

# **Optimización de modelos digitales de terreno con dron para efectos de modelación hidráulica. Caso de estudio: Qda Olivares – Minitas (Sector Rural).**

**Daniel Eduardo Valencia Arbeláez**

Propuesta de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director:

Docente Msc. En ciencias de la Tierra Carlos Marcelo Jaramillo

Co Director:

Docente UNAL ing. Civil PhD Medio ambiente urbano, Freddy Leonardo Franco Idarraga

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2024

## Resumen

La problemática de la Quebrada Olivares y su entorno, ha sido enfoque de trabajos de investigación que han llevado a la acertada interpretación de su comportamiento hídrico e hidráulico, sin embargo, la generación de modelos se ejecutó a partir de Modelos Digitales de Terreno (MDT) y Modelos Digitales de Elevación (MDE) a escalas no muy detalladas, lo cual de una u otra forma genera incertidumbres relativamente altas con respecto a la realidad de la dinámica fluvial. La implementación de aeronaves RPAS para la generación de modelos digitales, ha sido una herramienta en la última década que se ha implementado en pro de la practicidad y economía de trabajos urbanísticos y ambientales con resultados muy satisfactorios, sin hacer de lado metodologías convencionales tales como topografía y zonificación a partir de reconocimientos de campo. Así mismo, el uso de herramientas SIG es fundamental para el procesamiento y la generación de modelos digitales; se implementará software libre y comercial para analizar y procesar información que conlleve al desarrollo de un modelo digital de terreno a partir de fotogrametría, implementando metodologías de campo y digitales.

**Palabras clave: Hídrico – Hidráulico – Modelos Digitales de Terreno – Modelos Digitales de Elevación – RPAS – SIG – Software**

# Abstract

The problem of the Olivares creek and its surroundings has been the focus of research work that has led to the correct interpretation of its hydric and hydraulic behavior, however, the generation of models was executed from Digital Terrain Models (DTM) and Digital Elevation Models (DEM) at not very detailed scales, which in one way or another generate relatively high uncertainties with respect to the reality of fluvial dynamics.

The implementation of RPAS aircraft for the generation of digital models has been a tool in the last decade that has been implemented in favor of the practicality and economy of urban and environmental works with very satisfactory results, without neglecting conventional methodologies such as topography. and zoning based on field surveys. Likewise, the use of GIS tools is essential for the processing and generation of digital models; Free and commercial software will be implemented to analyze and process information that leads to the development of a digital terrain model based on photogrammetry, implementing field and digital methodologies.

**Keywords: Hydric – Hydraulic – Digital Terrain Models – Digital Elevation Models – RPAS – GIS – Software.**

# Contenido

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCION, JUSTIFICACION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>8</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.3. FORMULACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO .....	10
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
<b>3. CONCEPTOS GENERALES Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO .....</b>	<b>13</b>
3.1. CONCEPTOS GENERALES.....	13
3.2. ANTECEDENTES .....	20
<b>4. MARCO NORMATIVO Y LEGAL.....</b>	<b>26</b>
<b>5. TÓPICOS DEL MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>29</b>
<b>6. METODOLOGÍA .....</b>	<b>30</b>
6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO .....	30
6.2 TIPO DE ESTUDIO.....	31
6.3 PROCEDIMIENTO .....	32
<b>7. RESULTADOS ESPERADOS .....</b>	<b>47</b>
7.1. ORTOFOTOS Y MODELOS DIGITALES: .....	48
7.2. MDT PARA MODELACIÓN .....	54
7.3. MAPA RUGOSIDADES.....	55
7.4. MODELACIÓN HIDRÁULICA .....	56
7.5. GEODATABASE: .....	58
<b>8. IMPACTOS ESPERADOS.....</b>	<b>61</b>
<b>9. CONCLUSIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>10. REFERENCIAS .....</b>	<b>63</b>

# Lista de figuras

<i>Figura 1: Amenaza de inundación de la Quebrada Olivares – Minitas. Mancha de inundación para un Tr: 25 años sector de Aguas de Manizales.</i>	11
<i>Figura 2: Utilización de la diferencia de paralaje en restitución fotogramétrica.</i>	15
<i>Figura 3: MDT Chiapas – Mexico. Posprocesamiento MDE</i>	16
<i>Figura 4: Toma de datos LiDAR con aeronave tripulada</i>	17
<i>Figura 5: DRON Dji Mavic PRO</i>	18
<i>Figura 6: Nube de puntos Manizales – LiDAR</i>	18
<i>Figura 7: Representación ilustrativa de la altura elipsoidal</i>	19
<i>Figura 8: Representacion ilustrativa de la altura Geoidal</i>	20
<i>Figura 9: Representacion ilustrativa de la altura ortométrica</i>	20
<i>Figura 10: MDT de 9.5m x 9.5m.</i>	32
<i>Figura 11: Mapa alturas cuenca Olivares.</i>	33
<i>Figura 12: Barrios sobre area de estudio</i>	34
<i>Figura 13: Parametros de vuelo para sector E</i>	35
<i>Figura 14: Puntos de control definidos para el vuelo 1</i>	36
<i>Figura 15: Toma de puntos de control en campo</i>	37
<i>Figura 16: Obtención de altura geoidal para corrección ortometrica</i>	37
<i>Figura 17: Parametros de vuelo para sector centro</i>	38
<i>Figura 18: Puntos de control definidos para vuelo 2</i>	39
<i>Figura 19: Puntos de control en campo</i>	39
<i>Figura 20: Obtención de altura geoidal para corrección ortometrica</i>	40

<b>Figura 21:</b> <i>Parametros de vuelo para sector W.</i>	41
<b>Figura 22:</b> <i>Puntos de control definidos para vuelo 3</i>	41
<b>Figura 23:</b> <i>Puntos de control en campo</i>	42
<b>Figura 24:</b> <i>Obtención de altura geoidal para corrección ortométrica</i>	42
<b>Figura 25:</b> <i>Poligonos de entrenamiento para definir clases de rugosidades.</i>	45
<b>Figura 26:</b> <i>Clases numéricas e índices de Manning</i>	46
<b>Figura 27:</b> <i>Firmas Espectrales generadas</i>	46
<b>Figura 28:</b> <i>Distribución de firmas RGB y clasificación de máxima verosimilitud con filtro mayoritario</i>	47
<b>Figura 29:</b> <i>Ortofoto generada y error cuadrático</i>	48
<b>Figura 30:</b> <i>DTM generado y ajustado</i>	49
<b>Figura 31:</b> <i>Error Topográfico con puntos de control en campo</i>	50
<b>Figura 32:</b> <i>Ortofoto generada y error cuadrático.</i>	51
<b>Figura 33:</b> <i>DTM generado y ajustado.</i>	51
<b>Figura 34:</b> <i>Error Topográfico con puntos de control en campo.</i>	52
<b>Figura 35:</b> <i>Ortofoto generada y error cuadrático.</i>	53
<b>Figura 36:</b> <i>DTM generado y ajustado</i>	53
<b>Figura 37:</b> <i>Error Topográfico con puntos de control en campo.</i>	54
<b>Figura 38:</b> <i>MDT definitivo, 0.1Cm/Pxl</i>	54
<b>Figura 39:</b> <i>Rugosidades modelo hidrológico</i>	55
<b>Figura 40:</b> <i>Modelo de profundidad</i>	56
<b>Figura 41:</b> <i>Modelo de Caudales máximos y mínimos</i>	57
<b>Figura 42:</b> <i>Modelo de velocidades máximas y mínimas</i>	58

*Figura 43: Modelo de cota maxima de agua* \_\_\_\_\_ 58

*Figura 44: Base de datos espacial generada* \_\_\_\_\_ 59

## **Lista de tablas**

*Tabla 1. Relación de resultados esperados* \_\_\_\_\_ 59

*Tabla 2. Tipología de productos de investigación* \_\_\_\_\_ 60

*Tabla 3. Relación de Impactos Esperados* \_\_\_\_\_ 61

---

# INTRODUCCION, JUSTIFICACION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Introducción.

La generación de modelos de superficie ha sido una metodología sujeta a las nuevas tecnologías implementadas en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), entendiéndose como Modelo Digital de Superficie, la representación de todos los elementos existentes en la superficie de la tierra, tales como, arboles, vegetación, infraestructura y terreno como tal (Geografía, 2020) . A nivel mundial se han implementado para desarrollar modelos topográficos, hidráulicos, hidrológicos y hasta espaciales, con la finalidad de cuantificar de manera gráfica y estadística lo visualmente existente en el terreno. Colombia hoy en día busca incorporarse en el diseño de la elaboración de un nuevo MDE mundial, anunciado por el IGAC. En dos años aproximadamente, el país tendrá todo su territorio con mayor precisión cartográfica, lo que nos permitirá avanzar en programas de prevención de riesgos, planificación del territorio y delimitación de territorios. (Escalante Nieto, 2018)

El desarrollo de un modelo digital de terreno a detalle facilitará el análisis puntual de factores de riesgos de desastres y degradación ambiental, usos incompatibles del suelo, inundaciones e incorporación de estructuras que permitan mitigar el riesgo en los sectores poblados.

## 1.2. Justificación.

La generación y desarrollo de modelos digitales de elevación y superficie son un producto determinante para el procesamiento de datos enfocados hacia estudios específicos; su calidad depende de una metodología bien implementada en conjunto de equipos óptimos que arrojen resultados de calidad.

En la modelación hídrica e hidráulica, la precisión de los datos y detalle del modelo base de superficie o terreno son fundamentales, más específicamente en alturas, donde las corrientes presentan comportamientos directamente proporcionales con respecto a su volumen y profundidad. El ajuste topográfico y el detalle del terreno permiten reducir la incertidumbre de los datos arrojados al momento de modelar con respecto a la realidad, por eso, la generación de un modelo de superficie con la metodología correcta a un nivel de detalle alto, permitirá mostrar los alcances naturales de las redes hídricas del sector y sus características hidráulicas, enfocada puntualmente en su comportamiento para generar manchas de inundación en periodos de tiempo específico; pero estos trabajos siempre se han realizado sobre modelos de superficie y de terreno a escalas regionales o muy amplias (superiores a 1:6000), donde el detalle no es muy bueno, lo cual lleva a incrementar el porcentaje de error en los modelos ya generados. Esta propuesta de modelo, permitirá reducir dicho porcentaje al generar modelos nuevos, ya que su detalle permitirá acercarse más a la realidad, adicional a ello, es un modelo compatible con cualquier SIG, este podrá ser modificado para proyectar y prospectar obras de mitigación, precisión en manchas de inundación y mejoramiento en el plan de manejo para manezas. Cabe resaltar que es un producto que puede ser utilizado por cualquier entidad administrativa, educativa y gubernamental.

### **1.3. Formulación del caso de estudio**

La problemática de la quebrada ha sido abordada y documentada a partir de trabajos públicos y privados tales como el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos PSMV de la ciudad, el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca POMCA y el Plan de Ordenamiento Territorial POT, en donde se han expuesto modelos de proyección y tendencia de inundación que han funcionado (Fig. 1), sin embargo la idea de mejorar el modelo digital base para volver a ejecutar los modelos, llevaría a una mejor interpretación, un mejor análisis y una precisión en la información obtenida.

El caso de estudio (quebrada Olivares - Minitas) ha sido de interés investigativo en la UNAL, es de vital importancia saber que recuperar la Quebrada Olivares-Minitas implicará una estrategia integrada que necesitará varios años para ser completamente implementada; pero desde hace tiempo en la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales ha venido realizando estudios complementarios para contar con los insumos suficientes y lograr una interpretación hídrica e hidráulica con la mayor cercanía posible a la realidad.

La problemática rural – urbana para la quebrada Olivares – Minitas requiere de una estrategia integral para su interpretación, análisis y recuperación; debido a ello, la necesidad de crear insumos a detalle que conlleven a la obtención de resultados de calidad en términos realistas a partir de modelos desarrollados en plataformas SIG, se convierte en una herramienta de alto valor investigativo.



*Figura 1: Amenaza de inundación de la Quebrada Olivares – Minitas. Mancha de inundación para un Tr: 25 años sector de Aguas de Manizales.  
Fuente: IDEA, Corpocaldas, 2015.*

## Objetivos

## **2.1. Objetivo general**

Desarrollar un modelo digital de terreno con dron de la quebrada Olivares-Minitas (Manizales), optimizado para la modelación hidráulica de inundaciones en el sector rural, empleando plataformas SIG.

## **2.2. Objetivos específicos**

- Compilar y analizar MDT's anteriormente desarrollados en la quebrada Olivares-Minitas.
- Definir sectores, puntos de control, alturas y condiciones de los vuelos con dron para obtener fotografías aéreas, empleando sistemas de información geográfica.
- Construir una base de datos geográfica de la quebrada Olivares-Minitas con la información ortofotogramétrica procesada y georeferenciada.
- Generar el modelo digital del terreno de la quebrada Olivares-Minitas mejorado para modelación de inundaciones en su rural.

## 3. CONCEPTOS GENERALES Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO

### 3.1. CONCEPTOS GENERALES

- **MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN:** Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo, Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados. (Geografía, 2020); constituyen la base para un gran número de aplicaciones en ciencias de la tierra, ambientales e ingeniería.

Está definido por la ecuación  $Z = f(x, y)$  donde la variable Z se puede interpolar en función de X y Y, es decir, la ecuación representa numéricamente las características topográficas que definen el terreno en un sistema de proyección cartográfica.

La universidad de Murcia en su curso de Sistemas de Información Geográfica de la licenciatura de Ciencias ambientales, y teledetección en licenciatura en geografía, establecen unos parámetros considerables para la construcción de un MDE:

#### **Métodos directos mediante sensores remotos:**

- **Altimetría**, altímetros transportados por aviones o satélites que permiten determinar las diferencias de altitud entre la superficie terrestre y el vehículo que transporta el altímetro

(que se supone constante). El inconveniente es la baja resolución (celdillas muy grandes) de los datos y que se ve muy afectado por la rugosidad del terreno, por ello se limita al seguimiento de hielos polares.

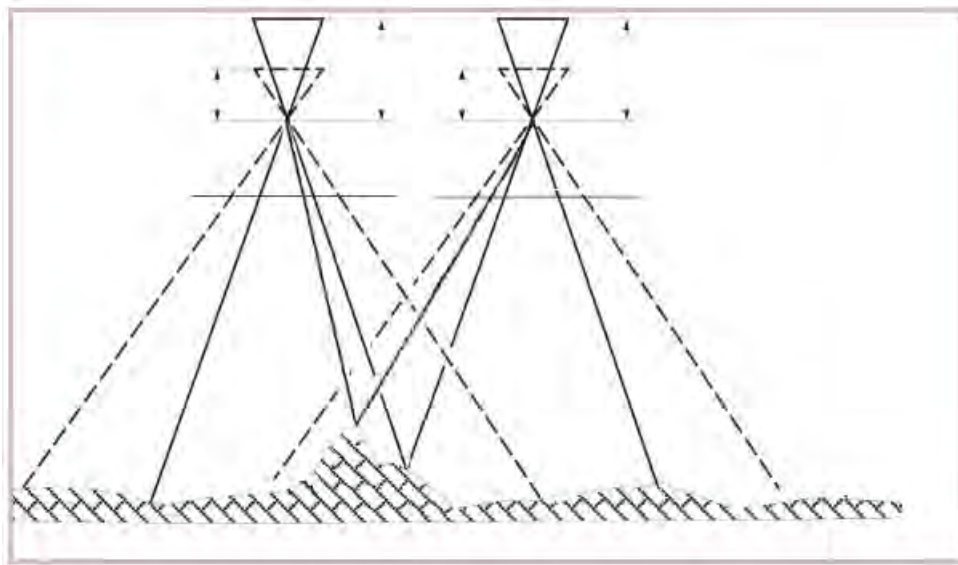
- **Radargrametría** o interferometría de imágenes radar. Un sensor radar emite un impulso electromagnético y lo recoge tras reflejarse en la superficie terrestre, conociendo el tiempo de retardo del pulso y su velocidad puede estimarse la distancia entre satélite y terreno. En 1999 la NASA inició el proyecto SRTM (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) para elaborar un mapa topográfico de toda la Tierra a partir de interferometría radar.

