

**CÁLCULO DE VOLUMEN DE MATERIAL DE EXPLOTACIÓN Y DE  
RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS  
AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).**

**JUAN SEBASTIAN VALDERRAMA SABOGAL  
DANIEL ARTURO MENDEZ MORENO**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
TECNOLOGÍA EN CARTOGRAFÍA  
FUSAGASUGÁ  
OCTUBRE 2017**

**CÁLCULO DE VOLUMEN DE MATERIAL DE EXPLOTACIÓN Y DE  
RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS  
AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).**

**JUAN SEBASTIAN VALDERRRAMA SABOGAL  
DANIEL ARTURO MENDEZ MORENO**

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR  
EL TÍTULO DE “TECNÓLOGO EN CARTOGRAFÍA”**

**DIRECTORA DE PROYECTO  
YURI LORENA BECERRA MARTINEZ  
Ingeniera Topográfica  
Esp. en SIG**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
TECNOLOGÍA EN CARTOGRAFÍA  
FUSAGASUGÁ  
NOVIEMBRE 2017**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

YURI LORENA BECERRA MARTINEZ  
Director de proyecto

---

ADRIAN ALEJANDRO GONZÁLEZ  
Jurado

---

SOCRATES CARDONA GIRALDO  
Jurado

## ***DEDICATORIA***

Este proyecto de grado es el reflejo de las ambiciones y del inicio de mis metas propuestas, y del conocimiento adquirido durante todo este tiempo de estudios que con esfuerzos y esmero veré hecho realidad.

Este triunfo se lo dedico a mis padres, Juan Carlos y Yolanda quienes con sus consejos me hacían entender la importancia del camino que estoy cruzando.

JUAN SEBASTIAN VALDERRRAMA SABOGAL

DANIEL ARTURO MENDEZ MORENO

## ***AGRADECIMIENTOS***

Este trabajo de investigación que arrojó el resultado del esfuerzo conjunto de los que formamos el grupo de trabajo, queremos agradecer a nuestra directora de tesis Yuri Lorena Becerra Martínez, Ingeniera topográfica y docente de la Universidad de Cundinamarca. A nuestros padres, profesores y compañeros, quienes a lo largo de este tiempo han apoyado con sus capacidades y conocimientos en el desarrollo de este nuevo proyecto; el cual ha finalizado llenando todas nuestras expectativas. A nuestros padres, quienes a lo largo de toda nuestra vida académica han creído y apoyado, no dudando de nuestras habilidades. A los profesores a quienes les debemos gran parte de los conocimientos adquiridos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

JUAN SEBASTIAN VALDERRAMA SABOGAL

DANIEL ARTURO MENDEZ MORENO



CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
3. JUSTIFICACIÓN.....	21
4. OBJETIVOS.....	23
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	23
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
5. MARCO TEORICO.....	24
5.1. ESTADO DEL ARTE.....	24
5.2. DRONES EN MINERÍA.....	27
5.3. EVOLUCIÓN DE LOS CONCEPTOS LEGALES Y CONCEPTUALES.....	29
5.4. CONCEPTOS ALUSIVOS A LA INVESTIGACIÓN.....	34
5.4.1. Cartografía.....	34
5.4.2. Fotogrametría.....	35
5.4.3. Topografía.....	38
5.4.4. Geología.....	39
5.4.5. Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT).....	40
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	44
6.1. UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AGROCLIMATOLÓGICAS.....	44
6.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS.....	45
6.3. MÉTODO DE ANÁLISIS.....	47
7. INSTRUMENTOS EMPLEADOS.....	48
7.1. METODOLOGÍA.....	51
7.2. FASE 1. PLANIFICACIÓN DEL VUELO.....	52
7.2.1. GSD (Ground Sample Distance) deseado centímetro sobre pixel.....	53
7.2.2. Tipo de sensor.....	53
7.2.3. Definición de porcentaje de cubrimiento de imágenes (Traslapo).....	54



CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

7.2.4.	Análisis de riesgos y seguridad en tierra y otros usuarios del espacio aéreo .....	54
7.2.5.	Generación de automática del plan de vuelo; altura, líneas y tiempo de vuelo.....	56
7.2.6.	Definición de puntos de control en terreno (GSP), para el amarre del producto oficial y nivel de precisión requerida en X, Y y Z .....	59
7.2.7.	Método de triangulación de los puntos de control.....	61
7.3.	PROCESO 2. EJECUCIÓN DEL PLAN DE VUELO (ADQUISICIÓN DE DATOS)....	61
7.3.1.	Etapa 1. Definición de zona segura de lanzamiento y de aterrizaje con la misión de vuelo programada en el Drone .....	61
7.3.2.	Etapa 2. Ejecución del vuelo fotogramétrico autónomo (autopiloto).....	63
7.3.3.	Etapa 3: Seguimiento en vuelo y parámetros de control, nivel de batería, avance de tiempo de vuelo.	64
7.3.4.	Etapa 4. Correcta adquisición de imágenes geo codificadas.....	65
7.4.	PROCESO 2. PROCESAMIENTO DE DATOS DEL VUELO (OBTENCIÓN DE PRODUCTOS).....	66
7.4.1.	Almacenamiento de imágenes geo codificadas para el procesado inicial en el software.	66
7.4.2.	Generación de nube de puntos reconocimiento automático de pares entre imágenes en software de fotogrametría digital (área de triangulación) .....	70
7.4.3.	Implementación de las coordenadas GPS para la georreferenciación del modelo .....	71
7.4.4.	Reprocesamiento de la nube densa con los puntos GPS .....	75
7.4.5.	Generación de T.I.N (Malla de triángulos irregular).....	76
7.4.6.	Generación de la orto imagen rectificada.....	77
7.4.7.	Definición del área de influencia directa a trabajar dentro del título minero de la cantera el vínculo	78
8.	RECURSOS.....	80
8.1.	HUMANOS.....	80
8.2.	INSTITUCIONALES: FISICOS, LOGISTICOS Y/O TECNICOS.....	80
8.3.	ECONOMICOS.....	81
8.3.1.	Presupuesto.....	81
8.3.2.	Financiamiento .....	81
9.	RESULTADOS .....	82
9.1.	CALIDAD DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....	82



CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

9.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS RESULTADOS EXPRESADOS EN LOS ORTOMOSAICO. ....	84
9.3. DEFINICIÓN DE LOS POLIGONOS DE AFECTACIÓN.....	88
9.4. DEFINICIÓN POR ZONAS INDIVIDUALES. ....	91
9.5. RECONOCIMIENTO DE LA TRANSFORMACIÓN DE VOLÚMENES. ....	103
9.6. ESTADÍSTICAS TOTALES DE RELLENO Y DE EXTRACCIÓN.....	104
9.7. RECONOCIMIENTO DE LA TRANSFORMACION DE VOLÚMENES .....	105
9.8. RESULTADOS TOTALES.....	106
10. CONCLUSIONES.....	109
11. BIBLIOGRAFÍA.....	111

## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Tipos de aeronaves utilizadas en los AUV. Fuente. Grupo de robótica y cibernética universidad de Madrid. ....	41
Imagen 2. Clasificación según las capacidades de los Drone. Fuente. Grupo de robótica y cibernética universidad de Madrid. ....	42
Imagen 3. Clasificación según la máxima carga en el despegue. Fuente. Grupo de robótica y cibernética universidad de Madrid. ....	42
Imagen 4. Clasificación según el nivel de autonomía. Fuente. Grupo de robótica y cibernética universidad de Madrid. ....	42
Imagen 5. Ubicación de la cantera el Vínculo, municipio de Soacha. ....	44
Imagen 6. Drone cuadricoptero (Dji Phantom 3 4k) .....	46
Imagen 7. Detalle de la Estación Total, ubicada en el área de estudio. ....	46
Imagen 8. Diagrama de flujo para la metodología. ....	51
Imagen 9. Planificación de Vuelo con Pix4D capture en título minero. ....	52
Imagen 10. Ecuaciones para el control de la distancia del centímetro sobre el pixel. ....	53
Imagen 11. Información sobre el vuelo. ....	57
Imagen 12. Línea de vuelo en la aplicación Pix4Dcapture, Vuelo 1 Segmento 1. ....	57
Imagen 13. Línea de vuelo en la aplicación Pix4Dcapture, Vuelo 1. Segmento 2. ....	58
Imagen 14. Detalle de los valores en el Vuelo 1, Segmento 2. ....	58
Imagen 15. Detalle de los puntos GPS en campo. ....	61
Imagen 16. Zona segura de vuelo. ....	63
Imagen 17. Chequeo de los parámetros de vuelo. ....	64
Imagen 18. Avance y tiempo de vuelo. ....	65
Imagen 19. Verificación del metadato de las imágenes capturadas por el Drone. ....	66
Imagen 20. Detalle de la dirección para guardar el proyecto .....	67
Imagen 21. Detalle de las imágenes cargadas. ....	68
Imagen 22. Detalle de formato para el informe final. ....	69
Imagen 23. Línea de vuelo puntos rojos. ....	69
Imagen 24. Creación de la malla de puntos. ....	70
Imagen 25. Coincidencias entre fotografías. ....	71
Imagen 26. Herramienta GPS manager .....	71
Imagen 27. Coordenadas en formato txt. ....	72
Imagen 28. Importación de las coordenadas de georreferenciación. ....	72
Imagen 29. Configuración del Sistema de coordenadas. ....	73
Imagen 30. Corrección de la georreferenciación con los puntos de control en el terreno .....	74
Imagen 31. Nube de puntos geo referenciada. ....	75
Imagen 32. Creación de la malla densa de puntos. ....	76
Imagen 33. Malla de triángulos irregular .....	76



**CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).**

Imagen34. Modelo Digital de Superficie .....	77
Imagen 35.ortomosaico vuelo 3.....	78
Imagen36. Diferencia entre punto de control en 3 ortomosaicos. ....	83
Imagen37. Diferencias de coordenadas entre los ortomosaicos. ....	83
Imagen 38. Evidencia de transformaciones en la zona 1.....	93
Imagen 39. Evidencia de transformaciones en la zona 2.....	96
Imagen 40. Gráfica de volúmenes por zona 2 y vuelos.....	97
Imagen41. Evidencia de transformaciones en la zona 3.....	99
Imagen 42. Grafica de volúmenes por zona 3.....	99
Imagen43. Gráfica de volúmenes por zona 1 y vuelos.....	100
Imagen 44. Evidencia de transformaciones en la zona 4.....	101
Imagen 45. Gráfica de volúmenes por zona 4y vuelos.....	102
Imagen 46. Gráfica de volúmenes por zona 4.....	102
Imagen 47. Grafica para Material de Relleno.....	104
Imagen 48. Grafica para Material de extracción.....	104



**CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).**

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 2. Comparativa de las características del software fotogramétrico.....	50
Tabla 3. Características del sensor. ....	54
Tabla 4. Restricciones para minimizar riesgos.....	56
Tabla 5. Características de la zona 1. ....	93
Tabla 6. Características de la zona 2.....	96
Tabla 7. Características de la zona 3.....	99
Tabla 8. Características de la zona 4.....	101



**CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).**

**LISTA DE MAPAS**

Mapa 1. Puntos GPS para la georreferenciación de la cantera el Vínculo.....	60
Mapa 2. Ortomosaico base del primer vuelo .....	85
Mapa 3. Ortomosaico base del Segundo vuelo.....	86
Mapa 4. Ortomosaico base del tercer vuelo .....	87
Mapa 5. Zonas de afectación zona de afectación vuelo 1.....	88
Mapa 6. Zonas de afectación de vuelo 2 .....	89
Mapa 7. Zonas de afectación vuelo 3 .....	90
Mapa 8. Polígono de relleno zona 1 vuelo 1 .....	91
Mapa 9. Polígono de relleno zona 1 vuelo 2 .....	92
Mapa 10. Polígono de relleno zona 1 vuelo 3 .....	92
Mapa 11. Relleno zona 2 vuelo 1 .....	94
Mapa 12. Relleno zona 2 vuelo 2.....	95
Mapa 13. Relleno zona 2 vuelo 3.....	95
Mapa 14. Extracción zona 3 vuelo 1 .....	97
Mapa 15 Extracción zona 3 vuelo 2 .....	98
Mapa 16. Extracción zona 3 vuelo 3 .....	98
Mapa 17. Extracción zona 4 vuelo 1 .....	100
Mapa 18. Extracción zona 4 vuelo 2 .....	101
Mapa 19. Mapa de Perfiles por polígonos.....	103



CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

## RESUMEN

La Cartografía es una ciencia que con el transcurso de tiempo orienta esfuerzos para la recolección de datos en diferentes ámbitos de la geología, minería y topografía; la presente investigación se desarrolló con base en las innovaciones tecnológicas: vehículos aéreos no Tripulados (VANT), los cuales ofrecen herramientas y oportunidades para desarrollo sostenible.

En consecuencia, para el desarrollo de la misma se realizó un andamiaje teórico-conceptual, mediante la revisión de literatura consultada en libros, artículos de revistas, páginas web e informes, teniendo en cuenta que se cuenta con muy poca teoría sobre el tema. De la misma manera, se utilizó la herramienta de trabajo específicamente los (VANT) (*Phantom 3 pro 4k*), que permitió la ejecución de la investigación y posterior procesamiento de los datos obtenidos para la misma.

