaico e índices

Para el tercer procesamiento se tienen tres pestañas para caracterizar, la primera es el MDS y Ortomosaico que, a su vez, nos permite ajustar la resolución, los filtros, el Raster y el

Ortomosaico. En la segunda pestaña se dan opciones para la generación de resultados adicionales y la tercera pestaña es la de calculadora e índices.

Figura 20. Tercer procesamiento: MDS y Ortomosaico

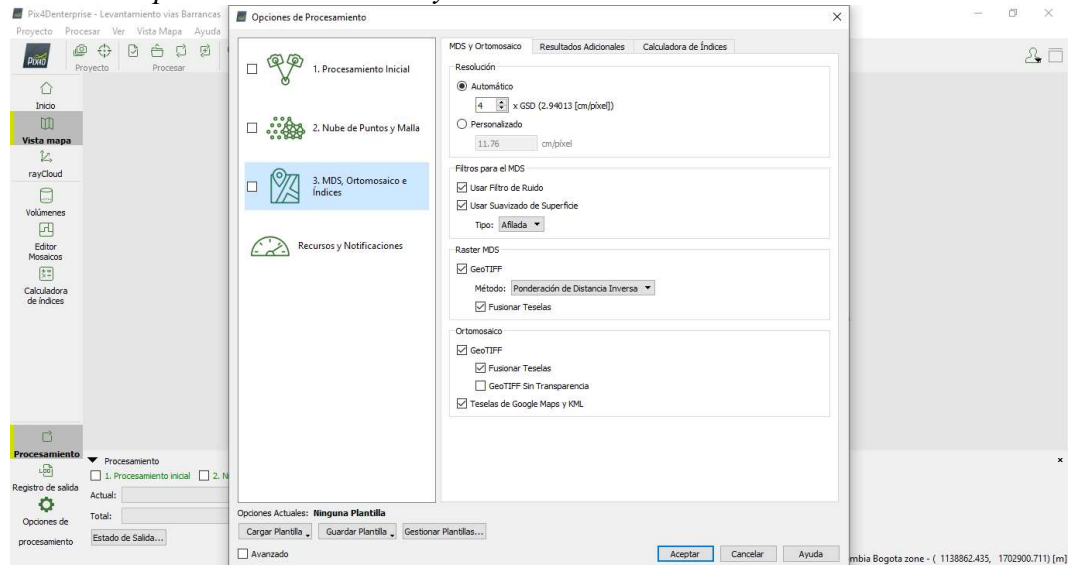


Figura 21. Tercer procesamiento: Resultados adicionales

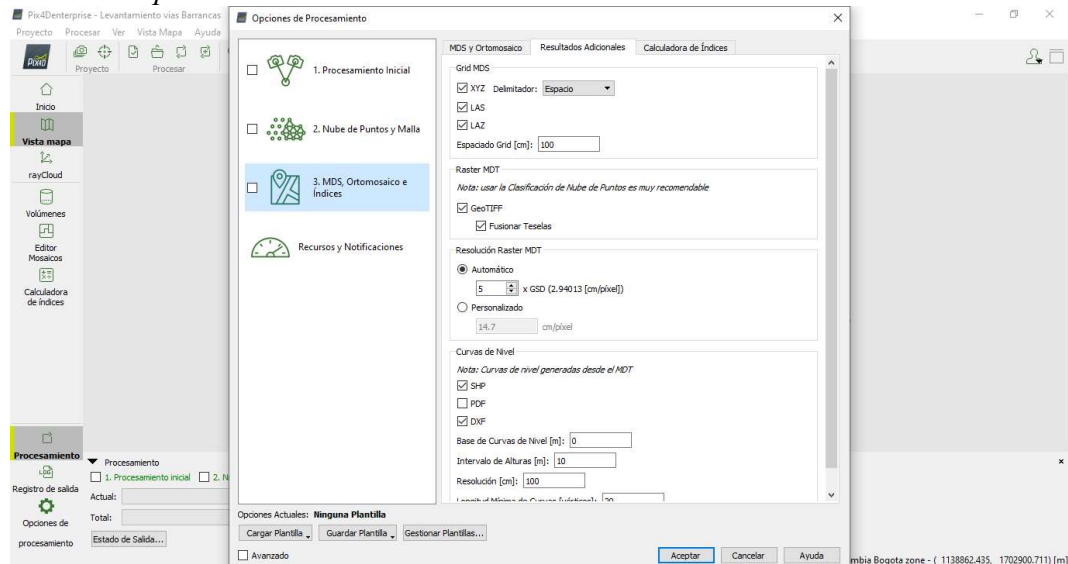
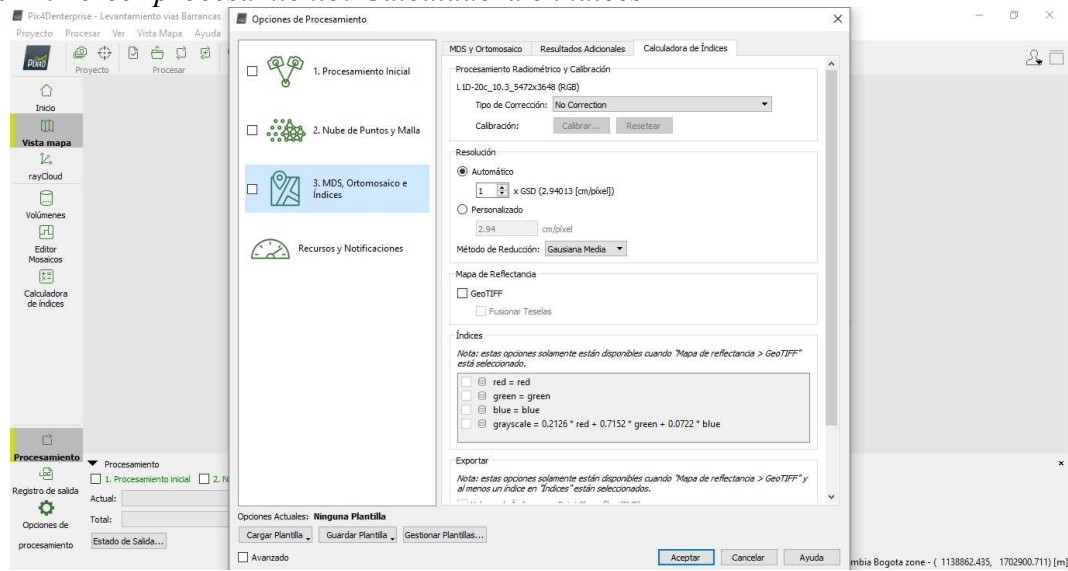