#### **Métodos directos sobre el terreno:**

- **Topografía convencional**, estaciones topográficas realizadas en el campo mediante dispositivos que permiten la grabación de datos puntuales que se interpolan posteriormente.
- **Sistemas de Posicionamiento GPS**, sistema global de localización mediante satélites, que permite estimaciones suficientemente precisas de latitud, longitud y altitud de un punto, posteriormente deben interpolarse los datos.

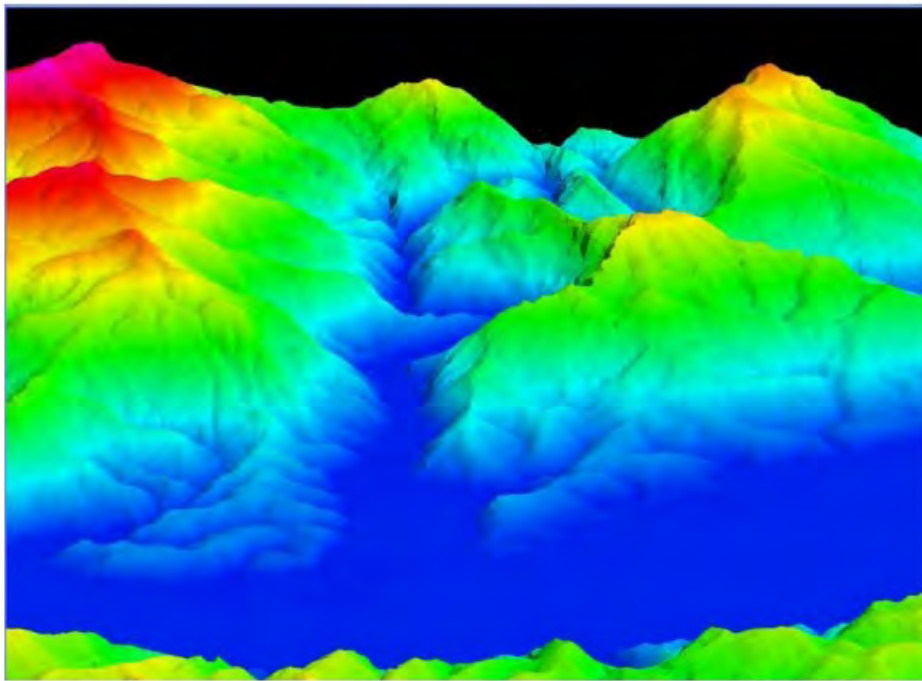
#### **Métodos indirectos:**

- **Restitución fotogramétrica** a partir de fuentes analógicas (fotografía aérea) o digitales (imágenes de satélite). El paralaje de un punto en una fotografía aérea o imagen de satélite es proporcional a la distancia del objeto respecto al fondo de la misma (Figura 2).
- **Digitalización** de curvas de nivel de un mapa mediante escáner o tablero digitalizador e interpolación de las mismas.



**Figura 2:** Utilización de la diferencia de paralaje en restitución fotogramétrica.  
**Fuente:** Curso SIG Lic. En ciencias ambientales y Geografía. Universidad de Murcia.

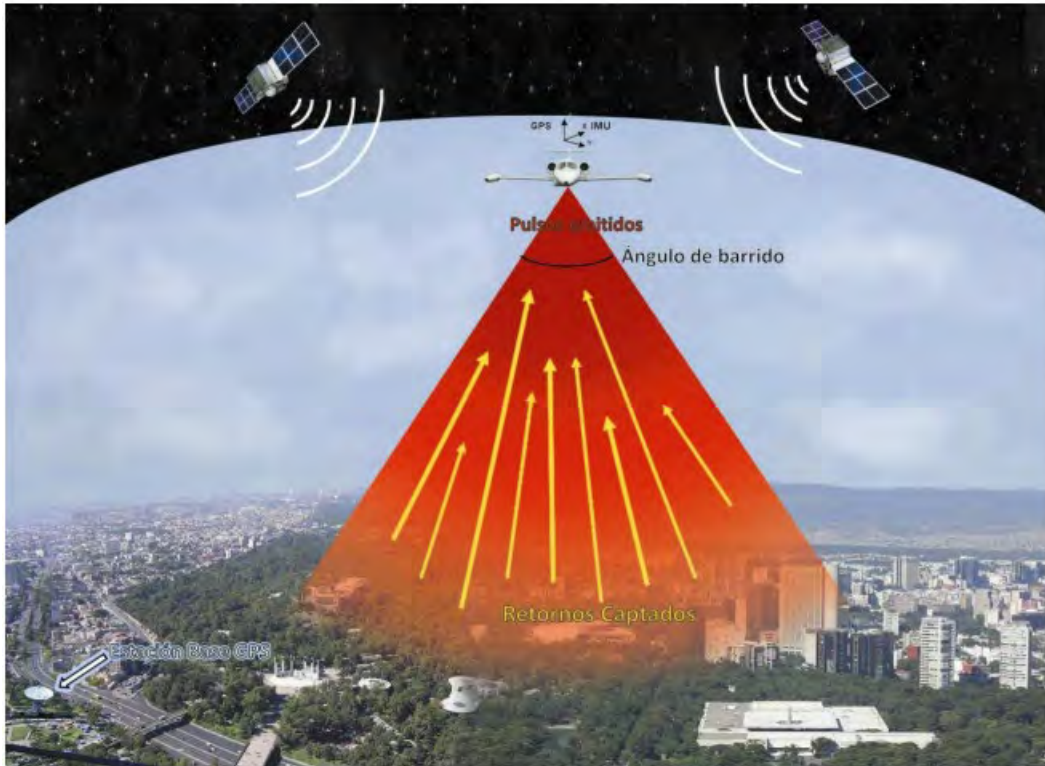
- **MODELO DIGITAL DE TERRENO:** (Sarría, 2006) en su catedra de “SIG Y TELEDETECCIÓN” de la universidad de Murcia, define un MDT como un conjunto de capas (generalmente raster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Sin embargo, el instituto nacional de estadística y geografía de la ciudad de México lo define como a la forma del terreno una vez que fueron removidos todos los elementos ajenos al mismo como son la vegetación, edificaciones y demás elementos que no forman parte del terreno (Figura 3).



**Figura 3:** MDT Chiapas – Mexico. Posprocesamiento MDE

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

- **LiDAR:** Acrónimo en inglés que significa “*Light Detection and Ranging*” y traduce ““Detección y Medición a través de la Luz” es una técnica de detección por tiempo de vuelo, en donde se emiten diferentes pulsos con láser de baja potencia que captura información posicional proyectada en 3D (X, Y y Z), estos tienen diferentes retornos sobre los cuales se identifican tiempos de tardanza con respecto a la captura. Permite identificar objetos en superficie diferenciados por los tiempos de retorno. (Figura 4)



**Figura 4:** Toma de datos LiDAR con aeronave tripulada

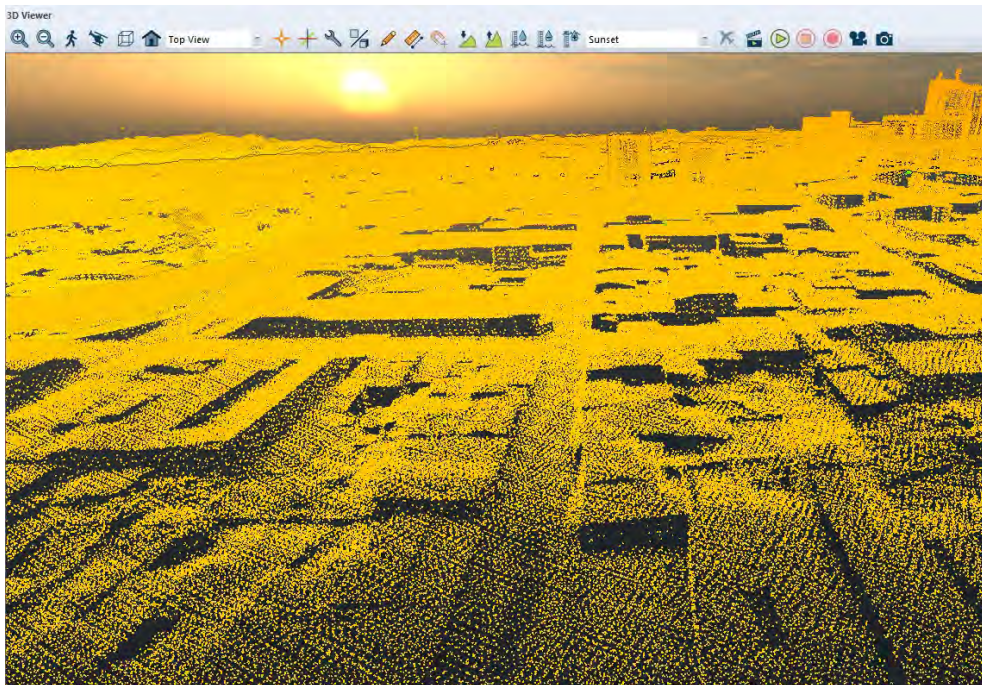
**Fuente:** <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>

- **DRON:** Aeronave no tripulada a distancia, derivada del inglés que significa “abeja macho”. Usualmente porta una cámara de captura análoga para equipos básicos, en equipos más avanzados y profesionales porta GNSS, y para labores específicas contiene cámaras con sensores LiDAR, térmicos y dispositivos RTK. (Figura 5)

- **Nube de Puntos:** Conjunto de datos obtenidos a partir de un sensor de fuente análoga con disposición posicional en 3D y coordenadas definidas en una proyección específica (Configuración del sensor). Es el insumo base para la generación de modelos MDE y MDT a partir de una claisificación de los datos obtenidos. (Figura 6)

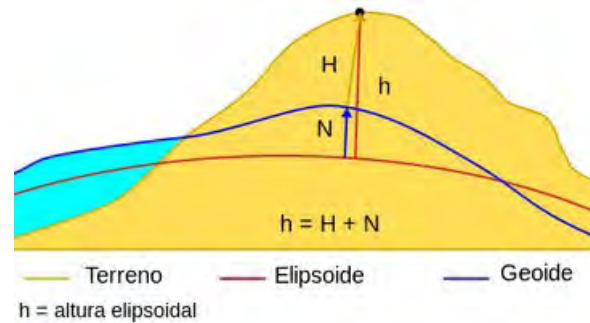


*Figura 5: DRON Dji Mavic PRO*  
*Fuente: <https://www.dji.com/mavic>*



*Figura 6: Nube de puntos Manizales – LiDAR*  
*Fuente: MASORA – Manizales – Abril 2021*

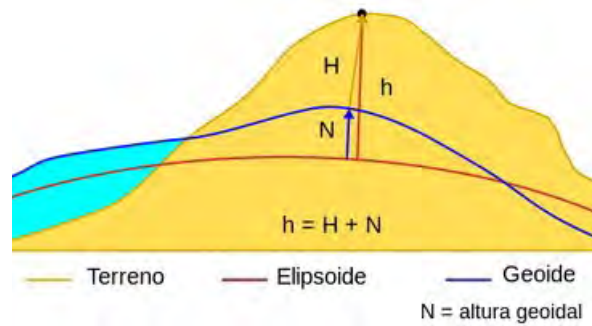
- **Altura Elipsoidal:** es la distancia, medida de forma geométrica y ortogonal, entre un punto P y el elipsoide que es utilizado como datum vertical. Dicho de otra forma, es la elevación sobre el elipsoide de referencia. A veces aparece nombrada como ALTURA GEOMÉTRICA o ALTURA GEODÉSICA (Figura 7)



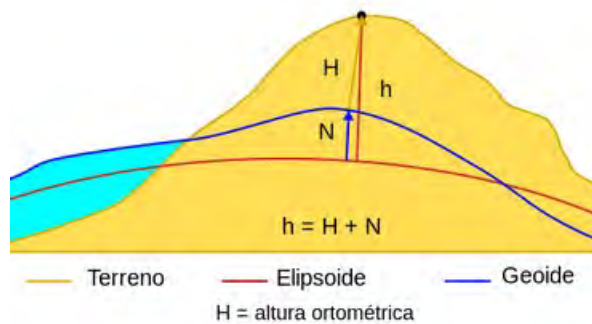
**Figura 7:** Representación ilustrativa de la altura elipsoidal  
**Fuente:** <https://efemeridesastronomicas.dyndns.org/wgs84.htm>

- **Altura Geoidal:** Es la diferencia existente entre la altura del geoide en un determinado lugar de un planeta y la altura esperable sobre la base de un determinado elipsoide de referencia o a un determinado modelo de densidad planetaria de referencia, si ésta es positiva, significa que el geoide se encuentra situado en parte superior al del elipsoide con una magnitud especificada en metros, si es negativa entonces el geoide se encuentra en la parte inferior. (Figura 8)

- **Altura Ortométrica:** Es la distancia tomada en la dirección normal al geoide entre éste y el punto de medición. La curvatura de esta altura en la gráfica se debe al hecho de que la línea de plomada coincide con el vector gravedad a medida que atraviesa diferentes superficies equipotenciales, las cuales no son paralelas entre sí. (Figura 9)



**Figura 8:** Representación ilustrativa de la altura Geoidal  
**Fuente:** <https://efemeridesastronomicas.dyndns.org/wgs84.htm>



**Figura 9:** Representación ilustrativa de la altura ortométrica  
**Fuente:** <https://efemeridesastronomicas.dyndns.org/wgs84.htm>

## 3.2. ANTECEDENTES

- **Puntos de Control:** Los puntos de control terrestre son locaciones específicas en terreno que se definen en términos de posicionamiento geográfico (X, Y y Z) para el ajuste de la realidad del modelo generado en el área donde se toman estos puntos. Pueden ser definidos directamente en campo, o desde plataformas SIG de manera análoga, siempre y cuando se tenga un modelo base

ya ajustado y los sectores definidos en términos de posicionamiento físico – visual (Locaciones específicas con referencias geográficas).

- (Arias - Pérez, Cuadrado - Mendez, Quintallana , Gómez, & González - Aguilera, 2014), describen diferentes enfoques y metodologías de calibración para sensores a partir de pruebas empíricas basados en experiencias y recomendaciones sobre procedimientos comúnmente aceptados, realizando vuelos con cámaras de diferentes tipos.

- (Agudelo - Otálora, Moscoso - Barrera, Paipa - Galeano, & Mesa - Sciarrota, 2018); explican metodologías tradicionales en la hidrología para el pronóstico de niveles de inundación a pesar del comportamiento no lineal, así mismo, implementan métodos no convencionales basados en inteligencia artificial para hacer pronósticos más precisos y rigurosos, teniendo en cuenta todas las variables que influyen en la dinámica fluvial.

- (Arévalo - Vera, Batona - Ibañez, & Ricón - Parada , 2015); implementan software especializado en fotogrametría digital de rango corto, que permite el desarrollo de modelos en 3D texturizados y realistas a partir de una nube de puntos.

- (Blanco - Pérez, 2020); evidencia la aplicación de fotografías aéreas en campos como la agricultura, la arquitectura, la publicidad, el periodismo y la seguridad, a partir de una reseña histórica.

- (Capachero - Martinez, Garcia - Reinoso, & Obregón - Neira, 2015); se implementaron bases de datos (Tres) para la estimación de la exactitud vertical del MDT\_STRM de 30 metros existente para Colombia, bajo pruebas Koppe y NSSDA.

- (Cárdenas - Quiroga, Morales - Martín, & Ussa - Caycedo , 2015); basados en un estado del arte, exponen el concepto de estereoscopía a partir de una revisión teórica, así mismo, explican y analizan una visión paralela y sus técnicas, separación espectral, temporal y aplicaciones a diferentes campos de la ciencia.
- (Cernuda - Rodriguez , 2014); evidencian técnicas y metodologías para la evaluación de la calidad de modelos digitales de terreno basados en procedimientos numéricos.
- (Claros - Zelaya , Guevara - Aguilar, & Pacas - Cruz, 2016); sustentan la implementación de aeronaves no tripuladas RPAS, para la generación de modelos de superficie y topografía con software libre y licenciado.
- (De Castro - Martinez, Vázquez - Selem, Palacio - Prieto, Peralta - Higuera , & García - Romero , 2018); A partir de fotogrametría digitales con aeronaves RPAS realizan un análisis geomorfométrico a gran detalle para cuantificar áreas de erosión en relación de volumen y masa.
- (De Eugenio, Landa, & Merino - De Miguel, 2018); a partir de software Meshlab para generar una reconstrucción de modelos 3D en árboles con fotogrametría terrestre.
- (Escalante - Torrado , Cáceres - Jimenez , & Porras - Diaz, 2016); Describen productos cartográficos tales como modelos digitales y ortomosaicos generados por sensores UAV. Así mismo, especifican metodologías de calibración, procesamiento y resultados, los cuales son directamente proporcionales a un pre proceso de preparación correcto.
- (Gómez - Zurdo, Martín, Gonzalez - Rodrigo, Marchamolo - Sacristán, & Martinez - Marín, 20201); Se plantean trabajos de fotogrametría para el desarrollo de ortofotos y modelos en 3D bajo

la técnica Structure From Motion, complementado con puntos de control y la utilización de aeronaves RPAS con sistemas RTK integrado para lograr resultados de alta precisión.