En los primeros capítulos se configuran los planteamientos previos y generales de todo trabajo de investigación, dando paso al marco teórico del proyecto el cual contiene la información conceptual y legal para la investigación y el estado del arte del uso de los *Drones* en cartografía, topografía y geología, en los siguientes capítulos, se encontrará la compilación de la metodología utilizada para la realización del proyecto, la cual comprende una descripción de los datos utilizados, la información recolectada en campo, las pruebas o vuelos y posteriormente el análisis global de los resultados, las conclusiones y bibliografía.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

Con la herramienta tecnológica del (*VANT*), se logró obtener resultados fiables y con estos se logró realizar un cálculo volumétrico de materiales de relleno y de explotación en la cantera “El vínculo”.

**Palabras clave: Cartografía, fotogrametría, Drones, Vehículos aéreos no Tripulados, geología, cálculo de volúmenes, Concesión Minera, GPS, sensor remoto.**



CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

**ABSTRACT**

Because Cartography is a tool that collects data in different areas of geology, mining and surveying every day. the present research will be developed based on modern technology: AUV Unmanned Aircraft, which offer tools and opportunities for sustainable development.

For development the following resources were available: First, the collection of data with academic information from books, web pages and reports since there is very little theory on the subject. According to the work tool specifically the Unmanned Aircraft AUV, which allowed the execution of the investigation and later processing of the data obtained for the same.

In the first chapters the previous and general approaches of all research work are configured to continue with the following ones containing a theoretical framework of the project. This contains the conceptual and legal information for the investigation, the state of the art of the use of the DRONES in cartography, topography and geology, the following chapters compile the methodology used to carry out the project, which includes a description of the data used, the information collected in the field, the tests or flights and then the overall analysis of the results, the conclusions and bibliography.

**Keywords: Cartography, photogrammetry, Drones, Unmanned aerial vehicles, geology, volume calculation, mining concession, GPS, remote sensor.**



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

### 1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al uso de los aviones no tripulados (*VANT/Drones*) en el campo de la minería, específicamente la explotación de materiales de construcción como el recebo y las gravas en canteras a cielo abierto.

En el desarrollo de los procesos mineros, es decir, la exploración y explotación de los materiales, quien concesiona el subsuelo a personas ya sean naturales o jurídicas es el Estado (Energía, 2011), ANM exige se cumplan las normas que regulan estos procesos, dentro de estas están los informes que se deben presentar a la autoridad minera y que son de obligatorio cumplimiento; estos informes deben incluir actualización de los terrenos, avances en la explotación, cálculo de los volúmenes explotados, etc., para cumplir con estos requisitos el operador minero realiza topografías convencionales periódicas que le implican mayores costos, tiempos prolongados de estudio y riesgos en la práctica de esta. (Energía, 2011)

En relación a lo anterior, para el uso de las nuevas tecnologías en la minería avanza, es necesario mejorar los procesos y disminuir costos humanos y económicos, por esta razón la presente investigación tiene un interés académico y profesional porque aporta conocimientos reales a la academia como también da a conocer a los operadores mineros las ventajas en el desarrollo de la topografía con la implementación de nuevas alternativas tecnológicas: (*VANT*); las cuales aportarán los datos en el cambio de las conformaciones morfológicas del terreno, su consecuente cálculo de volúmenes, aspectos como: registro fotográfico secuencial, delimitación y cálculo de áreas de reforestación, proyecciones de manejos ambientales, entre otras.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

En el marco de la teoría de (*VANT*), la investigación se realizó con una serie de prácticas de vuelo en la Cantera el Vínculo del municipio de Soacha, y una investigación teórica que abarcó el desarrollo del manual de vuelo del *Dron*, como también la teoría existente en libros, internet y documentos relacionado con el tema desarrollado.