Figura 22. Tercer procesamiento: Calculadora e índices

Para la realización del presente levantamiento se escogió las siguientes configuraciones y comandos del software pix4d mapper:

1. MDS y Ortomosaico

- Resolución

Clic en automático 4 x GSD (2.94013 (cm/píxel))

- Filtros para el MDS

Clic en la casilla para usar filtro de ruido

Clic en la casilla para usar suavizado de superficie

Clic para seleccionar afilada

- Raster MDS

Clic en la casilla para seleccionar GeoTIFF

Clic en la casilla para fusionar teselas

- Ortomosaico

Clic en la casilla para seleccionar GeoTIFF

Clic en la casilla para fusionar teselas

Clic en la casilla para teselas de googles maps y KML

2. Resultados adicionales

- Grid MDS

Clic en las casillas XYZ, LAS y LAZ

Clic en Delimitador: tabulador

Espaciado Grid de 100 cm.

- Raster MDT

Clic para GeoTIFF

Clic para usar teselas

3. Resolución Raster MDT

Clic en automático 5 x GSD

4. Curvas de nivel

Clic en SHP DXF

Base de curvas de nivel 0 m

Intervalo de alturas 10 m

Resolución mínima de curvas 20 m

5. Calculadora e índices

- Procesamiento radiométrico y calibración

Tipo de corrección: No correction

- Resolución

Automático 1 x GSD

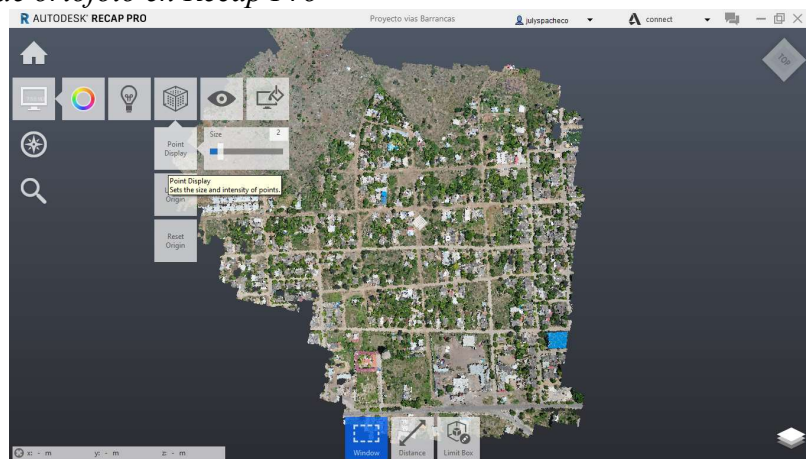
Escogidos los parámetros del procesamiento inicial se da clic en aceptar > clic en iniciar.

4.5 Edición de ortofoto en Recap Pro

Una vez realizado el procesamiento en Pix4D mapper, se procede a dar mejores características que nos permitan identificar de mejor forma lo que se quiere fotointerpretar. Para ello, se realiza un paso rápido por el programa de autodesk Recap Pro en el cual utilizando el archivo ubicado la carpeta 2_densification > point cloud > se ubica el archivo de extensión LAS.

Para este proyecto se iluminaron los contornos y se densificó la nube de puntos. Lo anterior permitirá en el paso siguiente visualizar y fotointerpretar mejor la ortofoto generada en pix4D mapper.