- (Gutiérrez, Parreño, & López - Salazar, 2020); evidencian la efectividad de trabajos con fotogrametría, descripción y desarrollo de nube de puntos cualificados.

- (Kleinschmidt, 2015); explica un nuevo régimen normativo espacial a partir del crecimiento en la utilización de sistemas aéreos no tripulados y la rutinización de esta tecnología.

- (Kolakovič , Fabian , Jeftenič., & Trajkovič, 2021); especifican la problemática de inundaciones en tierras bajas y sus soluciones a partir de metodologías que desarrollan modelos digitales de terreno combinados con modelos de inundación en 1D y 2D para identificar la propagación de las posibles inundaciones.

- (Lalangui - Jaramillo & Zárate - Torres , 2020); especifican la elaboración y construcción de un modelo digital de superficie en caminos de montaña con imágenes tomadas con aeronaves RPAS, estas fueron procesadas en software basado en algoritmos SfM.

- (Mayorga - Arias, Pasos - Roldán, & Uvidia - Vélez, 2019); hacen referencia a el desarrollo de la investigación utilizado diferentes métodos y técnicas tales como: Teóricos: histórico-lógico, inducción, deducción y modelación.

- (Najes, Ollero, & Sanchez - Fabre, 2019); Cuantifican cambios en la dinámica fluvial del río Ebro localizado en la reserva natural dirigida de los Sotos y Galachos; también explican la comparación evolutiva de los cauces activos asociados al cauce principal.

- (Ochoa - Arias & Delgado - Pinos, 2020); se enfocan en la fotogrametría arquitectural para gestionarse en Sistemas de Información Geográfica con información predial, delimitación de áreas de valor patrimonial, representación de edificaciones bidimensionales y tridimensionales, y la respectiva ortofoto.
- (Pérez - Brugal, Dorta - Armaignac, & Marrero de León, 2010); explican los modelos matemáticos de simulación hidráulica de inundaciones, en donde es fundamental comprender que la forma de la superficie del agua depende en gran medida de la geometría del terreno, las pendientes y la estimación de la “n” de Manning.
- (Pérez - Sanchez, Benítez -Rendón, & Díaz - Rodríguez , 2017); Demuestran la aplicabilidad de un RPAS tipo hexacóptero, en el desarrollo de un sistema integrado que permite transmitir la información geolocalizada durante su recorrido, los cuales son compatibles con software libre, por ejemplo Google Earth.
- (Rivera - Rodriguez, 2017); reseña histórica explicativa de tendencias en la ingeniería con enfoque social y resolución de problemas a partir de la aplicación de aeronaves RPAS.
- (Rodriguez - González, Alarcón, & Espejo - Torres, 2020); exponen metodologías introductorias en el área de la geomática y teledetección avanzada para profesionales SIG. Desde software para planeación de vuelos, hasta herramientas de procesamiento efectivas para la obtención de modelos a detalle.
- (Rong, y otros, 2020); muestran el desarrollo y la metodología para llevar a cabo modelos hidrodinámicos 2D y 3D construidos por separados para cuantificar el riesgo de inundación en zonas urbanas, todo basado en tecnologías de sistemas de información geográfica.

- (Salinas - Castillo, Paredes - Hernández, Martínez - Becerra, & Guevara - Cortina, 2013); establecen la comparativa de precisión de un equipo LiDAR con respecto a datos tomados en campo. Dicha comparación se realiza sobre una nube de puntos densa con 1.02 puntos sobre terreno por metro cuadrado.
- (Santos - Cerquera & Rodriguez - Caamaño , 2019); Muestran la adaptación de Modelos Digitales de Terreno, superficie e imágenes satelitales a las posibles zonas de inundación, a partir de datos recolectados en campo asociados a aguas de escorrentía en zonas urbanas aportadas por la cuenca.
- (SIGMUR, s.f.); temario de la universidad de Murcia sobre SIG y teledetección; el capítulo 7, referente a EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT) explica las metodologías de Generación del MDE, manipulación del MDE para la obtención de capas del MDT, visualización en 2D, análisis del MDT y aplicaciones.
- (Souto - Vidal, Sanz, & Docampo, 2015); explican metodología, equipos y herramientas informáticas para el desarrollo de modelos tridimensionales a partir de imágenes tomadas con RPAS; adicional a ello exponen la precisión y los resultados obtenidos con equipos básicos de bajo costo.
- (Sppawimut, 2021); describen mapas de susceptibilidad a inundaciones como herramienta esencial para mitigación en zonas urbanas, desarrollados a partir de modelos de índice estadístico (SI) y factor de ponderación (WF).
- (Valle - Martinez & Ortiz - Rojas, 2011); describen la aplicabilidad de extracción y representación de información geográfica a partir de nuevos marcos teóricos. También explican la

implementación de unidades de procesamiento gráfico para almacenar información de relieve y superficie.

## 4. Marco normativo y legal

La Resolución No. 04201 del 27 de Diciembre de 2018, tiene como propósito ampliar la información e impartir instrucciones de cumplimiento en referencia a los requisitos de Aeronavegabilidad y Operaciones necesarios para inscripción de explotadores, operadores y equipos, y para solicitar permiso para realizar vuelos de UAS, de acuerdo a lo establecido en el apéndice 13 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC 91), en lo relacionado con la realización de operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia - RPAS en Colombia. (CIVIL, 2018).

El IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales) establece una guía metodológica para la modelación hidráulica la cual considera etapas de la modelación (IDEAM, 2018), estas consisten en:

**- Definición de los objetivos de la modelación.** El primer paso para llevar a cabo una modelación es definir sus objetivos, su alcance y el nivel de detalle que se requiere.

**- Datos e información para la modelación.** Aquí se parte de la identificación del tipo y cantidad de datos e información disponibles de la zona de estudio y de conocer el nivel de representatividad de los datos y la información (escalas y resoluciones); para el caso de los modelos estadísticos se requieren series de tiempo largas para poder inferir el comportamiento de la variable de interés,

por ejemplo, precipitación o caudal. En el caso de los modelos que involucran la física del fenómeno (desde los más complejos hasta aquellos que hacen grandes simplificaciones) se requiere de dos tipos de información, espacial y temporal, y las especificidades de cada una de éstas depende del modelo a emplear.

- **Definición de escalas características.** Escala hace referencia a la longitud o tiempo característico de un proceso, observación o modelo (Blöschl & Sivapalan, 1995). Así, la dimensión escalar hace referencia al rango de longitudes o tiempos característicos del proceso o medio analizado (Puricelli, 2003). La generación de escurrimiento superficial es un fenómeno donde elementos tales como suelos, topografía y precipitación están caracterizados, cada uno de ellos, por su propia dimensión escalar (Wood 1988).

- **Análisis de la calidad de los datos y la información.** Una vez recopilados los datos y la información, se hace un análisis de calidad; en esta etapa, se busca reducir en la medida de lo posible el error y la incertidumbre asociada a los datos y la información del modelo, lo cual contribuye al proceso de calibración y a la obtención de resultados con una mayor certidumbre. Los datos deben someterse a un procesamiento mínimo que garantice una calidad óptima antes de su utilización.

- **Evaluación de incertidumbre.** Abordar el tema de la incertidumbre es fundamental, ya que los resultados de las modelaciones se emplean en la toma de decisiones y por tanto éstos deben ir acompañados de su respectiva incertidumbre asociada; es igualmente importante documentar todo el proceso, en especial el tratamiento de los datos e información (en términos de verificación, tratamiento, análisis de calidad y cantidad, todo tipo de procesamiento, entre otros), así como de las estimaciones, inferencias y los supuestos adoptados.

- **Construcción del modelo conceptual.** En este punto es clave formular las preguntas adecuadas y se parte básicamente de los objetivos trazados y de los datos y la información disponible. En esta etapa se define cuál es el área de estudio (cuena, subcuena, área aferente, municipio, el sector de una población, cuerpo de agua, entre otros), las condiciones límite, las condiciones iniciales, los procesos del fenómeno estudiado sobre los cuales se debe hacer énfasis, los flujos de información, los datos e información requerida, cómo resolver el problema de la falta de datos e información, si es pertinente recurrir a estimaciones, entre otros aspectos.
  
- **Selección del modelo.** Teniendo en cuenta que existe una variedad de procesos según el tipo de modelo, la selección depende de la escala espacial y temporal de la modelación. En cuanto a la escala temporal, entre más grande sea el paso de tiempo es más sencilla la descripción de los procesos hidrológicos. Al contrario, la modelación de los procesos a un paso de tiempo corto, necesita una descripción de los procesos más complejos (Gnouma , 2006).
  
- **Análisis de sensibilidad.** Previo a la calibración del modelo, se hace un análisis de sensibilidad que consiste en identificar los parámetros más sensibles ante cambios pequeños en sus valores; con esto se logra ser más eficiente en la calibración. En esta etapa se busca encontrar los parámetros que tienen mayor peso o relevancia en la calibración del modelo.
  
- **Selección de los criterios de desempeño.** Los criterios de desempeño no son más que relaciones que muestran la capacidad del modelo para representar adecuadamente la realidad; se emplean en un contexto de calibración, validación, optimización y evaluación de incertidumbre. Existe una gran gama de estas métricas, algunas ampliamente conocidas como el RMSE y el índice NASH; sin embargo, debe tenerse precaución al seleccionarlas ya que no se deben emplear los mismos indicadores de desempeño, por ejemplo, en inundaciones lentas que en crecientes súbitas, dadas

las implicaciones que tienen pequeñas diferencias en las magnitudes en ambos contextos (Obregón, 2017).

Se debe tener en cuenta el decreto N°2245 del 2017 *"Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas"*, lo cual se tiene presente para determinar e interpretar en el momento de la modelación, cuales son las afectaciones que no cumplen este decreto, así mismo, también es de interés tener clara la resolución 957 de 2018 *"Por la cual se adopta la Guía Técnica de Criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia y se dictan otras disposiciones"*.

## 5. Tópicos del marco conceptual

La quebrada olivares – minitas y su entorno urbano se ha dividido en tres tramos donde (Frnaco - Idarraga, 2019) describe lo siguiente:

- **Tramo 1:** De su nacimiento en el Alto de la Coca hasta el sector de la hacienda La Aurora, en este sector la corriente conserva características naturales por encontrarse en zona de reserva natural -fuente del acueducto de la ciudad- y área de amortiguación natural; no obstante, está amenazada por movimientos masales principalmente en las laderas de la vertiente sur y por el ascenso de la minería de áridos y la presión urbanística desde la ciudad.

- **Tramo 2:** Del sector que va de la hacienda La Aurora hasta el puente de salida a Neira, en este tramo la quebrada está completamente constreñida por la ciudad, la cual ha ocupado sus espacios con infraestructura vial, viviendas y diversas obras civiles, alterando el cauce y su patrón natural de alineamiento; en este tramo el curso hídrico recibe múltiples descoles de aguas residuales domésticas, industriales y escorrentías urbanas que le imprimen un alto grado de contaminación.

- **Tramo 3:** Entre el puente de salida a Neira y la desembocadura en el río Guacaica, trecho caracterizado por una abrupta topografía en sus vertientes por lo que la quebrada corre muy encañonada y poco visible, la torrencialidad la reaírea y le recupera algo de oxígeno disuelto a pesar de las grandes cargas de materia orgánica. Si bien este sector posee asentamientos urbanos, no son tan densos como en el tramo anterior, pero si son socioeconómicamente muy deprimidos, ilegales y/o se hallan en zonas de riesgo por deslizamiento.

## 6. Metodología

### 6.1 Enfoque metodológico

Se implementa una metodología partiendo de una información base la cual ha sido anteriormente verificada y validada enfocada en el objetivo principal de este trabajo. Dicha información corresponde a una nube de puntos sin procesamiento ni reclasificación, correspondiente al Municipio de Manizales en su sector Urbano. Esta nube de puntos se realizó con aeronave tripulada equipada con sensor Lidar y ajustado con la red geodésica de la ciudad, por tal motivo, es una base

de información digital ajustada, lo que hace la hace confiable en el momento de ejecutar algún tipo de procesamiento.

El mejoramiento en el desarrollo del MDT corresponderá en identificar zonas donde la dinámica fluvial ponga en riesgo la población, se realizarán con vuelos RPAS a una escala detallada, donde se generará una nueva nube de puntos, la cual será reclasificada y se generará un nuevo MDT a partir de una nueva nube de puntos. De tal manera que sobre los sectores específicos la resolución en relación de Pxl/Cm será mucho menor y los resultados de modelación serán mas precisos.

## **6.2 Tipo de estudio**

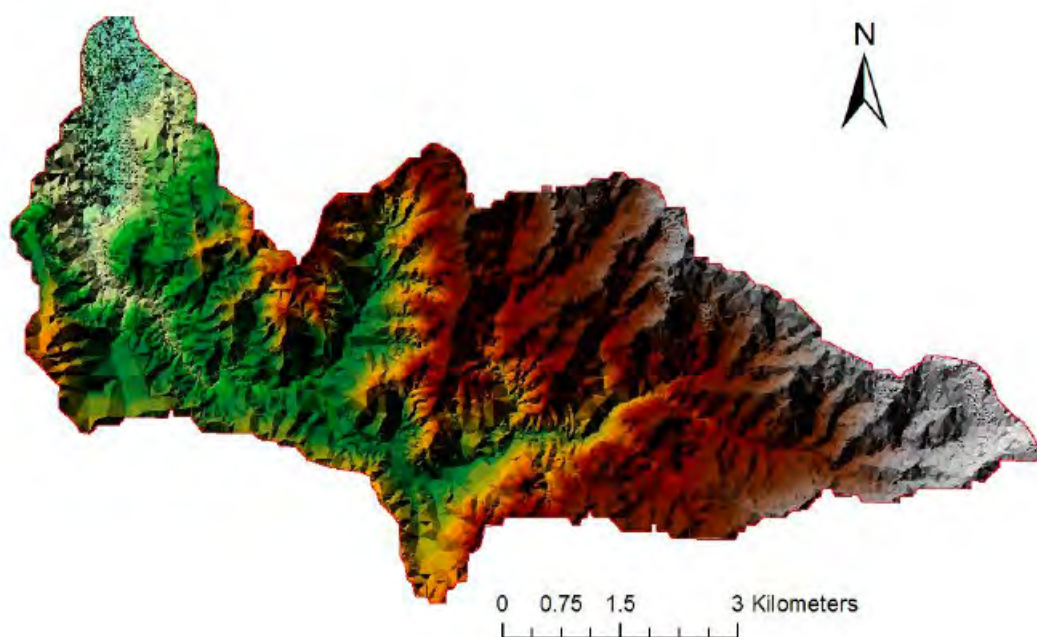
*INVESTIGACIÓN APLICADA:* Se generará un producto mejorado y completamente funcional para el modelamiento hídrico y fluvial del sector urbano en la quebrada Olivares – Minitas. Este insumo permitirá la actualización de estado de la quebrada, permitirá actualizar el mapa de riesgos y amenazas, identificar el uso actual que se le está dando a la quebrada, y muchos otros trabajos que requieran de la implementación de un MDE y un MDT generados a detalle.

*TECNOLÓGICA:* La implementación de tecnologías de información geográfica en el ámbito científico medio ambiental será una utilidad funcional por un periodo de tiempo considerable, el monitoreo y dinámica fluvial de la quebrada podrá ser definido a detalle en zonas de riesgo y/o interés socioeconómico, también es funcional para futuras intervenciones en sectores aledaños a la quebrada, ya sean de orden civil o ambiental.