El beneficio de esta investigación se demostró en los resultados del uso de la metodología, dando respuesta a los problemas que se presentan en las explotaciones mineras en la actualidad, refiriéndose a los costos, tiempo de realización y uso de los recursos humanos que implican las actualizaciones topográficas convencionales y que a partir de los (*VANT*) se constituye una herramienta económica, de fácil acceso y con una precisión aceptable.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

### 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La implementación de las nuevas tecnologías y descubrimientos del ser humano a través del tiempo han sido impulsadas y financiadas por las guerras, en el caso de las plataformas no tripuladas; las cuales aparecieron en 1849 en Australia, llevaban cargas explosivas que dejaron caer en Venecia, años más tarde, en la primera guerra mundial (1916) se desarrollaron tecnologías no tripuladas para guiar los misiles en los objetivos militares (Phantomlaw, 2016); la prosperidad industrial que trajo la segunda guerra mundial hizo avanzar a la industria aeronáutica en su diseño aerodinámico con el empleo de nuevos materiales. Los primeros (*VANT*) se usaban durante la guerra únicamente con el fin de adiestrar a las baterías antiaéreas y no fue hasta finales del siglo XX cuando las primeras unidades fueron gobernadas por radiocontrol, lo que amplió significativamente la utilidad de estos pequeños aviones; las fuerzas militares de los países buscaron con este sistema incrementar su rendimiento, aminorar costos y evitar la pérdida de vidas humanas. (Phantomlaw, 2016)

A estas tecnologías desarrolladas por la industria bélica a través del tiempo se les fue buscando aplicaciones civiles que redundaron en beneficio de la sociedad. Los (*VANT*) están siendo utilizados en la vigilancia aérea, captura de datos de inteligencia, seguridad de los países en las fronteras, en la agricultura, en la topografía, en la inspección de torres eléctricas o de patrimonio, en el sector audiovisual, en el envío de paquetes, como recreación, para abastecer *wifi* a todo el planeta, etc. (Austin, 2010)



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

El uso de los *Drones* en minería se ha extendido a nivel mundial como una buena práctica que ayuda entre otras cosas, a trabajar en todas las etapas del proyecto desde la prospección hasta la ejecución, permite planificar, monitorizar, controlar y hacer seguimiento de los trabajos en mina además ayuda a la medición del impacto ambiental.

Con base en la literatura, en Colombia, específicamente en el municipio de Soacha en la cantera “El Vínculo”, el proceso de desarrollo minero acorde con los requerimientos estatales pretende cumplir estos; además de presentar y justificar los avances en la explotación del recurso minero, periódicamente se debe actualizar la topografía del terreno con el fin de que se puedan evaluar los volúmenes extraídos, hacer el seguimiento a los movimientos de tierra. Para ello, es necesario determinar el método y las tecnologías de minería adecuadas para controlar, evaluar y analizar el proceso de explotación y así poder presentar los informes requeridos a la autoridad minera y ambiental; los recursos humanos (comisiones topográficas), los costos y el tiempo requerido para la ejecución de estas topografías que duran entre 15 y 20 días se convierte en ocasiones en situaciones que el operador minero no puede manejar, ya que se deben presentar cada seis (6) meses en los Formatos Básicos Mineros *FBM* incrementando los costos, aumentando el tiempo para presentar los informes, además de correr con los riesgos inherentes al proceso cuando se realiza de forma convencional.

**En conclusión**, a través de la aplicación y práctica de las nuevas tecnologías, específicamente los vuelos no tripulados (*VANT*), se disminuyen los tiempos de ejecución, los costos y riesgos, mejorando los procesos mineros, adoptando un método y una técnica



**CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).**

para obtener por medio de estos; resultados que pueden complementar la topografía convencional y así proporcionar un producto eficiente en la cantera “El Vínculo”.



### 3. JUSTIFICACIÓN

La importancia de este proceso investigativo radica en la actualización, innovación y optimización de los procesos de topografía clásica o convencional en las canteras a cielo abierto, específicamente la Cantera “El Vínculo” ubicada en el municipio de Soacha Cundinamarca, en la cual se implementó una metodología actual a través de los aviones no tripulados (*VANT*); contribuyendo a la toma de decisiones, replanteando los procesos mineros y solución de problemas específicos que se presentan a diario en la explotación minera.

La factibilidad en la aplicación de esta tecnología permite generar cartografía real en tiempo y espacio ya que con este sistema novedoso se realizan actividades como la exploración de la topografía y el relieve, con el fin de determinar el método y las tecnologías de minería adecuadas, la observación y prospección de operaciones, seguimiento de movimientos de tierra, residuos, balsas, etc., medición del volumen de las existencias de material, generación de un modelo digital del terreno para los propósitos de alineamiento de infraestructuras en proyectos de nueva extracción, visualización de redes hidrográficas del sitio, depósitos, apilamientos y otra información topográfica oculta, medir los volúmenes extraídos, las curvas de nivel, mapas para la asistencia en las fases de planificación y diseño de nuevos sitios de minería y sus infraestructuras, inspección aérea para producir conjuntos de datos altamente densos y precisos para su uso en la rehabilitación y actualización de minas así como en programas de mantenimiento. Estos datos se pueden enviar a múltiples herramientas de procesado y modelado para producir:

- Modelos Digitales de Terreno para análisis de amontonamientos y apilamientos y estimaciones de sobrecargas



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

- Mapas de contorno y curvas de nivel
- Fotografía ortorrectificada
- Cálculos volumétricos
- Análisis de aguas, sus líneas divisorias y drenajes
- Análisis de reservas amontonadas
- Detección e informes de subsidencias y movimientos del terreno
- Análisis de los impactos ecológicos de la explotación minera
- Inspección aérea del sitio minero con información detallada para su uso en mantenimiento y en detección de peligros
- Medición de Volumen
- Ortomosaicos *3D*
- Imágenes *RGB*

En consideración a la anterior, se es necesario generar esta investigación para el sector minero ya que en la minería se utilizan metodologías cuantitativas para el control periódico del recurso por este motivo se utilizó el (*VANT*) como una alternativa a implementar.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

### 4. OBJETIVOS

#### 4.1.OBJETIVO GENERAL

Calcular los volúmenes de explotación y relleno, en la cantera “El Vínculo”, utilizando nuevas tecnologías: (VANT), utilizando el (*Dron dji phantom 3 pro*).

#### 4.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar la secuencia temporal de imágenes mediante el uso de tecnologías de (VANT) referencia, (*Dron dji phantom 3 pro*)
- Generar el Modelo Digital de Elevación (*DEM*) a partir de la secuencia de imágenes que se obtienen del trabajo de campo realizado con (VANT).
- Evaluar los resultados obtenidos en el desarrollo de la metodología para el cálculo de volúmenes de la cantera “El Vínculo”.



## 5. MARCO TEORICO

En este capítulo se revisaron los elementos teóricos y conceptuales de la cartografía, fotogrametría, topografía y las tecnologías de los (VANT), también se elaboró el estado del arte, que enmarcan, los antecedentes que llevaron a la evolución de los mismos o (VANT) en el campo de la cartografía, topografía y minería, también se indagó sobre la situación actual del tema desarrollado los (VANT) y cuáles son los avances en esta materia, así mismo se consultaron las aplicaciones en ambientes civiles, industriales y comerciales, las técnicas o métodos de aplicación de esta tecnología.

### 5.1.ESTADO DEL ARTE

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT) son tecnologías, la cuales se han implementado desde mitad del siglo XVIII, más exactamente en el año de 1849 cuando los austriacos decidieron usar dicha herramienta con un fin militar a través de globos aerostáticos no tripulados, de modo que pudieran cumplir con su objetivo sin involucrar a personas para la realización y además obtener otro tipos de ventajas. En un principio la realización de estos *Drones* fue exclusivamente para el uso del área militar. Sin embargo, este campo no se encargaba del desarrollo y creación de estos dispositivos, sino de la adopción de estas invenciones para su aplicación en distintos fines.

El desarrollo de estos dispositivos fue acrecentándose cada vez más, debido a las ventajas que poseían la aplicación de tales dispositivos en la cotidianidad. Así como se especifica en el siguiente contexto.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

"El 1 de septiembre de 1898 muestra por primera vez una embarcación de radiocontrol en el *Madison Square Garden*, Nueva York, ante un público que se quedó impresionado, esta fue la primera vez que se usa un radio para controlar un objeto a distancia. Podemos ver el primer uso bélico en 1917 con el primer dron. Durante la Primera Guerra Mundial se utilizaron los primeros drones, que en realidad eran bombas teledirigidas. En 1937 Los hermanos *Walt y Bill Good* inventaron el “*Big Guff*”, el primer avión RC que consiguió volar. Luego de esto vinieron los coches RC, los helicópteros y los multicolores, en ese orden" (Joyvel, 2017)

De ese modo se ha logrado la evolución de esta tecnología en el mundo actual y emplear así, más aplicaciones dentro de la sociedad. Tal como en el campo de la fotografía, cartografía, infraestructura, geología, agricultura, cine, etc. y ya que como explica un cartógrafo en un artículo del *Wall Street Journal*, el trabajo con drones permite trazar mapas de manera óptima y económica; el costo por inspeccionar áreas se reduce debido a la gran cobertura que alcanza un vehículo aéreo no tripulado. Y estos costos se traducen en clientes dispuestos. (D Barra, 2014)

Por tanto, el trabajo con *drones* se convierte en una herramienta efectiva y óptima para ciertas actividades de la cotidianidad. Tal como se muestra a continuación.