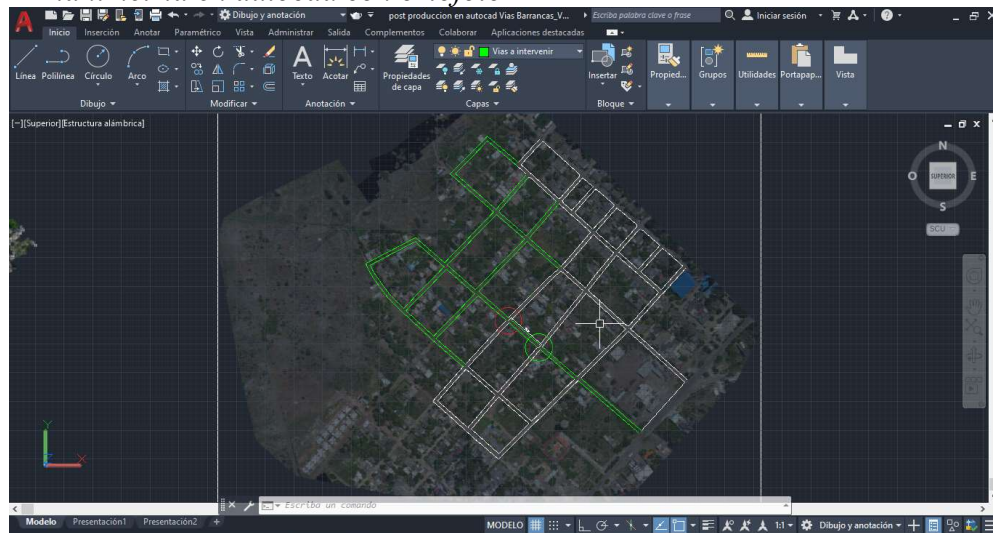
Figura 23. Edición de ortofoto en Recap Pro



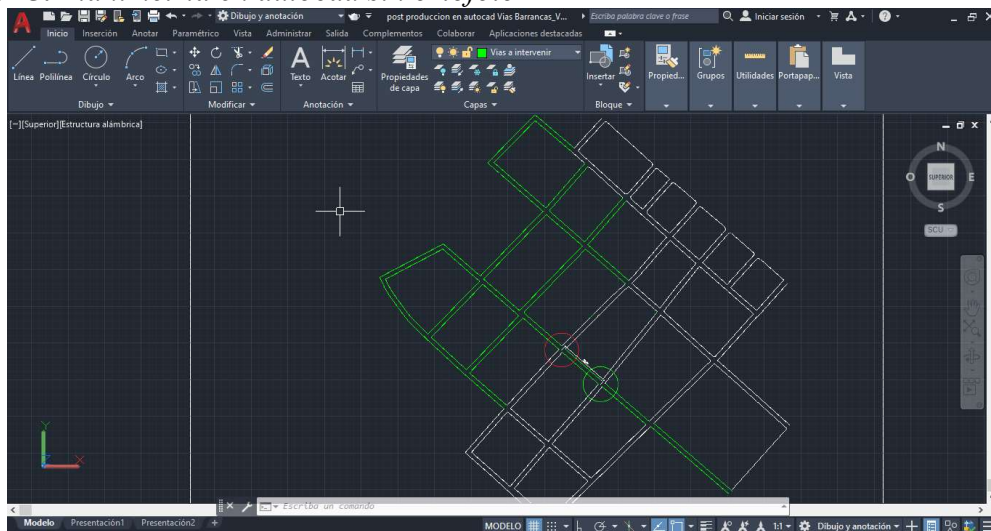
Fuente: propia

4.6 Planimetría en autocad

Se realizó la planimetría en el software Autocad para lo cual se enlazó la ortofoto editada en Recap Pro, luego se ubicaron dos puntos de control para georeferenciarla. Posteriormente se realizó la fotointerpretación para realizar la planimetría, tal como se muestra en la figura 24.

Figura 24. *Planimetría en autocad con ortofoto*

La figura 24 nos muestra líneas blancas y verdes que representan la vías pavimentadas y por intervenir respectivamente sobre la ortofoto.

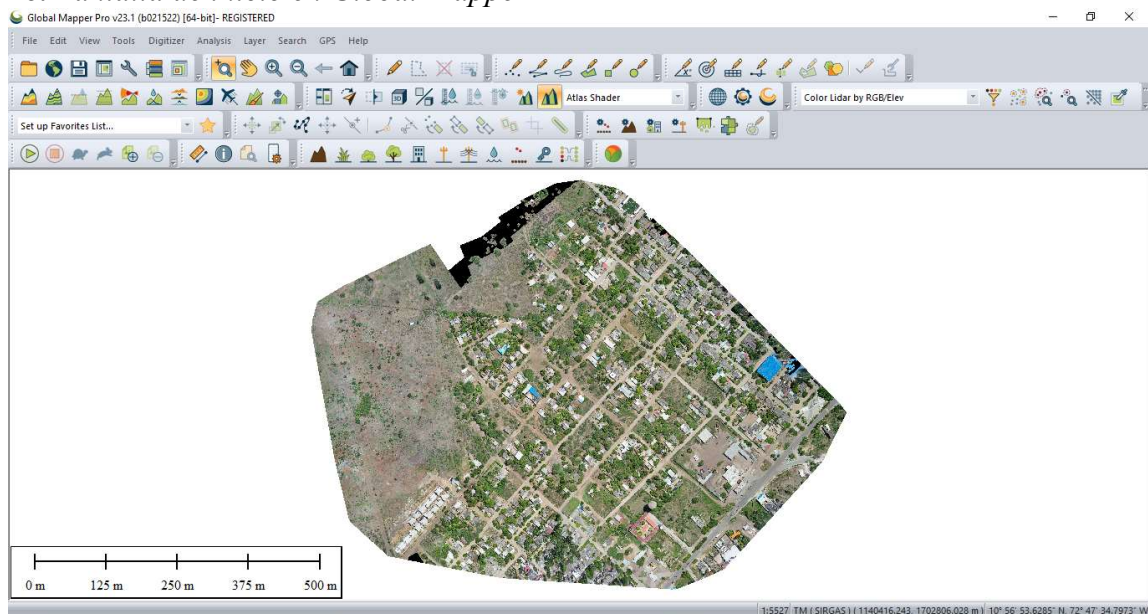
Figura 25. *Planimetría en autocad sin ortofoto*