## 6.3 Procedimiento

*Fase 1: Compilar y analizar MDT's anteriormente desarrollados en la quebrada Olivares-Minitas.*

La universidad nacional sede manizales, bajo modalidad de tesis de maestría por la Ing. Luisa Fernanda Parra Gómez, diseñó las estrategias de gestión natural de inundaciones de la quebrada Olivares minitas, implementando un MDT de 9.5m x 9.5m (Figura 10) obtenidas del satélite *Land Viewer (Earth Oserving System, 2022)*.

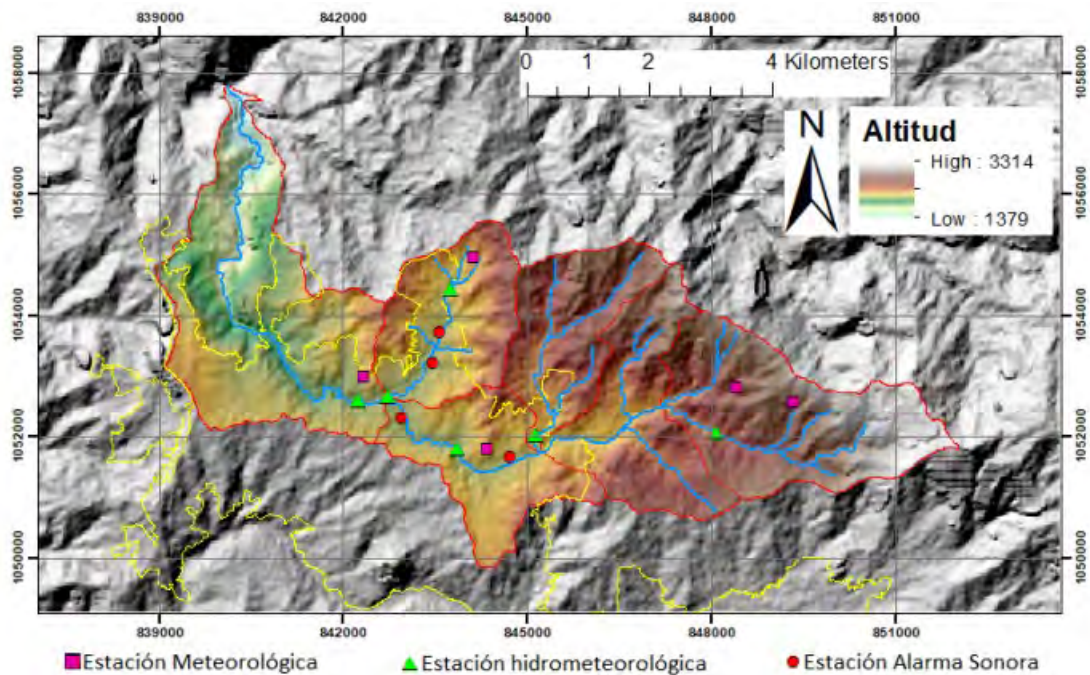


**Figura 10:** MDT de 9.5m x 9.5m

**Fuente:** Tesis de maestría. Estrategias de gestión natural de inundaciones. Unal Manizales.

La empresa SIMAC (Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas) en sociedad con la universidad nacional sede manizales y el IDEA (Instituto de estudios ambientales), bajo el convenio 221 del 2016 en el proyecto OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y

CORRECTIVO A LAS REDES HIDROMETEOROLÓGICAS, DE CALIDAD DEL AIRE Y SÍSMICA EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS, exponen un diseño de direcciones de flujo y mapa de flujos acumulados a partir de un modelo de 30m x 30m obtenido de la NASA. (Figura 11).



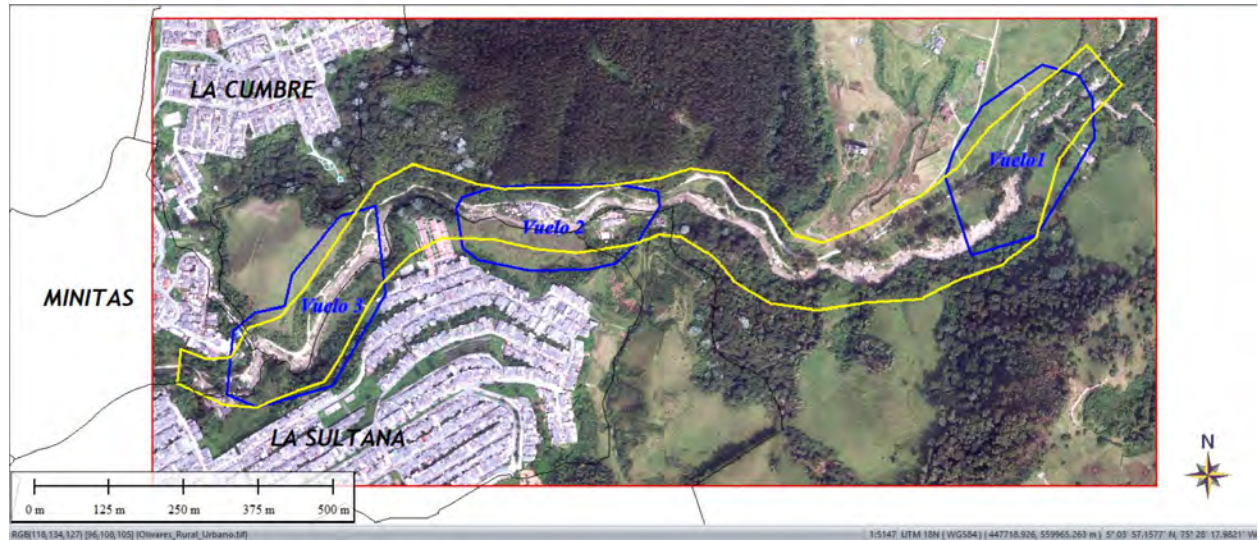
**Figura 11:** Mapa alturas cuenca Olivares

**Fuente:** informe de avance: umbrales preliminares para la activación del sat para las cuencas quebrada el guamo, olivares y manizales.

**Fase 2:** Definir sectores, puntos de control, alturas y condiciones de los vuelos con dron para obtener fotografías aéreas, empleando sistemas de información geográfica.

Se definen el área sobre el cual se complementará el MDT para la modelación hidráulica, este corresponde al denominado sector rural de Manizales en la parte norte de su cabecera municipal, consta de un área de 21.9 Ha, comprendiendo la zona rural de la reserva de río blanco, hasta el

comienzo del sector urbano de la ciudad comprendiendo los barrios la Cumbre, la Sultana y Minitas (Figura 12).



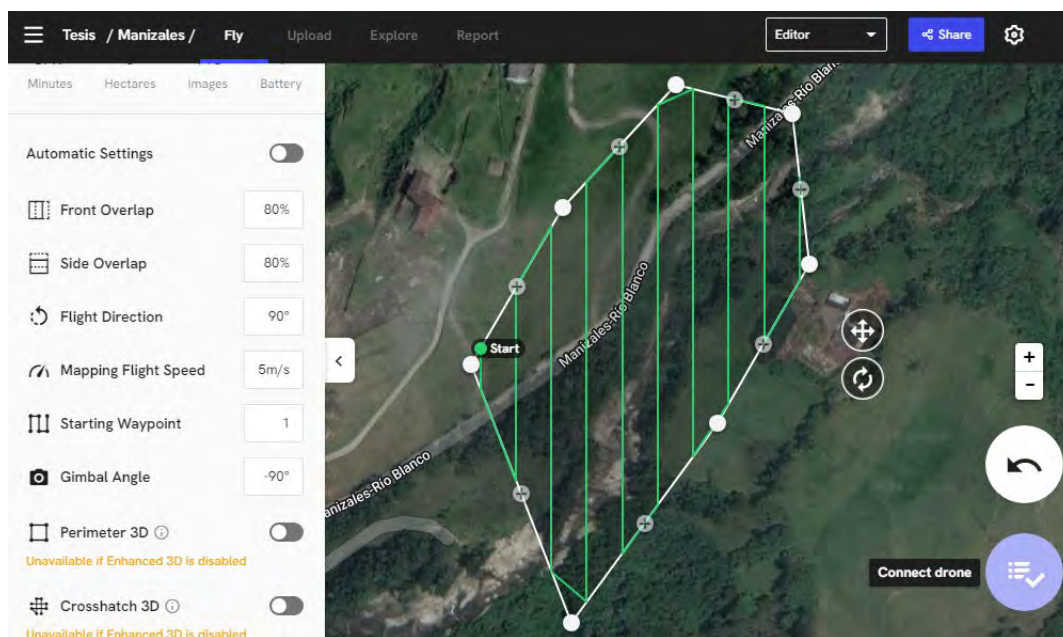
*Figura 12: Barrios sobre area de estudio  
Fuente: Propia*

Para cada tramo de los vuelos a realizar, se definen 4 puntos de control, los cuales serán ajustados de manera análoga con respecto a la nube de puntos existente la cual ya tiene ajuste y corrección topográfica con respecto a la red geodésica de la ciudad. Sin embargo, se realiza corrección ortométrica a partir de la altura elipsoidal y geoidal.

Se definen en total 3 vuelos a lo largo de la zona de interés, la definición de estos puntos se hace bajo criterios de visibilidad del cauce, afectación e interacción antrópica por intervención de minería artesanal, y condiciones optimas para realizar los vuelos sin que el equipo corra algún tipo de riesgo alto. Los parámetros de vuelo establecidos para cada sector se definen en términos de calidad en resolución del modelo con el software Drone Deploy.

Cabe resaltar que todos los vuelos programados se generan con los mismos parámetros (Altura, traslape, angulo del gimbal de la aeronave, dirección y velocidad) para garantizar insumos que permitan la generación de un modelo confiable.

- *VUELO 1*: Sector rural zona E del área de interés. Parte mas extrema, levemente encañonada con arboles de más de 50m de altura. Con fácil acceso e intervención minera. Los parámetros de vuelo definidos corresponden a una altura de 80m, con traslape frontal y lateral del 80%, angulo del gimbal a 90° a una velocidad de 5m/s; se Obtendrán 120 imágenes de 6.08Ha para ser procesadas (Figura 13).



**Figura 13:** Parametros de vuelo para sector E

**Fuente:**

<https://www.dronedeploy.com/app2/sites/63e5053727ab0c1d9c1a7067/fly/map/63e5053e27ab0c1d9c1a7068>

Los puntos de control tomados en campo con gps de mano se definen en áreas estratégicas de tal forma que abarcaran de cierta forma una distribución “equidistante” para equilibrar de manera espacial el modelo. (Figura 14)



**Figura 14:** Puntos de control definidos para el vuelo 1  
**Fuente:** Propia

Estos puntos de control fueron tomados con GPS de mano Garmin Etrex10, implementando puntos de proximidad para reducir el error de posicionamiento XY (Figura 15). Posteriormente fueron corregidos en Z para obtener la altura ortométrica correcta. (Figura 16).



**Figura 15: Toma de puntos de control en campo**  
**Fuente: Propia**

Online geoid calculations using the [GeoidEval](#) utility

Position (ex. «16.78 -3.01», «16d46'33"N 3d0.6'W»):

Select action:

PUNTO 14

Geoid height:

lat lon = 5.06564 -75.46183 (05°03'56"N 075°27'43"W)  
 geoid heights (m)  
 EGM2008 = 20.3498  
 EGM96 = 20.0078  
 EGM84 = 18.6087

ALTURA GEOIDAL PARA CORRECCION  
ORTOMETRICA - WGS84

Online geoid calculations using the [GeoidEval](#) utility

Position (ex. «16.78 -3.01», «16d46'33"N 3d0.6'W»):

Select action:

PUNTO 15

Geoid height:

lat lon = 5.06541 -75.46199 (05°03'55"N 075°27'43"W)  
 geoid heights (m)  
 EGM2008 = 17.3500  
 EGM96 = 17.1421  
 EGM84 = 15.6095

ALTURA GEOIDAL PARA CORRECCION  
ORTOMETRICA - WGS84

Online geoid calculations using the [GeoidEval](#) utility

Position (ex. «16.78 -3.01», «16d46'33"N 3d0.6'W»):

Select action:

PUNTO 16

Geoid height:

lat lon = 5.06525 -75.46206 (05°03'55"N 075°27'43"W)  
 geoid heights (m)  
 EGM2008 = 20.3505  
 EGM96 = 20.6935  
 EGM84 = 18.6100

ALTURA GEOIDAL PARA CORRECCION  
ORTOMETRICA - WGS84

Online geoid calculations using the [GeoidEval](#) utility

Position (ex. «16.78 -3.01», «16d46'33"N 3d0.6'W»):

Select action:

PUNTO 17

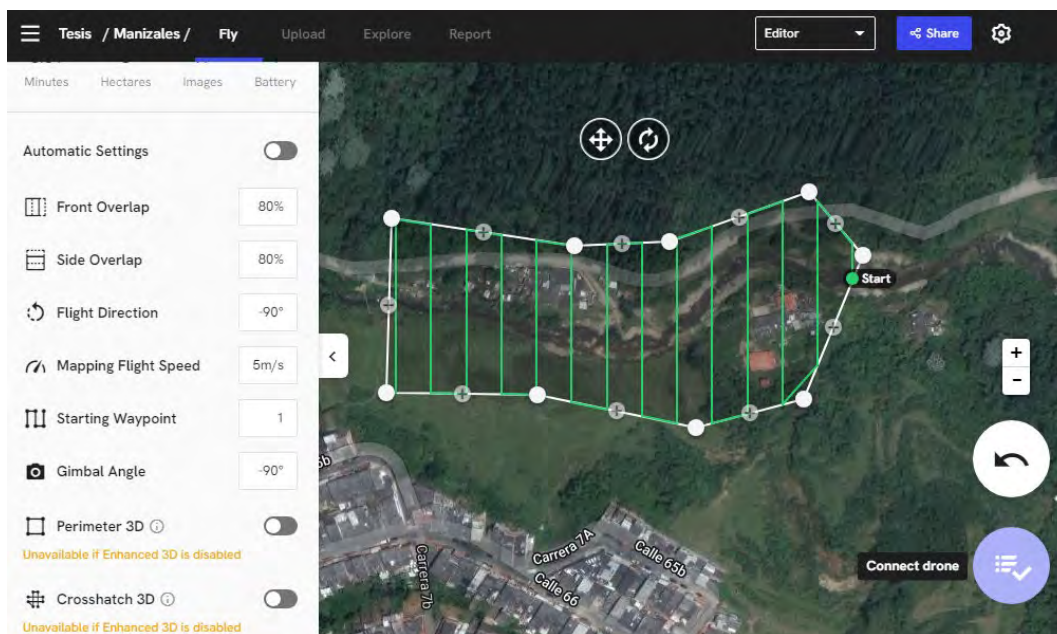
Geoid height:

lat lon = 5.06510 -75.46194 (05°03'54"N 075°27'43"W)  
 geoid heights (m)  
 EGM2008 = 18.3525  
 EGM96 = 18.6706  
 EGM84 = 16.6100

ALTURA GEOIDAL PARA CORRECCION  
ORTOMETRICA - WGS84

**Figura 16: Obtención de altura geoidal para corrección ortométrica**  
**Fuente: <https://geographiclib.sourceforge.io/cgi-bin/GeoidEval>**

- **VUELO 2:** Sector rural zona centro del área de interés. Terreno levemente ondulado muy amplio de fácil acceso con sectores poblados, no hay intervención minera. Los parámetros de vuelo definidos corresponden a una altura de 80m, con traslape frontal y lateral del 80%, angulo del gimbal a 90° a una velocidad de 5m/s. se obtendrán 104 imágenes de 4.32Ha para ser procesadas (Figura 17).



**Figura 17:** *Parametros de vuelo para sector centro*

**Fuente:**

<https://www.dronedeploy.com/app2/sites/63e5053727ab0c1d9c1a7067/fly/map/63e50ca408d372042f2de712>

Los puntos de control tomados en campo con gps de mano se definen en areas estratégicas de tal forma que abarcaran de cierta forma una distribución “equidistante” para equilibrar de manera espacial el modelo. (Figura 18)

Estos puntos de control fueron tomados con GPS de mano Garmin Etrex10, implementando puntos de proximidad para reducir el error de posicionamiento XY (Figura 19). Posteriormente fueron corregidos en Z para obtener la altura ortométrica correcta. (Figura 20).