En España, Endesa ya emplea cuatro drones equipados con cámaras para observar y revisar el estado de la red eléctrica en Cataluña en puntos de difícil acceso. Es una medida complementaria a las termografías que hacen los helicópteros; y según la compañía, estos '*drones*' pesan entre dos y cuatro kilos, miden unos setenta y cinco centímetros, cuentan con



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA "EL VÍNCULO" MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

una autonomía de entre siete y quince minutos y pueden costar hasta nueve mil euros, costo operativo muy bajo comparado con la utilización de helicópteros de monitoreo (Los quince trabajos que los drones ya hacen mejor que los humanos, 2016).

En Colombia, los drones están siendo utilizados por la Fuerza Aérea Colombiana (*FAC*) para toda clase de operativos y se calcula que hay entre 100 y 150 aeronaves de este tipo en el país (Aeronáutica, 1015).

Esto corrobora que la aplicación y el uso de estas tecnologías optimizan y ahorran recursos para la elaboración de dichas actividades. Es por ello, que se ha diversificado y masificado el uso de los vehículos aéreos no tripulados (*VANT's*) siendo más específicos los vehículos controlados remotamente. Aunque en Colombia, esto está en auge y se encuentra en pleno crecimiento.

Por otra parte, hay que tener en cuenta ciertos aspectos para la elaboración de dichos dispositivos y es que, en la actualidad, el GPS representa una debilidad pues sus señales pueden ser bloqueadas por los edificios o interferidas, por lo que se estudia cómo mejorar su sistema de navegación empleando así una cámara combinada con reconocimiento de patrones y sensores de alta fidelidad con el fin de crear sistemas más fiables. Por ejemplo, John Raquet, especialista en *Drones*, afirma que: " Equipado con su sistema de navegación visual..., el *Drone* podría incluso llegar a reconocer cables eléctricos y engancharse a ellos para recargar las baterías durante el vuelo. (Lo que constituirá un robo, razón por la cual Raquet no recomendaría este sistema para los civiles.)". (Pequeños Aviones espía, *Drones* en casa, 2013). En otra instancia, Richard Cobb, del mismo laboratorio intenta crear estos dispositivos



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

con la capacidad de <<esfumarse en un abrir y cerrar de ojos>>; además, otro de los mayores retos es que estos sean diseñados para imitar en tamaño y conducta a los insectos y aves. En este caso, Cobb desarrollo una mariposa esfinge robótica como prototipo, con alas de carbono y mylar, que cuenta con motores piezoeléctricos que baten las alas treinta veces por segundo, situación que la hace ver como una mancha borrosa Cobb. (D Barra,2014).

Con esto, se infiere que dichos artefactos están diseñados con el propósito de obtener una garantía y calidad en el vuelo, así como también de la precisión en la posición del *Drone* y de la toma de imágenes para la elaboración de los productos que se requieren.

### 5.2.DRONES EN MINERÍA.

La minería se considera como una actividad que se encarga de la exploración y extracción de minerales que se encuentran en el suelo, por ende, necesita de técnicas y procesos para realizar estas labores, uno de estos procesos es el cálculo de la topografía del lugar, esto con el fin de determinar el espacio y la cantidad de suelo que se va a usar para la extracción de dicho material e incluso saber la conformación morfológica del terreno.

La aplicación de *Drones* en minería se ha extendido a nivel mundial como una buena herramienta que ayuda entre otras cosas a trabajar en todas las etapas de la una recopilación de aplicaciones y buenas prácticas con el uso de *Drones*, tales como:

- Control y monitorización de explotación de minerales y su impacto ambiental
- Seguimiento de movimientos de tierra, residuos, balsas, control de relieves, control de pilas, transporte de implementos de un punto a otro.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

- Medición del volumen de las existencias de grava. Generando así, el modelo digital del terreno a partir de los miles de puntos tomados por el *Drone*.
- Exploración de la topografía y el relieve con el fin de determinar el método y las tecnologías de minería adecuadas
- Modelo *3D* reconstrucción tridimensional a partir de imágenes planas tomadas desde distintos ángulos. Gracias a los modelos precisos en *3D* generados, se pueden realizar mediciones como si estuviera en el campo, se puede navegar por el terreno y orientar la cámara en cualquier ángulo.

Existe un amplio campo en el que se puede trabajar con estos dispositivos dentro de la minería, así como se presenta en los casos que se muestran a continuación.