La figura 25, demuestra como a partir de la toma de imágenes mediante un sobrevuelo con un vehículo aéreo no tripulado, se puede llegar a obtener un plano georeferenciado, con longitudes exactas y con los mismos resultados que con un trabajo realizado con equipos de topografía.

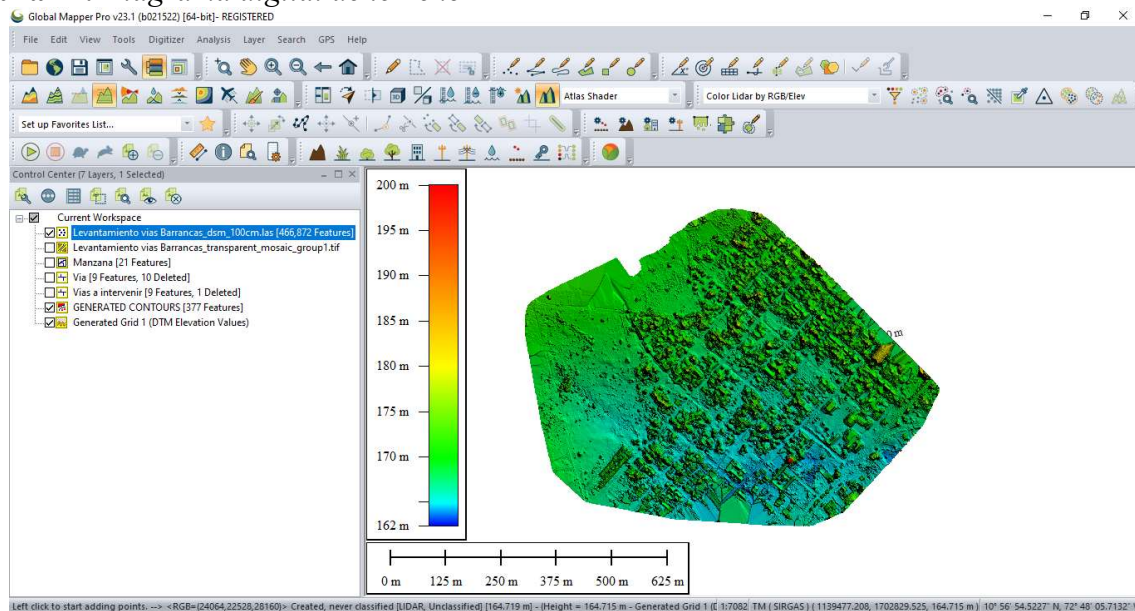
4.7 Fotointerpretación en Global Mapper

Al ingresar al programa Global Mapper en donde se realizó la fotointerpretación, la figura 26 nos muestra la pantalla de inicio una vez se carga el ortomosaico generado por pix4D Mapper y editado para mejorar fotointerpretación en Recap Pro.

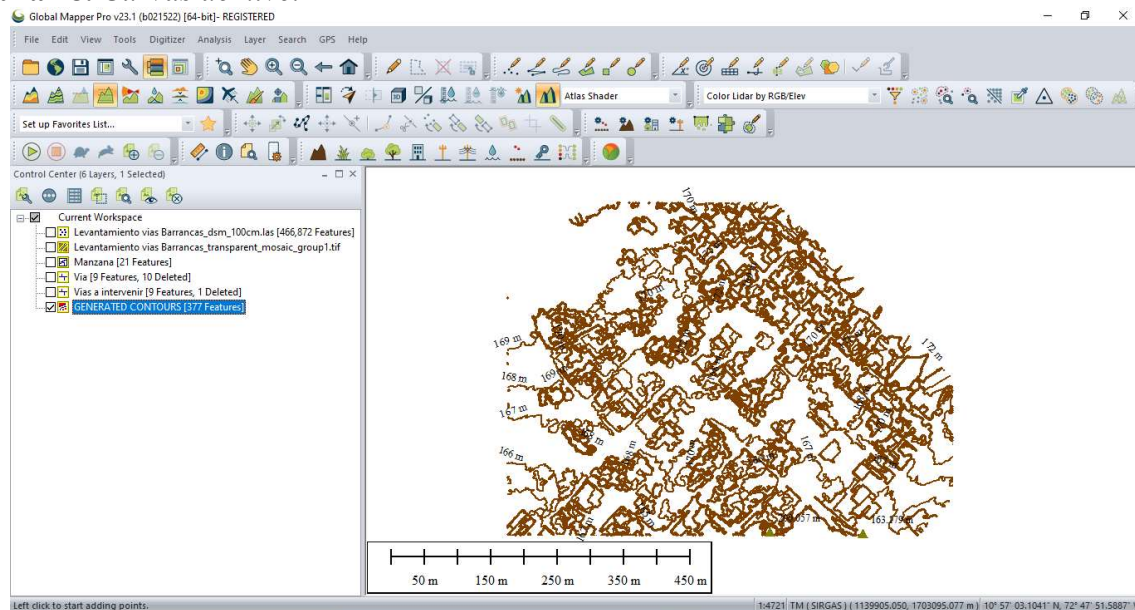
Figura 26. *Pantalla de inicio en Global Mapper*



Una vez cargada la ortofoto y la nube de puntos, se inicia la fotointerpretación con la generación del diagrama digital de terreno – DTM - a fin de conocer mediante éste las elevaciones del lugar de estudio, tal como se muestra en la figura 27.