*Figura 18: Puntos de control definidos para vuelo 2*  
*Fuente: Propia*



*Figura 19: Puntos de control en campo*  
*Fuente: Propia*

Online geoid calculations using the [GeoidEval](#) utility

Position (ex. «16.78 -3.01», «16d46'33"N 3d0.6'W»):

Select action:

**PUNTO 18**

Geoid height:  
 lat lon = 5.06486 -75.46972 (05°03'53"N 075°28'11"W)  
 geoid heights (m)  
 EGM2008 = 20.2910  
 EGM96 = 20.0780  
 EGM84 = 18.6284

ALTURA GEOIDAL PARA CORRECCION  
ORTOMETRICA - WGS84

Online geoid calculations using the [GeoidEval](#) utility

Position (ex. «16.78 -3.01», «16d46'33"N 3d0.6'W»):

Select action:

**PUNTO 19**

Geoid height:  
 lat lon = 5.06490 -75.47009 (05°03'54"N 075°28'12"W)  
 geoid heights (m)  
 EGM2008 = 25.2877  
 EGM96 = 25.5350  
 EGM84 = 23.6291

ALTURA GEOIDAL PARA CORRECCION  
ORTOMETRICA - WGS84

Online geoid calculations using the [GeoidEval](#) utility

Position (ex. «16.78 -3.01», «16d46'33"N 3d0.6'W»):

Select action:

**PUNTO 20**

Geoid height:  
 lat lon = 5.06478 -75.47012 (05°03'53"N 075°28'12"W)  
 geoid heights (m)  
 EGM2008 = 19.2882  
 EGM96 = 19.6020  
 EGM84 = 17.6294

ALTURA GEOIDAL PARA CORRECCION  
ORTOMETRICA - WGS84

Online geoid calculations using the [GeoidEval](#) utility

Position (ex. «16.78 -3.01», «16d46'33"N 3d0.6'W»):

Select action:

**PUNTO 21**

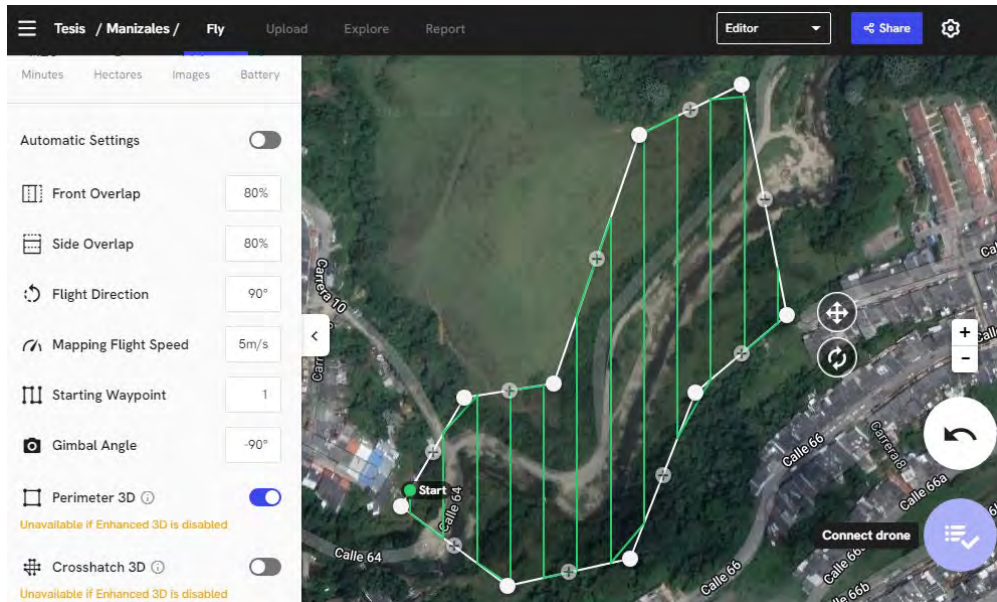
Geoid height:  
 lat lon = 5.06472 -75.46975 (05°03'53"N 075°28'11"W)  
 geoid heights (m)  
 EGM2008 = 18.2916  
 EGM96 = 18.5720  
 EGM84 = 16.6287

ALTURA GEOIDAL PARA CORRECCION  
ORTOMETRICA - WGS84

**Figura 20:** Obtención de altura geoidal para corrección ortométrica  
**Fuente:** <https://geographiclib.sourceforge.io/cgi-bin/GeoidEval>

- **VUELO 3:** Sector rural zona W del área de interés. Terreno muy amplio de fácil acceso intervención minera. Los parámetros de vuelo definidos corresponden a una altura de 80m, con traslape frontal y lateral del 80%, ángulo del gimbal a 90° a una velocidad de 5m/s. se obtendrán 118 imágenes en 5.5Ha para ser procesadas (Figura 21).

Los puntos de control tomados en campo con gps de mano se definen en áreas estratégicas de tal forma que abarcaran de cierta forma una distribución “equidistante” para equilibrar de manera espacial el modelo. (Figura 22)

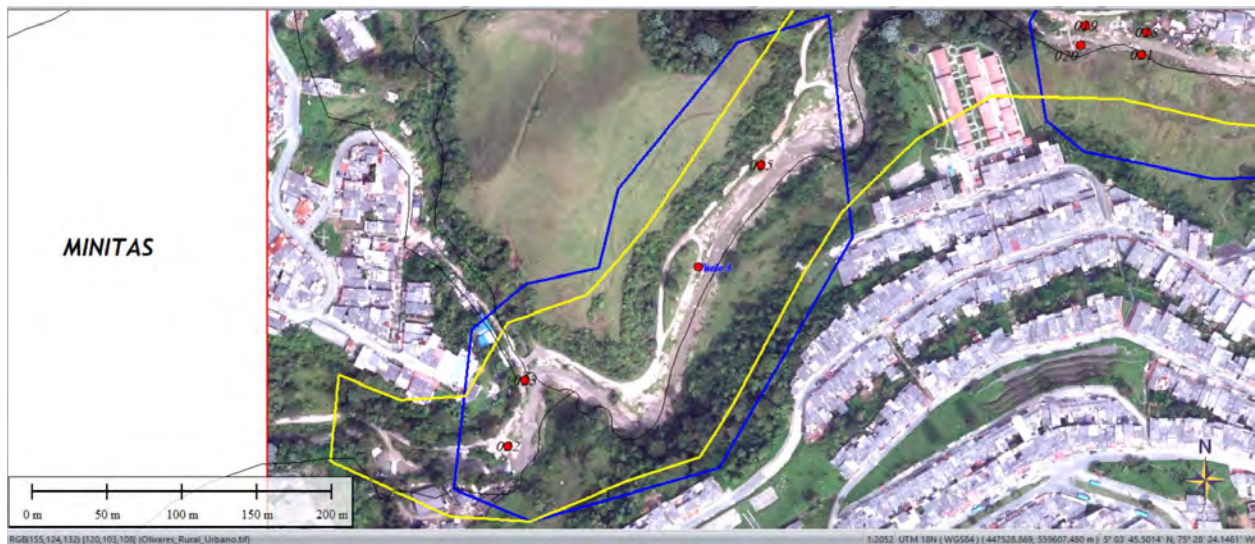


*Figura 21: Parametros de vuelo para sector W.*

*Fuente:*

<https://www.droneDeploy.com/app2/sites/63e5053727ab0c1d9c1a7067/fly/map/63e512fb08d372042f2de7>

13



*Figura 22: Puntos de control definidos para vuelo 3*

*Fuente: Propia*

Estos puntos de control fueron tomados con GPS de mano Garmin Etrex10, implementando puntos de proximidad para reducir el error de posicionamiento XY (Figura 23). Posteriormente fueron corregidos en Z para obtener la altura ortométrica correcta. (Figura 24).



Figura 23: Puntos de control en campo  
Fuente: Propia

Online geoid calculations using the [GeoidEval](#) utility

Position (ex. «16.78 -3.01», «16d46'33"N 3d0.6'W»):  
5.062361 -75.473565

Select action:

Geoid height: **PUNTO 22**

lat lon = 5.06236 -75.47356 (05°03'44"N 075°28'25"W)  
geoid heights (m)  
EGM2008 = 16.2791  
**EGM96 = 16.6761**  
EGM84 = 14.6421

ALTURA GEOIDAL PARA CORRECCION ORTOMETRICA - WGS84

Online geoid calculations using the [GeoidEval](#) utility

Position (ex. «16.78 -3.01», «16d46'33"N 3d0.6'W»):  
5.062758 -75.473464

Select action:

Geoid height: **PUNTO 23**

lat lon = 5.06276 -75.47346 (05°03'46"N 075°28'24"W)  
geoid heights (m)  
EGM2008 = 17.2743  
**EGM96 = 17.3360**  
EGM84 = 15.6410

ALTURA GEOIDAL PARA CORRECCION ORTOMETRICA - WGS84

Online geoid calculations using the [GeoidEval](#) utility

Position (ex. «16.78 -3.01», «16d46'33"N 3d0.6'W»):  
5.064057 -75.472043

Select action:

Geoid height: **PUNTO 25**

lat lon = 5.06406 -75.47204 (05°03'51"N 075°28'19"W)  
geoid heights (m)  
EGM2008 = 14.2773  
**EGM96 = 14.2346**  
EGM84 = 12.6352

ALTURA GEOIDAL PARA CORRECCION ORTOMETRICA - WGS84

Online geoid calculations using the [GeoidEval](#) utility

Position (ex. «16.78 -3.01», «16d46'33"N 3d0.6'W»):  
5.063443 -75.472423

Select action:

Geoid height: **PUNTO 25**

lat lon = 5.06344 -75.47242 (05°03'48"N 075°28'21"W)  
geoid heights (m)  
EGM2008 = 15.2782  
**EGM96 = 15.4896**  
EGM84 = 13.6373

ALTURA GEOIDAL PARA CORRECCION ORTOMETRICA - WGS84

Figura 24: Obtención de altura geoidal para corrección ortométrica  
Fuente: <https://geographiclib.sourceforge.io/cgi-bin/GeoidEval>

*Fase 3: Construir una base de datos geográfica de la quebrada Olivares-Minitas con la información ortofotogramétrica procesada y georeferenciada.*

Construcción de Gdb para almacenamiento de datos, donde irá consignada la información raster y espacial debidamente georeferenciada. El sistema de proyección que se implementará en este trabajo será el origen internacional WGS84 Zona 18N (EGM96)

La creación de una “*Personal Geodatabase (.mdb)*” permite almacenar datos tanto espaciales como no espaciales en un máximo de capacidad de 2Gb. Dentro de esta se crean “*Features Dataset*” sobre los cuales irán archivos correspondientes y necesarios para la creación del producto final.

- *Areas\_General*: Contiene información poligonal del área de intervención, vuelos programados, y barrios colindantes al río. Esta información en .shp es muy útil para la espacialización de las áreas de influencia en términos de ubicación y extensión.

- *MDT\_Hidraulica*: Contiene el resultado final del procesamiento de los datos. Se define como el modelo digital de terreno definitivo y funcional para cualquier tipo de modelación hidráulica en software SIG,

- *Modelos\_Digitales*: Contiene los modelos digitales generados sin ser unificados, estos se encuentran ajustados y procesados, pero con tamaños de pixel diferentes. Son el resultado del procesamiento y reclasificación de la nube de puntos generada.

- *Puntos\_Control*: Contiene información espacial en 3d (X,Y,Z) de una ubicación específica, los datos setoman de la nube de puntos base, la cual ya se encuentra geodésicamente corregida. Esta información es fundamental para el ajuste topográfico de los modelos que se generen.

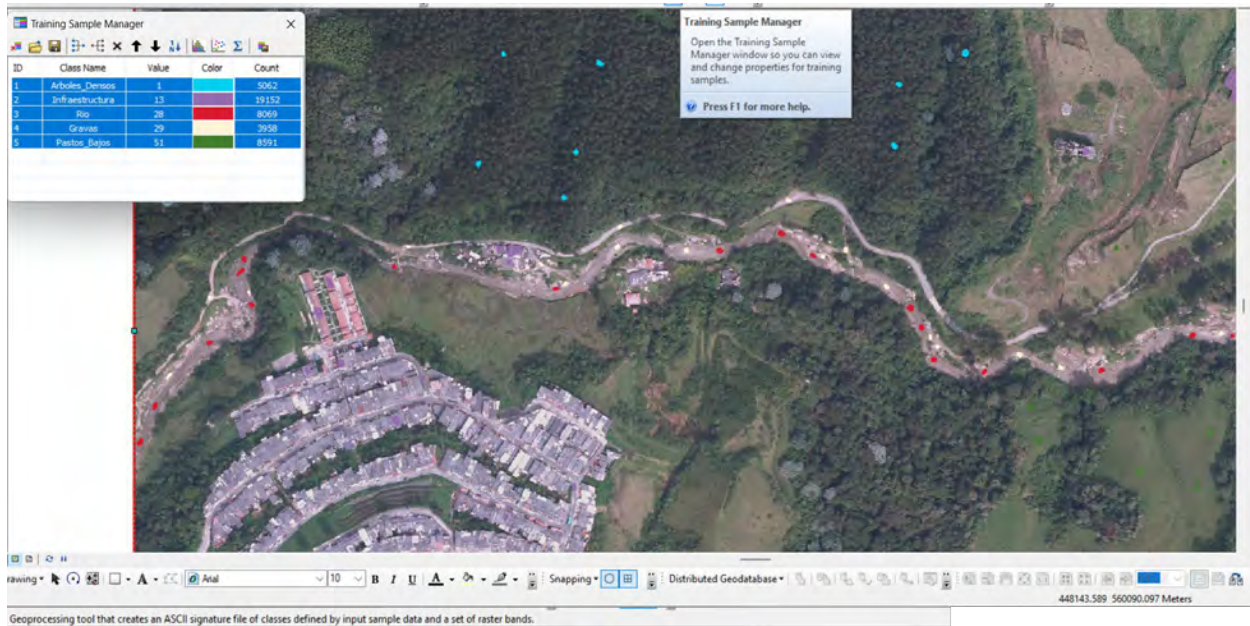
- *Raster\_Base*: Contiene la imagen satelital y ortofoto generada a partir de procesamientos SIG.

- *Rugosidades*: Rugosidades clasificadas en clases y con valores de Manning (Índices), insumo fundamental para correr un modelo hidráulico. Estos índices determinan la resistencia del flujo en un canal.

***Fase 4:*** *Generar el modelo digital del terreno de la quebrada Olivares-Minitas mejorado para modelación de inundaciones en su tramo urbano.*

Resultado final después de realizar el procesamiento de datos fotogramétricos (Imágenes aéreas, puntos de control, clasificación). Este modelo digital en un tamaño de pixel inferior a 1pxl/cm ya estará ajustado ortométricamente y listo para correr modelos hidrológicos e hidráulicos. También será un modelo digital funcional para cualquier otro tipo de procesamiento morfométrico.