Figura 27. *Diagrama digital de terreno - DTM.*

La figura anterior nos muestra en la parte central las elevaciones las bajas y sobre la parte superior la elevación más alta que van desde los 162m hasta los 172 m aproximadamente, tal como se evidencia en la figura 28 Curvas de nivel.

Figura 28. *Curvas de nivel*

Una vez identificadas las elevaciones del área en estudio, identificamos las áreas que se encuentran intervenidas con construcciones, las vías que ya se encuentran pavimentadas y las vías que en encuentran por intervenir, tal como se muestra en la figura 29, 30 y 31 respectivamente y el conjunto en la figura 32.

Figura 29. *Áreas construidas*

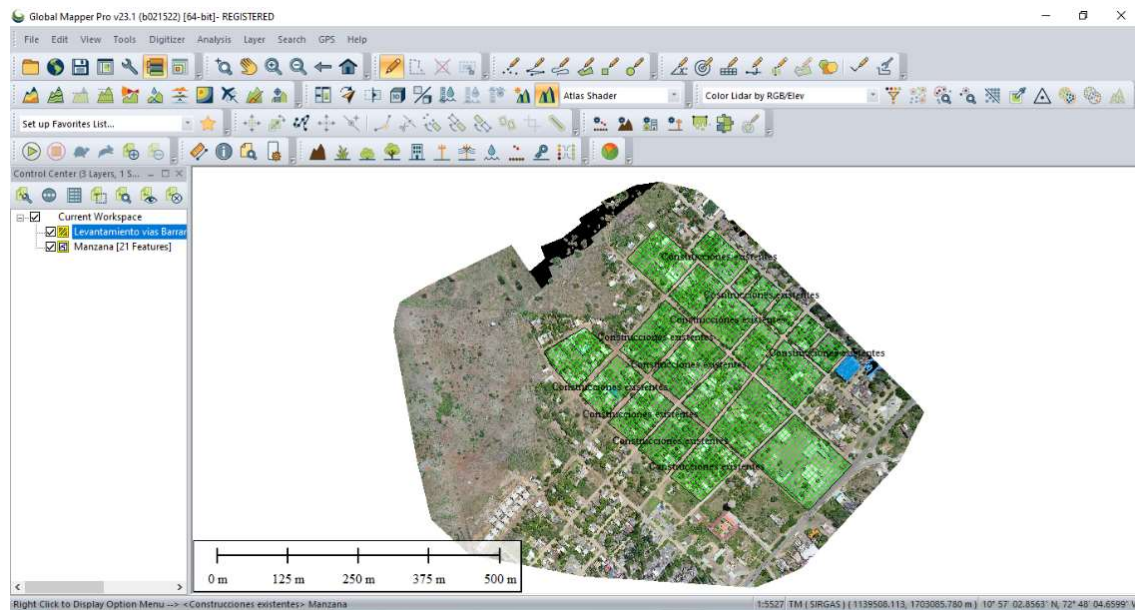


Figura 30. *Vías Pavimentadas*

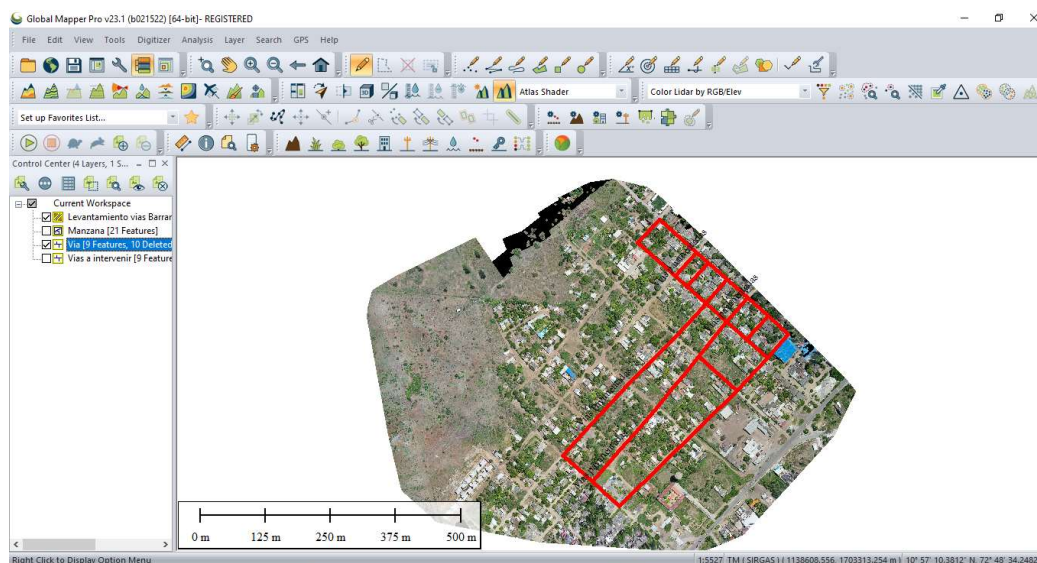
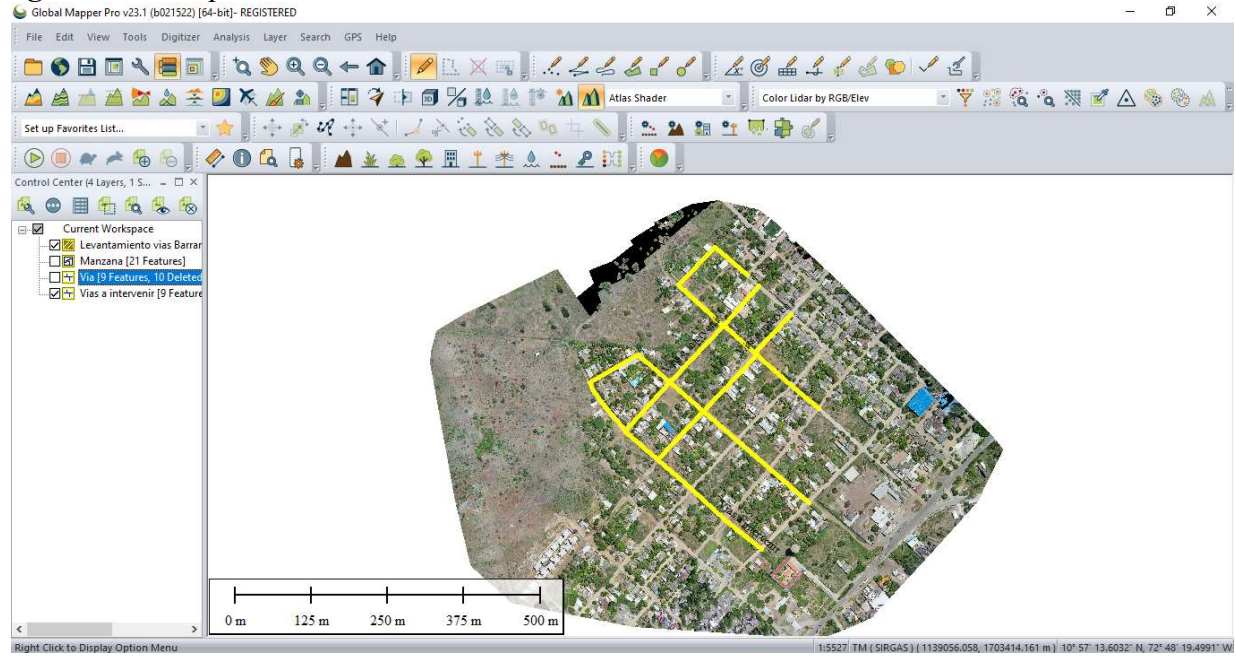
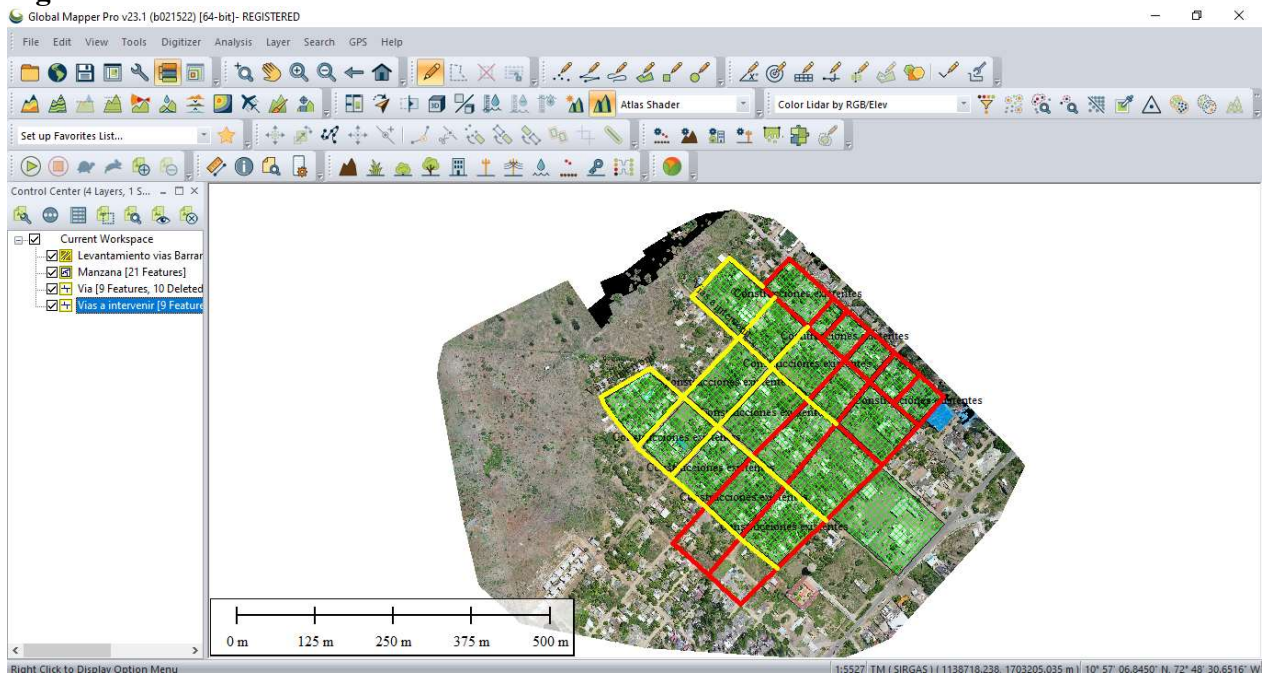
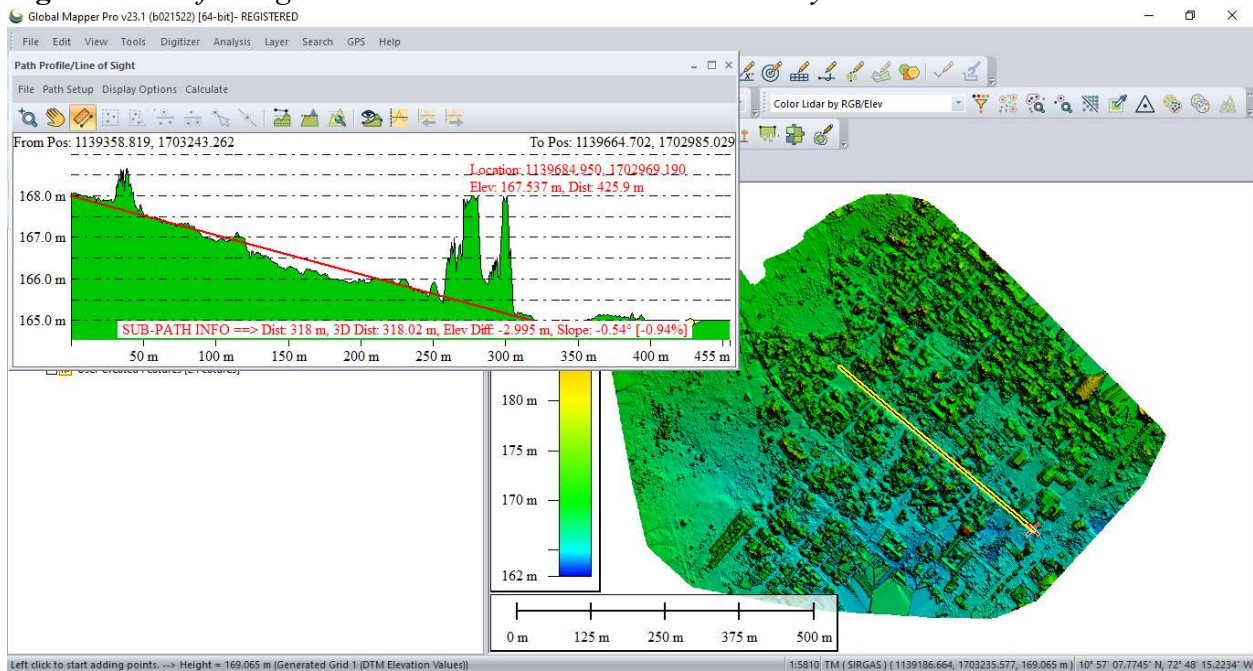


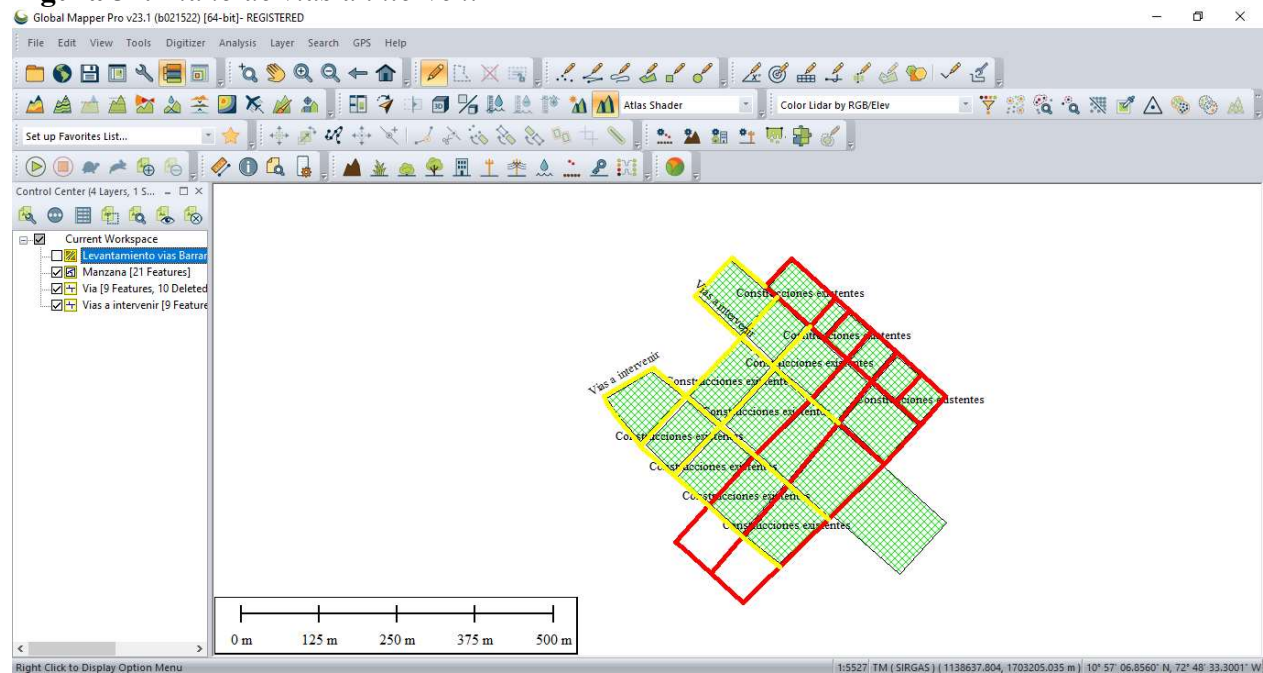
Figura 31. *Vias por intervenir***Figura 32.** *Visualizacion consolidada de la zona*