La modelación hidráulica requiere de una serie de datos de caudales y rugosidades para llevarse a cabo. Por tal motivo, se procede a generar un mapa de rugosidades a partir de una clasificación supervisada y firmas espectrales de la ortofoto e imágenes aéreas del sector. Estas rugosidades son definidas a partir de puntos de entrenamiento (Figura 24)



*Figura 25: Poligonos de entrenamiento para definir clases de rugosidades.  
Fuente: Propia*

La definición de las rugosidades se establece en diferentes clases numéricas, con valores únicos que definen la resistencia a un cauce dependiendo de su constitución. Dichos índices están establecidos por la formula  $V=C*R^{2/3} * S^{1/2}$ , donde el ingeniero irlandés Robert Manning desarrolló la ecuación mencionada para flujos uniformes y parejos (UPTC, s.f.). Estos valores ya están estandarizados (Figura 26)

Una vez definidos los puntos de entrenamiento, se generan las firmas espectrales de la imagen (Figura 27) las cuales son fundamentales para generar un raster a partir de una clasificación de máxima verosimilitud con filtro mayoritario (Figura 28)

RUGOSIDADES						
FID	Shape	Id	Area_Ha	CLASSNAME		VALUE
4	Polygon	1	0.716429	Arboles_Densos		0.06
9	Polygon	1	27.691	Arboles_Densos		0.06
11	Polygon	1	2.99307	Arboles_Densos		0.06
13	Polygon	1	23.3342	Arboles_Densos		0.06
25	Polygon	1	0.205769	Arboles_Densos		0.06
26	Polygon	1	0.379344	Arboles_Densos		0.06
30	Polygon	1	0.050225	Arboles_Densos		0.06
31	Polygon	1	0.112805	Arboles_Densos		0.06
32	Polygon	1	0.277048	Arboles_Densos		0.06
33	Polygon	1	0.965906	Arboles_Densos		0.06
34	Polygon	1	0.648548	Arboles_Densos		0.06
46	Polygon	1	0.106213	Arboles_Densos		0.06
51	Polygon	1	0.413216	Arboles_Densos		0.06
61	Polygon	1	0.096141	Arboles_Densos		0.06
62	Polygon	1	0.184082	Arboles_Densos		0.06
63	Polygon	1	0.047323	Arboles_Densos		0.06
64	Polygon	1	0.098305	Arboles_Densos		0.06
0	Polygon	2	8.69285	Infraestructura		0.025
5	Polygon	2	16.1952	Infraestructura		0.025
14	Polygon	2	0.008398	Infraestructura		0.025
15	Polygon	2	0.001856	Infraestructura		0.025
16	Polygon	2	0.001044	Infraestructura		0.025
17	Polygon	2	0.004283	Infraestructura		0.025
18	Polygon	2	0.003011	Infraestructura		0.025
19	Polygon	2	0.093536	Infraestructura		0.025
20	Polygon	2	0.004897	Infraestructura		0.025

CLASE NUMERICA  
 NOMBRE DE LA CLASE  
 INDICE DE MANNING PARA C/ CLASE

**CLASIFICACION DE RUGOSIDADES CON INDICES DE MANNING**

**Figura 26:** Clases numéricas e índices de Manning

*Fuente: Propia*

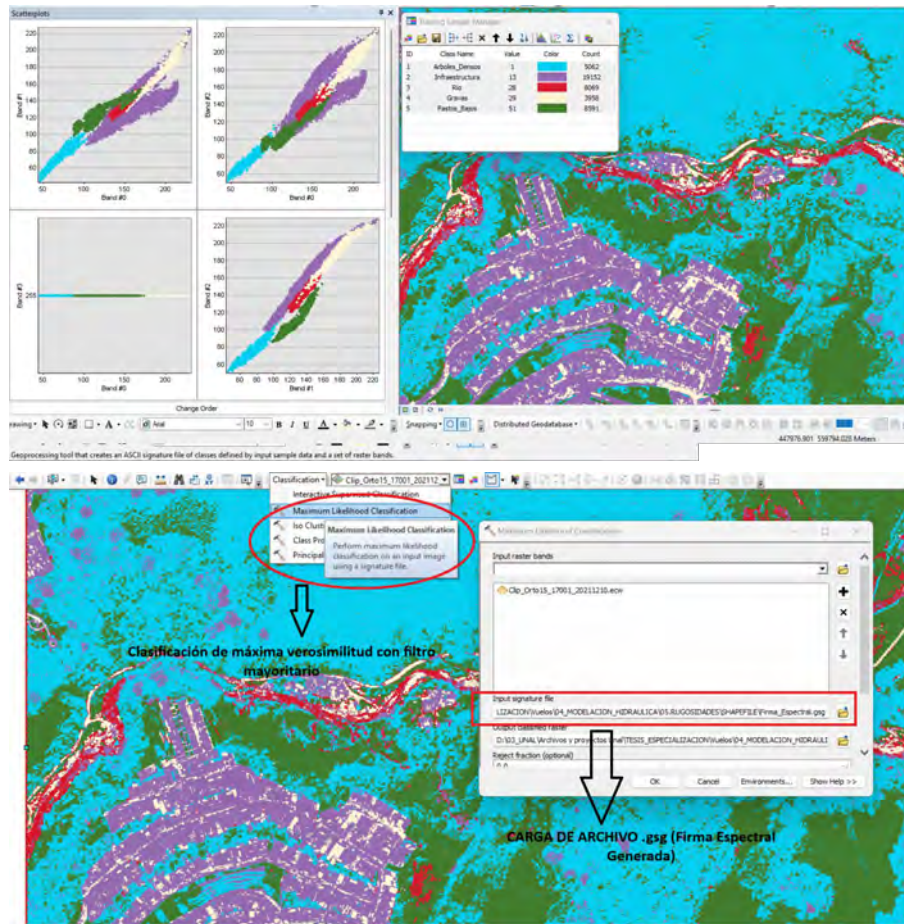
```
# Signatures Produced by ClassSig from
# Class-Grid __1000001
# and Stack __1000000

# Number of selected grids
/*
4
# Layer-Number Band-name
/*
1 xd6ba73d9_0cd3_4869_bf4f_93f160b4dda8y0.af\rBand #0
2 xd6ba73d9_0cd3_4869_bf4f_93f160b4dda8y0.af\rBand #1
3 xd6ba73d9_0cd3_4869_bf4f_93f160b4dda8y0.af\rBand #2
4 xd6ba73d9_0cd3_4869_bf4f_93f160b4dda8y0.af\rBand #3

# Type Number of Classes Number of Layers Number of Parametric Layers
# 1 5 4 4
# =====
# Class ID Number of Cells Class Name
# 1 5064 Arboles_Densos
# Layers 1 2 3 4
# Means
7.304720e+01 7.595774e+01 7.731813e+01 2.550000e+02
# Covariance
1 1.500391e+02 1.352167e+02 1.201841e+02 0.000000e+00
2 1.352167e+02 1.344703e+02 1.128892e+02 0.000000e+00
3 1.201841e+02 1.128892e+02 1.043264e+02 -2.943149e-12
4 0.000000e+00 0.000000e+00 -2.943149e-12 0.000000e+00
# -----
# Class ID Number of Cells Class Name
# 2 19171 Infraestructura
# Layers 1 2 3 4
# Means
1.578193e+02 1.359789e+02 1.541674e+02 2.550000e+02
# Covariance
1 5.269580e+02 3.445886e+02 3.566790e+02 -6.218534e-12
2 3.445886e+02 3.898024e+02 4.550673e+02 0.000000e+00
3 3.566790e+02 4.550673e+02 5.583981e+02 0.000000e+00
4 -6.218534e-12 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
# -----
```

**Figura 27:** Firmas Espectrales generadas

*Fuente: Propia*



**Figura 28:** Distribución de firmas RGB y clasificación de máxima verosimilitud con filtro mayoritario  
*Fuente: Propia*

## 7. Resultados Esperados

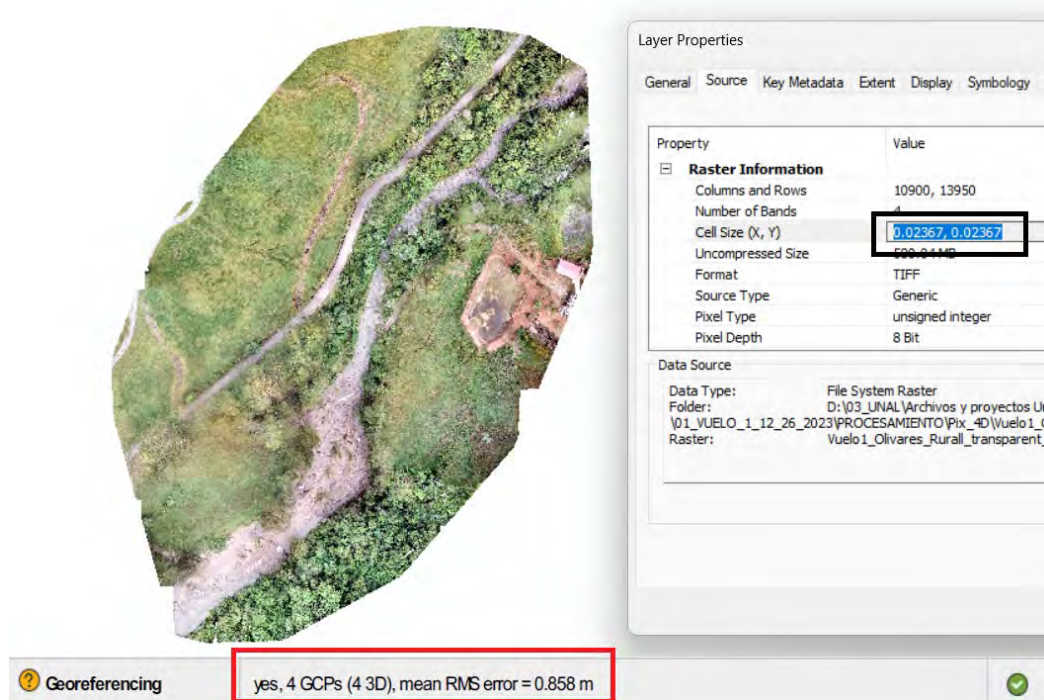
Para los resultados esperados de este proyecto, se establece el modelo de medición de grupos de investigación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Min Ciencias, 2021) teniendo en cuenta la tipología de productos de investigación.

## 7.1. Ortofotos y modelos digitales:

Para cada uno de los vuelos los procesamientos de la información se realizaron en diferentes plataformas (Agisoft, Pix4D, ArcGIS, Global Mapper), estas permitieron obtener resultados satisfactorios en cada proceso. Se obtuvieron imágenes ajustadas ortométricamente y de resoluciones por debajo del 1pxl/Cm.

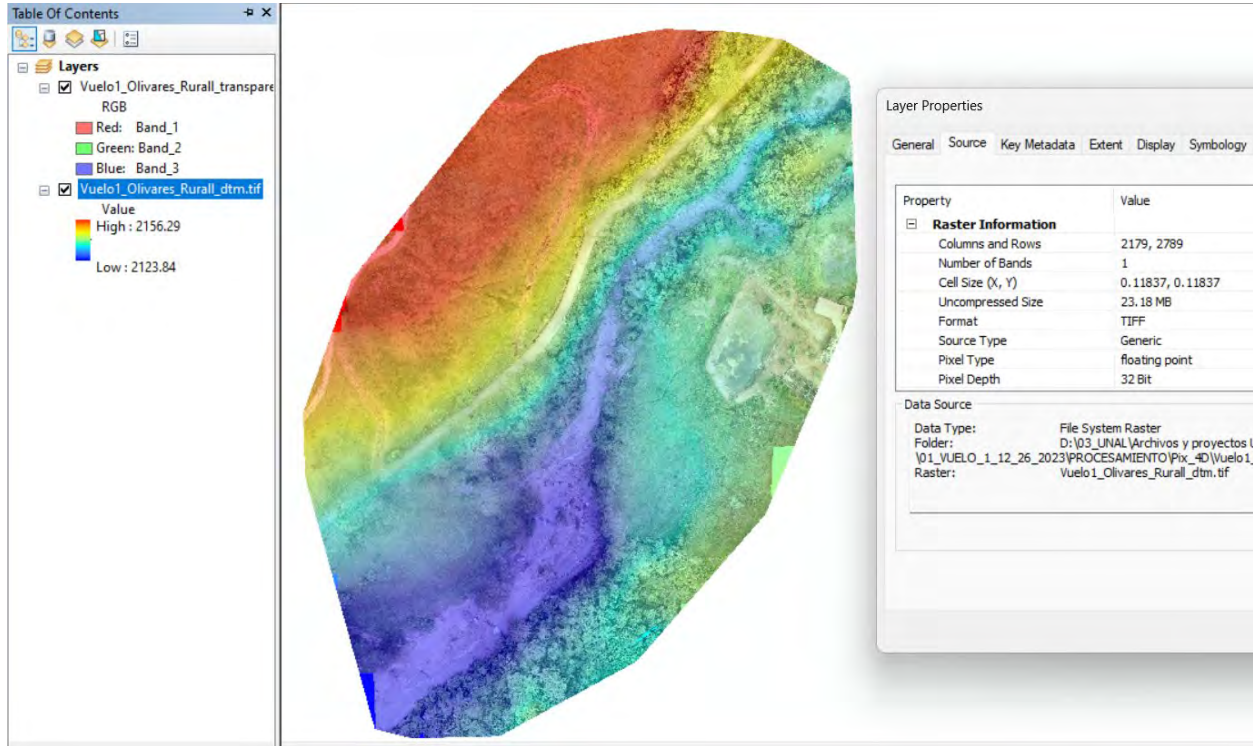
### VUELO 1:

Se obtiene ortofoto con tamaño de pixel de 0.02Cm/Pxl, con un RMSE = 0.8 en georreferenciación, lo cual indica que al ser cercano a cero evidencia una confiabilidad de los datos (Figura 29)



**Figura 29:** Ortofoto generada y error cuadrático  
**Fuente:** Propia

El DTM generado para la modelación hidráulica en este sector, presenta una resolución de 0.1Cm/Pxl. Este modelo digital se encuentra ajustado ortométricamente (Figura 30).



**Figura 30:** DTM generado y ajustado.  
**Fuente:** Propia

El ajuste topográfico en X y Y presenta error de 1m y en Z presenta uno de 0.3m Relación Ajuste automático Vs Control de campo manual. El ajuste se muestra en reporte de calidad del procesamiento en el apartado puntos de control del terreno (GCP ó Ground Control Points); el cual corresponde a un punto específico cuyas coordenadas son conocidas y medidas con métodos topográficos convencionales, GPS o LiDAR (Figura 31)

## Geolocation Details

### Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
14 (3D)	0.020/0.020	-0.532	0.544	0.092	1.255	13 / 13
15 (3D)	0.020/0.020	-0.251	-0.633	0.207	2.103	16 / 16
16 (3D)	0.020/0.020	1.846	1.645	0.436	2.252	14 / 14
17 (3D)	0.020/0.020	-1.181	-1.749	0.521	1.834	8 / 8
Mean [m]		-0.029659	-0.048220	0.314105		
Sigma [m]		1.134033	1.270134	0.172292		
RMS Error [m]		1.134421	1.271049	0.358255		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

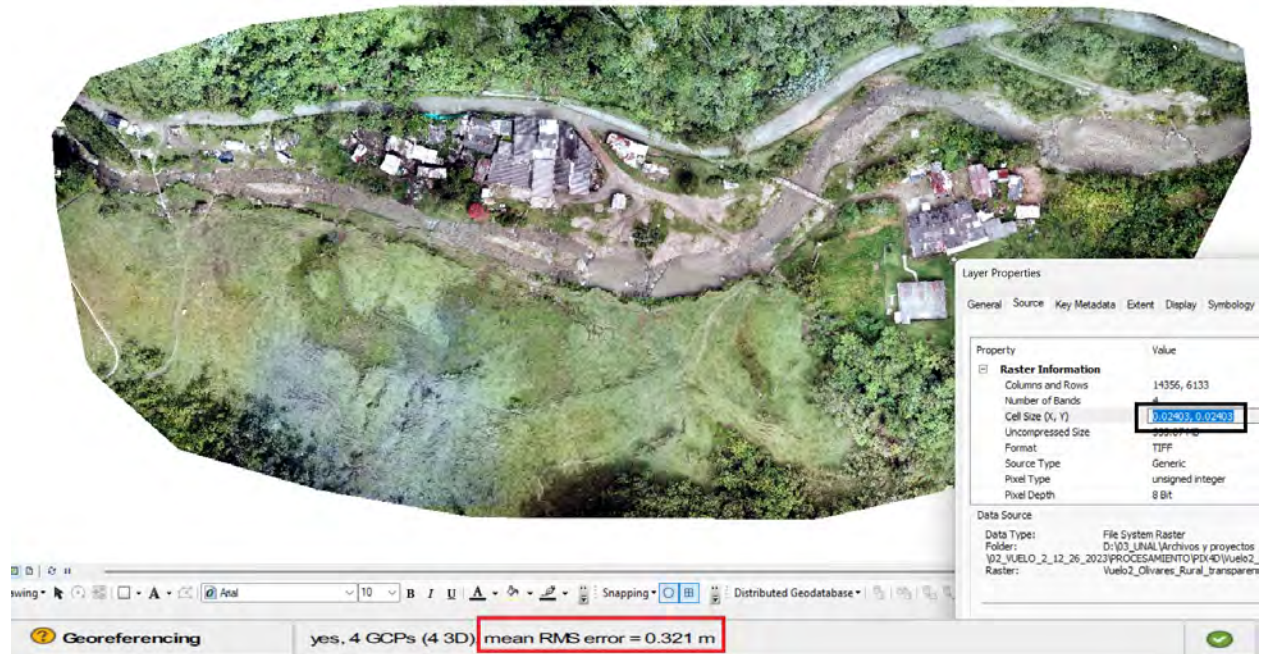
**Figura 31:** Error Topográfico con puntos de control en campo  
**Fuente:** Reporte de calidad Pix4D