El programa también nos permite crear perfiles transversales y longitudinales. Para el caso que nos ocupa generamos un perfil de la calle 17 entre carreras 16 y 17 en la cual se determina la pendiente de la misma, tal como se muestra en la figura 33. Perfil de una vía pavimentada.

Figura 33. Perfil longitudinal de la calle 17 entre carreras 16 y 17



El programa también nos permite generar los volúmenes de corte y relleno, no obstante, en el presente estudio no es objeto de investigación.

Figura 34. *Plano de vías a intervenir*

4.8 Longitudes de vías existentes

Durante la realización del sobrevuelo, se tomó en campo las longitudes de cuatro tramos de vía pavimentadas, esto con el objetivo de compararlas con las obtenidas luego de la fotointerpretación y determinar la precisión del levantamiento planimétrico realizado con el vehículo aéreo no tripulado. La tabla 2 nos muestra la variación resultante.

Tabla 2. *Longitudes de tramos de vía pavimentadas*

Tramo	Longitud de vía tomada en campo (ml)	Longitud de vía tomada de la fotointerpretación en autocad (ml)	Variación*
Carrera 16ª entre calles 15 y 16	94.10	94.05	0.05
Calle 16 entre Carreras 18 y 19	74.36	74.41	-0.05
Carrera 18 entre calles 16 y 17	68.48	68.52	-0.04
Calle 17 entre carreras 17 y 18	104.41	104.34	0.07
Total	341.35	341.32	0.03

Nota: *Variación con respecto a la Longitud de la vía tomada en campo.

5 Conclusiones

El levantamiento topográfico para la construcción de vías urbanas en el municipio de Barrancas – La Guajira, se desarrolló mediante sobrevuelo de un vehículo no tripulado obteniendo como resultado un registro fotográfico, el cual fue procesado mediante el software Pix4D Mapper para la obtención de una ortofoto que luego fue fotointerpretada en Global Mapper, obteniendo datos geoespaciales de gran precisión, detalle y contenido.

De acuerdo a la Tabla 2, concluimos que la precisión de la información presentada es del 99.99% con tan solo 3 cm de diferencia entre el total de las longitudes tomadas en campo y las obtenidas de la fotointerpretación en autocad.

Podríamos decir entonces, que las diferencias entre la realización del levantamiento realizado con equipos topográficos tradicionales y el vehículo aéreo no tripulado no es solo en la parte económica, sino también en tiempo ya que a partir de la toma de imágenes con un dron se pudo obtener como resultado en el caso que nos ocupa la realización de un levantamiento topográfico con una precisión del 99.99%, generar curvas de nivel, volúmenes de corte y relleno,

perfiles de las vías, generación de planos, todo a partir del procesamiento de datos en los programas Pix4D mapper y Global mapper.

Referencias

- Aerial Insights SL. (2019). Aerial Insights. Obtenido de Aerial Insights SL.: [http://www.aerial-insights.co/blog/topografía con drones: qué es y cómo realizarla/](http://www.aerial-insights.co/blog/topografía%20con%20drones:%20qué%20es%20y%20cómo%20realizarla/)
- Autodesk. (s. f.). Software de ReCap. Recuperado 2 de agosto de 2023, de <https://latinoamerica.autodesk.com/products/recap/overview>
- PwC (Febrero, 2019). *Soluciones basadas en drones para proyectos de infraestructura vial*.
- Solís, RG, (2004). *La supervisión de obra*. *Ingeniería*, 8 (1),55-60.
- Vega, R, (2021). *Regulación de drones en Colombia*. *APD Profesionales de drones*.
- World Economic Forum. (26 de Septiembre de 2017). *The Global Competitiveness Report 2017-2018*. Global Competitiveness Index 2017-2018 edition.
- Zamarripa, M. (2010). *Apuntes de topografía*. Obtenido de Facultad de estudios superiores Acatlan: <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASHa003.dir/doc.pdf>
- Zamudio, Z, (Agosto, 2015). *Curvas de nivel*. <https://www.geogebra.org/m/UXFPbzs8#:~:text=Curvas%20de%20Nivel%20Una%20curva,glaciares%20y%20las%20profundidades%20marinas.>