### VUELO 2:

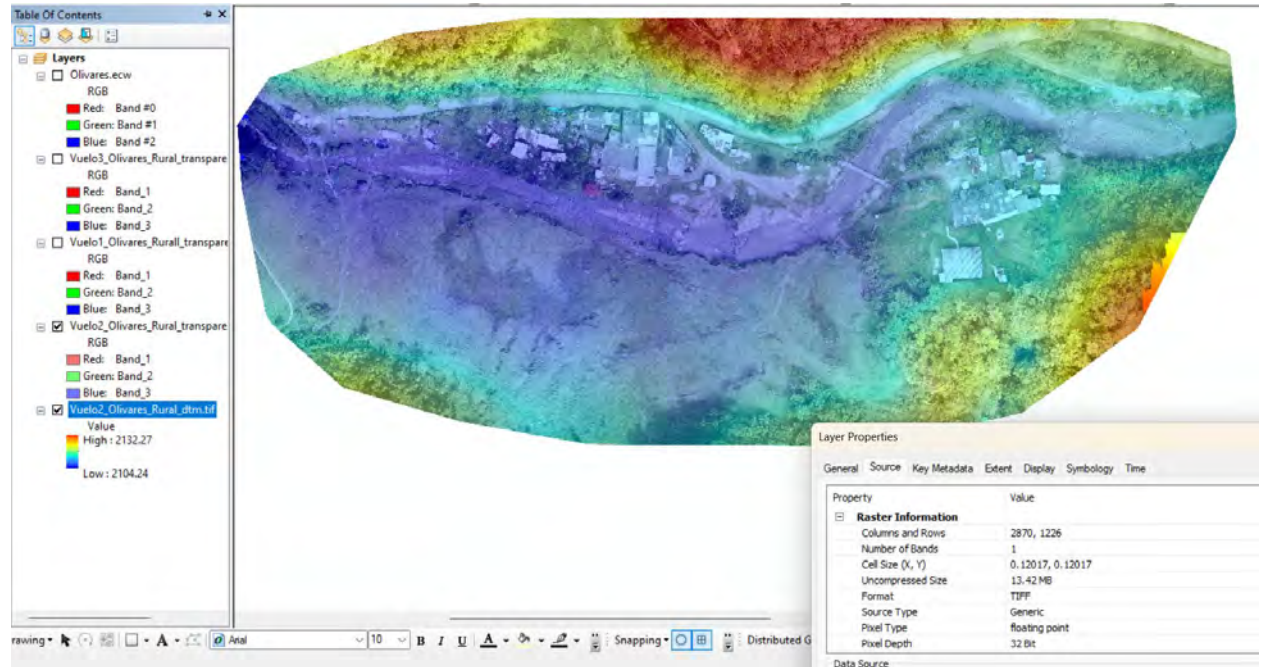
Se obtiene ortofoto con tamaño de pixel de 0.02Cm/Pxl, con un RMSE = 0.3 en georreferenciación, lo cual indica que al ser cercano a cero evidencia una confiabilidad de los datos (Figura 32)

El DTM generado para la modelación hidráulica en este sector, presenta una resolución de 0.1Cm/Pxl. Este modelo digital se encuentra ajustado ortométricamente (Figura 33).

El ajuste topográfico en X y Y presenta error de 0.4m y en Z presenta uno de 0.09m Relación Ajuste automático Vs Control de campo manual. El ajuste se muestra en reporte de calidad del procesamiento en el apartado puntos de control del terreno (GCP ó Ground Control Points); el cual corresponde a un punto específico cuyas coordenadas son conocidas y medidas con métodos topográficos convencionales, GPS o LiDAR (Figura 34)



*Figura 32: Ortofoto generada y error cuadrático.  
Fuente: Propia*



*Figura 33: DTM generado y ajustado.  
Fuente: Propia*

Ground Control Points

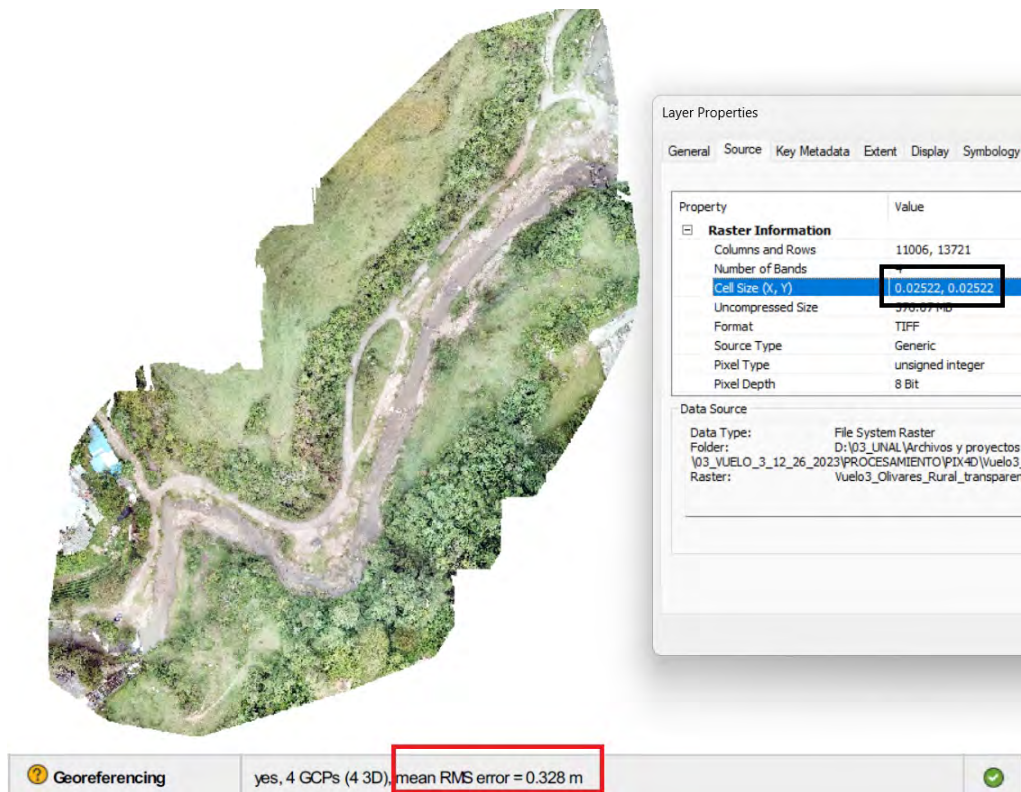
GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
18 (3D)	0.020/ 0.020	0.519	0.508	-0.124	1.371	16 / 16
19 (3D)	0.020/ 0.020	0.272	-0.665	0.153	1.334	8 / 8
20 (3D)	0.020/ 0.020	-0.211	0.315	-0.013	1.103	9 / 9
21 (3D)	0.020/ 0.020	-0.509	-0.243	0.001	1.175	16 / 16
Mean [m]		0.017789	-0.021088	0.004150		
Sigma [m]		0.401885	0.462728	0.098533		
RMS Error [m]		0.402278	0.463208	0.098621		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

**Figura 34:** Error Topográfico con puntos de control en campo.  
Fuente: Propia

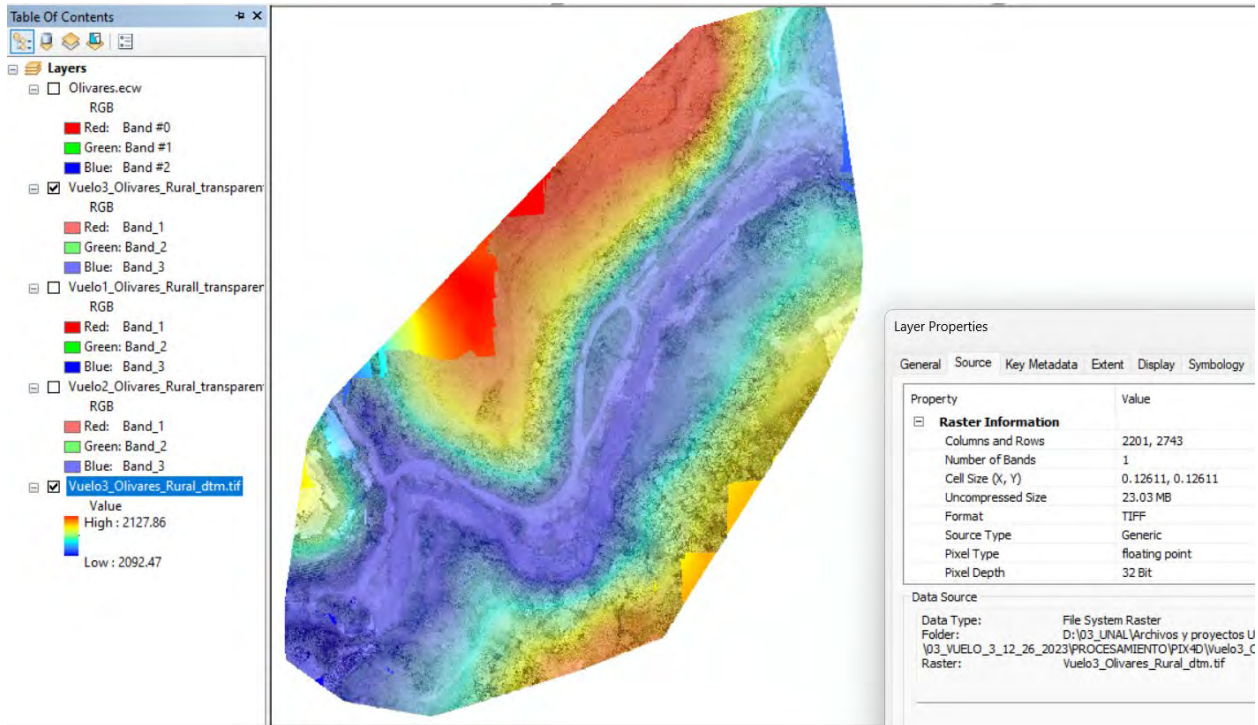
VUELO 3:

Se obtiene ortofoto con tamaño de pixel de 0.02Cm/Pxl, con un RMSE = 0.3 en georreferenciación, lo cual indica que al ser cercano a cero evidencia una confiabilidad de los datos (Figura 35)



**Figura 35:** Ortofoto generada y error cuadrático.  
**Fuente:** Propia

El DTM generado para la modelación hidráulica en este sector, presenta una resolución de 0.1Cm/Pxl. Este modelo digital se encuentra ajustado ortométricamente (Figura 36).



**Figura 36:** DTM generado y ajustado  
**Fuente:** Propia

El ajuste topográfico en X y Y presenta error de 0.3m y en Z presenta uno de 0.3m Relación Ajuste automático Vs Control de campo manual. El ajuste se muestra en reporte de calidad del procesamiento en el apartado puntos de control del terreno (GCP ó Ground Control Points); el cual corresponde a un punto específico cuyas coordenadas son conocidas y medidas con métodos topográficos convencionales, GPS o LiDAR (Figura 37)

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
22 (3D)	0.020/ 0.020	0.503	0.454	0.689	1.298	10 / 10
23 (3D)	0.020/ 0.020	-0.488	-0.239	-0.175	1.207	20 / 20
25 (3D)	0.020/ 0.020	-0.088	0.141	-0.011	1.171	17 / 17
26 (3D)	0.020/ 0.020	0.237	-0.214	0.017	1.212	20 / 20
<b>Mean [m]</b>		0.040918	0.035422	0.130125		
<b>Sigma [m]</b>		0.370016	0.284638	0.331201		
<b>RMS Error [m]</b>		0.372272	0.286834	0.355847		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

*Figura 37: Error Topográfico con puntos de control en campo.  
Fuente: Propia*

## 7.2. MDT para modelación

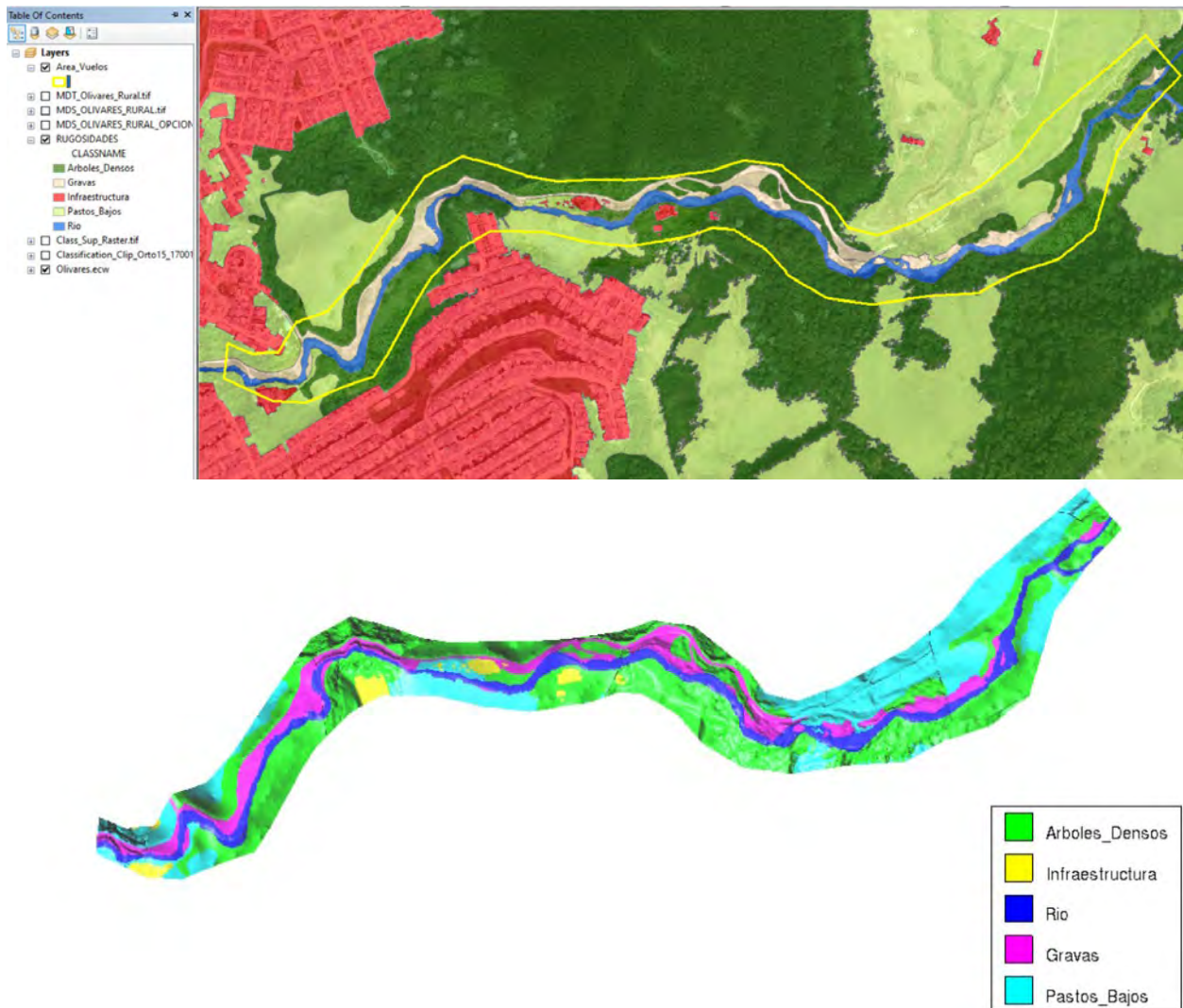
Con los datos anteriores se hace reconstrucción sectorizada de un MDT funcional para ejecutar modelos hidrológicos y demás posibilidades de procesamiento morfométrico. El modelo se genera en un área aproximada de 21.9Ha reconstruido por 3 sectores específicos, los cuales se eligieron por su importancia socio-económica, ya que hay interacción minera y centros poblados (Figura 38).



*Figura 38: MDT definitivo, 0.1Cm/Pxl  
Fuente: Propia*

### 7.3. Mapa Rugosidades

Otro de los insumos obtenidos y requeridos para poner en marcha una modelación, es el mapa de rugosidades, este resulta de reclasificar y vectorizar la clasificación supervisada con máxima verosimilitud y filtro mayoritario de la ortofoto obtenida. (Figura 39)



*Figura 39: Rugosidades modelo hidrológico  
Fuente: Propia*

## 7.4. Modelación Hidráulica

Ya con los insumos necesarios, se procede a realizar modelación hidráulica en el software IBER, se definen parámetros de modelación para un periodo de retorno de 100 años con un caudal de 569.76 m<sup>3</sup>/Seg. La modelación se hace para 3600 seg, obteniendo resultados de profundidad, descarga de agua, velocidad de flujo y cota de inundación.

*Modelo de profundidad o calado:*

Presenta un intervalo entre los 0.01 y lo 8.3m de profundidad, Las áreas de mayor profundidad se presentan en el lecho central del río, sin embargo se observan zonas donde el calado llega casi a su máximo valor, mayormente en zonas encañonadas o con intervenciones.



**Figura 40:** Modelo de profundidad  
**Fuente:** Propia

*Modelo de descarga de agua o caudal ( $m^2/Seg$ ):*

Se observa un caudal máximo de  $49.69 m^2/seg$ , mayormente observado en su lecho principal, hacia sus zonas inundables alcanza un máximo de  $15m^2/Seg$  y un mínimo de  $0.0003m^2/Seg$



**Figura 41: Modelo de Caudales máximos y mínimos**  
**Fuente: Propia**

*Modelo de velocidad (m/Seg):*

El modelo arroja velocidades máximas de  $12.2m/Seg$ , en las partes distales y/o inundables se alcanzan velocidades máximas de  $11.4m/Seg$ . Está es una zona específica la cual actualmente es intervenida por mineros locales.



**Figura 42:** Modelo de velocidades máximas y mínimas  
**Fuente:** Propia

*Modelo de cota máxima (m):*

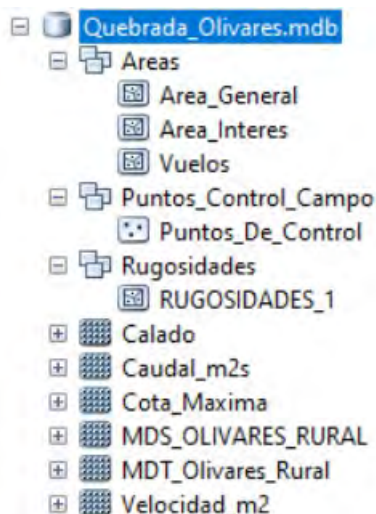
Se observa una cota máxima de 2127.74m, es denominada la cota de inundación o desbordamiento. Esta se tiene en cuenta como referencia para alertar de una inminente inundación.



**Figura 43:** Modelo de cota maxima de agua  
**Fuente:** Propia

## 7.5. Geodatabase:

Al tener finalizados todos los modelos e insumos requeridos para el mismo, se procede a la construcción de una GDB que contenga toda la información anteriormente descrita. Esta se encuentra georreferenciada en el sistema internacional WGS 84 Zona 18N, para efectos de compatibilidad con cualquier tipo de software SIG.



**Figura 44:** Base de datos espacial generada  
*Fuente: Propia*

Con todos los insumos desarrollados ya pueden definirse los hechos concretos que pueden ser cuantificables, con el fin de conocer la veracidad y efectividad del uso de los recursos anteriormente desarrollados. Para ello se presenta la siguiente relación de resultados

**Tabla 1.** Relación de resultados esperados

Objetivos	Resultados / Producto Esperado	Indicador / N° de informes generados	Beneficiario
Compilar y analizar modelos anteriormente desarrollados para estimar el volumen de información existente en el sector.	Banco de información relevante	1	Entidades académicas de apoyo para el desarrollo del proyecto
	Reducción de incertidumbre en metodologías de desarrollo	3	
	Diferentes aplicabilidades de modelos base	2	
	Actualización de información existente	2	
	Insumos utilizados en los desarrollos de modelos posteriores	3	

	Implementación de diferentes herramientas SIG	6	
Comparar la información obtenida en términos de calidad, escala y localización.	Desarrollo de insumos digitales de utilidad para trabajos futuros	2	Entidades académicas de apoyo para el desarrollo del proyecto y comunidad
	Insumos Tecnológicos utilizados	3	
	Modelos existentes	1	
	Participación ciudadana	5	
Programar vuelos con RPAS sectorizados a una misma altura, para la obtención de fotografías aéreas que faciliten la construcción del modelo.	Estrategias para POMCA y POT	2	Entidades públicas tales como alcaldías y corporaciones autónomas para complementos de estudios ambientales
	Metodologías correctas en términos de normativa y legalidad.	2	
	Términos de referencia en trabajos de consultorías y asesorías ingenieriles.	1	
Elaboración de una GDB que contenga información ortofotogramétrica previamente procesada y georreferenciada.	Base de datos organizada, estructurada y actualizada	1	Instituciones académicas de nivel superior y entidades gubernamentales
	Información de calidad complementada.	2	
	Insumos de utilidad para proyectos futuros	2	
	Generación de contenidos digitales	1	
Obtener un MDT (Modelo digital del terreno) unificado a lo largo del sector urbano de la quebrada olivares, que sirva para procesamiento de información hídrica, hidráulica y de superficie en general.	Modelo Digital de Elevación	1	Entidades públicas, privadas y comunidad en general
	Modelo Digital de Terreno	1	
	Ortofoto del sector	1	
	Zonas vulnerables	-	
	Talleres de riesgos y desastres	1	

**Tabla 2.** Tipología de productos de investigación

Productos	Subtipo de producto
<i>Productos resultados de actividad de generación de nuevo conocimiento</i>	Artículo
	Metodologías
	Aplicaciones
	Productos para modelación
	Actualización
<i>Productos resultados de actividades de desarrollo tecnológico e innovación</i>	Insumos para ingeniería y control
	Herramientas SIG
	Insumos digitales
	Insumos Tecnológicos
	Desarrollo

	Aplicación de la norma
	Insumo apto para consultoría y asesoría científica
<i>Productos resultados de actividades de apropiación social del conocimiento</i>	Participación ciudadana, espacios de participación ciudadana
	Estrategia para POMCA y POT
	Generación de contenidos digitales
	Talleres de riesgos y desastres por inundación
<i>Productos de formación del recurso humano</i>	Trabajo de grado de especialización
	Proyectos de investigación y desarrollo
	Proyectos de extensión Universidad Nacional – IDEA Manizales

## 8. Impactos Esperados

Los impactos esperados del proyecto se han construido a partir de los resultados esperados en relación a la matriz de involucrados.

**Tabla 3.** Relación de Impactos Esperados

Impacto Esperado	Plazo (Años después de finalizado el proyecto: Corto (1 - 4), mediano (5 - 9), largo (10 o más))	Indicador Verificable	Supuestos
Académico y científico	Corto plazo, entre 1 y 4 años	Relación de artículos científicos Actualización de datos reales Metodologías de implementación	Recopilación de la información existente desde el comienzo de los estudios de interés.
Social	Largo plazo, de 10 años o más	Talleres de riesgos y desastres Socialización de trabajos previos y actuales	Socialización con la comunidad de la dinámica fluvial, sus riesgos y posibles zonas de afectación por un periodo prudencial.

		Posibles sectores de reubicación	
Económico.	Corto plazo, entre 1 y 4 años	Impacto ambiental	Exposición ante la comunidad y entidades de los riesgos de extracción y beneficio económico del sector durante periodos de tiempo considerables.
		Extracción de material	
		Zonas de protección	

## 9. Conclusiones

- La fotogrametría con drones es una técnica profesional de bajo costo y efectiva que sirve para la actualización y generación de modelos digitales y ortofotos a detalle.
- La implementación de los software libres también arrojan resultados de alta confiabilidad.
- El ajuste ortométrico es fundamental en la corrección de toma de datos en campo con gps de mano o convencional.
- La definición de parámetros previos a vuelos con drones es fundamental para la obtención de imágenes de calidad. Implementar traslapos superiores a 75% mejora altamente la efectividad del producto.
- El volumen de polígonos de entrenamiento a una escala de pixel reduce significativamente la incertidumbre de en la extracción de firmas espectrales.
- La actualización constate en zonas de intervención minera permite un control y un monitoreo de las buenas practicas.

- Definir las rugosidades a partir de firmas espectrales sobre la ortofoto resulta ser una práctica muy precisa y efectiva.
- Los sectores poblados se encuentran en alto riesgo por inundación. Los modelos predictivos revelan que se encuentran en lugares donde se presentan caudales considerables con velocidades importantes.
- La pendiente de la cuenca en el cauce principal y las zonas de valles estrechos, influyen en la velocidad y represamiento, respectivamente.
- Las zonas con intervenciones mineras afectan de manera importante el cauce del río, en los modelos se observan lugares en donde coincide con altos valores de calado y cauce.

## 10. Referencias

- Agudelo - Otálora, M., Moscoso - Barrera, W. D., Paipa - Galeano, L. A., & Mesa - Sciarrota, C. (2018). Comparación de modelos físicos y de inteligencia artificial para predicción de niveles de inundación. *Tecnología y ciencias del agua*.
- Arévalo - Vera, B., Batona - Ibañez, E., & Ricón - Parada, I. K. (2015). Metodología para documentación 3D utilizando fotogrametría digital. *Tecnura*.
- Arias - Pérez, B., Cuadrado - Mendez, O., Quintallana, P., Gómez, L. J., & González - Aguilera, D. (2014). Calibrating a photogrammetric digital frame sensor a test field. *DYNA (Colombia)*.
- Blanco - Pérez, M. (2020). Fotografía aérea con tecnología dron. Tipología y aplicaciones. *Discursos Fotográficos*.
- Blöschl, G., & Sivapalan, M. (1995). Scale issues in hydrological modelling: A review. *Hydrological Processes*, 251 - 290.

- Capachero - Martinez, C., Garcia - Reinoso, P. L., & Obregón - Neira, N. (2015). ANÁLISIS DE LA EXACTITUD DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO SRTM-30 PARA COLOMBIA USANDO DATOS IGAC E IDEAM. *Revista de Investigaciones - Universidad del Quindío*.
- Cárdenas - Quiroga, E. A., Morales - Martín, L. Y., & Ussa - Caycedo , A. (2015). La estereoscopia, métodos y aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento\*. *Revista Científica General José María Córdova*.
- Cernuda - Rodriguez , S. (2014). Métodos visuales para la evaluación de la calidad de un modelo digital de terreno. *Revista Cartográfica 90*.
- Claros - Zelaya , R. A., Guevara - Aguilar, A. E., & Pacas - Cruz, N. R. (2016). *APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA AÉREA EN LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS*. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.
- De Castro - Martinez, G. F., Vázquez - Selem, L., Palacio - Prieto, J. L., Peralta - Higuera , A., & García - Romero , A. (2018). Geomorfometría y cálculo de erosión hídrica en diferentes litologías a través de fotogrametría digital con drones. *Investigaciones Geográficas • Instituto de Geografía • UNAM*.
- De Eugenio, A., Landa, A., & Merino - De Miguel, S. (2018). 3D Models from terrestrial photogrammetry in the stimation of forest inventory variables. *Teledetección*.
- Escalante - Torrado , O. J., Cáceres - Jimenez , J. J., & Porras - Diaz, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Tecnura*.
- Escalante Nieto, J. A. (2018). *IGAC*. Bogota: Instituto Geografico Agustin Codazzi.
- Frnaco - Idarraga, F. (2019). *RESUMEN DIAGNÓSTICO DE LA QUEBRADA OLIVARES-MINITAS CON MIRAS A SU RECUPERACIÓN Y DISFRUTE POR PARTE DE LOS HABITANTES DE LA CIUDAD DE MANIZALES*. Manizales - Caldas: Universidad Nacional de Colombia - IDEA Manizales.
- Geografía, I. N. (6 de Febrero de 2020). *INEGI*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>
- Gnouma , R. (2006). An Automatic Optimization Technique for the Calibration of a Physically Based Hydrological Rainfall-Runoff Model. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 64.

- Gómez - Zurdo, R. S., Martín, D., Gonzalez - Rodrigo, D., Marchamolo - Sacristán, M., & Martínez - Marín, R. (2021). Aplicación de la fotogrametría con drones al control de deformacional de estructuras y terreno. *Informes de la Construcción*.
- Gutiérrez, J., Parreño, I., & López - Salazar, R. M. (2020). Tiempo de fotogrametría. Una propuesta de clasificación para el levantamiento fotogramétrico. *Revista de expresión gráfica en la edificación*.
- IDEAM. (2018). *PROTOCOLO DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA*. Bogotá: IDEAM.
- Kleinschmidt, J. (2015). Drones y el orden legal internacional. Tecnología, estrategia y largas cadenas de acción. *Revistas UNIANDES*.
- Kolakovič , S., Fabian , J., Jeftenič., & Trajkovič. (2021). River floodplain 1D/2D hydraulic modeling combined with recent Lidar DTM technology. *Tehnički Vjesnik*.
- Lalangui - Jaramillo, J. Y., & Zárate - Torres , A. B. (2020). Evaluación de modelo digital de terreno obtenido mediante técnicas de fotogrametría con VANT y con técnicas GNSS aplicados a proyectos viales en zonas de mediana vegetación. *Avances. Investigación en ingeniería*.
- Mayorga - Arias, D., Pasos - Roldán, V. H., & Uvidia - Vélez, M. V. (2019). Sistemas de información geográfica aplicados a la topografía. *Opuntia Brava* .
- Najes, L., Ollero, A., & Sanchez - Fabre, M. (2019). Evolución y dinámica geomorfológica actual del río Ebro en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos (Zaragoza). *Cuaternario y Geomorfología*.
- Obregón. (2017). *Modelación para las ERA's*.
- Ochoa - Arias, P., & Delgado - Pinos, O. A. (2020). Modelo de registro fotogramétrico 2D y 3D del patrimonio edificado de Cuenca. *UNIVERSITAS* .
- Pérez - Brugal, A., Dorta - Armaignac, A., & Marrero de León, N. (2010). El coeficiente de Manning y el cambio de precisión de los MDT en la simulación hidráulica. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*.
- Pérez - Sanchez, H. A., Benítez -Rendón, E. U., & Díaz - Rodríguez , M. (2017). SISTEMA DE GEOREFERENCIADO DE IMÁGENES CON DRONES. *Ra Ximhai*.
- Puricelli, M. (2003). *Estimación y distribución de parámetros del suelo para la modelación hidrológica*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

- Rivera - Rodriguez, J. C. (2017). LOS DRONES: UNA ALTERNATIVA PARA EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA EN COLOMBIA. *Revista Inventum*.
- Rodriguez - González, J. L., Alarcón, J. J., & Espejo - Torres, E. D. (2020). CARTOGRAFÍA CON DRONES (VANT'S). *Editorial UPTC*.
- Rong, Y., Zhang, T., Zheng, Y., Hu, C., Peng, L., & Feng, P. (2020). Three - Dimensional urban flood inundation simulation based on digital aerial photogrammetry. *Journal of Hydrology*.
- Salinas - Castillo, W. E., Paredes - Hernández, C. U., Martínez - Becerra, X., & Guevara - Cortina, F. (2013). Evaluación de la exactitud posicional vertical de una nube de puntos topográficos lidar usando topografía convencional como referencia. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*.
- Santos - Cerquera, C., & Rodriguez - Caamaño, H. (2019). Modelando la inundación pluvial por escurrimiento superficial urbano y de la cuenca en la Ciudad de México. *REVISTA UD Y LA GEOMÁTICA*.
- Sarría, F. A. (2006). *Sistemas de Información Geográfica*. Murcia: SIGMUR. SIG y Teledetección en la Universidad de Murcia.
- SIGMUR. (s.f.). *SIG y Teledetección en la Universidad de Murcia*. Obtenido de Universidad de Murcia: [https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario\\_7.pdf](https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_7.pdf)
- Souto - Vidal, M., Sanz, J., & Docampo, M. (2015). Implementación del levantamiento eficiente de fachadas mediante fotogrametría digital automatizada y el uso de software gratuito. *Informes de la Construcción*.
- Sppawimut, w. (2021). GIS - Based flood Susceptibility Mapping Using Statistical Index and Weighting Factor Models. *Environment and Natrual Resources Journal*.
- UPTC. (s.f.). *Libros acceso abierto*. Obtenido de <https://librosaccesoabierto.uptc.edu.co/index.php/editorial-uptc/catalog/download/181/219/4173?inline=1>
- Valle - Martinez, Y., & Ortiz - Rojas, J. (2011). Sistemas de Información. Representación de Superficies de Terrenos para su Visualización en Tres Dimensiones. *Ciencias de la Información*.