Argongra es una empresa de consultoría en Sistemas de Información Geográfica (*SIG*), que cuenta con una rama especializada en la aplicación de estos sistemas al medioambiente, minería y la industria. En argongra se hace un uso intensivo de imágenes como fuente de información geográfica y se utilizan tanto imágenes de satélite, como de avión, como de *Drones*. Argongra es usuario de prácticamente cualquier tipo de información geográfica.

La empresa empezó a experimentar con “*Drones*” en 2006. En las fotos siguientes puede verse un poco la historia de lo realizado en aquella época. De aquellos tiempos se recuerda lo tremendamente caro y problemático que era dotar a un avión de un sistema de control autónomo y la importancia que tenían los pilotos humanos. También las limitaciones de la resolución de las cámaras, los problemas de su control y la dificultad de manejo de muchos “*Megabytes*” de información con enormes tiempos de proceso y de almacenaje de datos.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

Aún con estas limitaciones se tomaban imágenes en modo multiespectral, incluido el infrarrojo, se mostraban secuencias de imágenes y se hacían interpretaciones. (Unidas, 2000)

En Colombia, la aplicación de estos vehículos aéreos no tripulados en el área de la minería está en apogeo. Por ahora, se está implementando en el sector de hidrocarburos, gas y petróleo, esto con el fin de ofrecer más alternativas para la recolección de información de las zonas en las que se operan, permitiendo conocer el estado de la explotación, realizar controles ambientales e incluso un registro de su producción. Y que con la utilización del *Drone* se logra proporcionar dicha información de modo óptimo, logrando una reducción de recursos como tiempo y costos para adquirir susodicha información, la cual es de interés para el sector.

### 5.3.EVOLUCIÓN DE LOS CONCEPTOS LEGALES Y CONCEPTUALES

- La Sociedad Geográfica de Colombia y academia de ciencia sociales, en el documento “*Historia de la cartografía de Colombia*” refiere cómo a partir de la conquista y colonización española se realizaron varios mapas del Nuevo Reino de Granada, pero todos con fines informativos de los colonizadores a la corona española, el 15 de Mayo de 1839 el congreso de la Nueva Granada dictó una ley que ordenaba levantar la carta geográfica de la república, siendo esta incumplida por diferentes razones, en el año 1845 el general Tomas Cipriano de Mosquera inicia el proceso de realizar varios mapas que se publicaron en 1847; en el año 1849 se expidió la ley 34 del 29 de mayo, por la cual se disponía comenzar los trabajos dispuestos en 1839, obra que dirigió el coronel Agustín Codazzi continuándola con un nuevo decreto del 29 de Marzo de 1852; en 1902 con el



CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA "EL VÍNCULO" MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

decreto N° 930 se creó la oficina de para el levantamiento sistemático y progresivo de las carta general de la república, en 1903 mediante Decreto N° 338 se organiza el Servicio Geográfico levantando el plano de Bogotá, ratificando esta oficina la ley N° 30 de 1909; en 1934 por Decreto del 30 de Agosto, se aprueba el instituto empezando obras de construcción en 1930 y nombrándose hasta la actualidad como Instituto Geográfico Agustín Codazzi *IGAC*, el cual sigue publicando continuamente cartas geográficas usando el sistema cartográfico Gauss-Krüger. (Sociedad geografica de colombia academia de ciencias geograficas., 1952).

- Respecto a la legislación que rige en materia de Topografía, La Ley 70 de 1979 que reglamenta la profesión de Topógrafo y se dictan otras disposiciones; el Decreto reglamentario 960 de 1981 que clasifica a los topógrafos profesionales; la Sociedad Colombiana de Topógrafos -SCT, la Cámara Colombiana de la Topografía - CCT, el Consejo Profesional Nacional de Topografía - CPNT y la Sociedad Colombiana de Ingenieros - SCI remiten al gremio de la topografía en el país las Resoluciones 0462 y 0463 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y presentan con ellas la importancia de la Norma Técnica Colombiana de Estudios Topográficos. En estas resoluciones se hace una modificación al decreto 1077 de 2015. (Topografia, 2017).
- El Estado Colombiano es el dueño del subsuelo, constitucionalmente el artículo 80 protege los recursos naturales, planificando el manejo y aprovechamiento de estos, para garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución (Constitución Política de Colombia, 1991), es por esto que la normativa minera y



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

ambiental marcan un procedimiento para que los concesionarios ya sean nacionales o extranjeros puedan explotar los recursos naturales no renovables, entre estos están: la ley 685 de 2001 la cual reglamenta el Código de Minas que propende por fomentar la exploración y explotación técnicas y racionales de los recursos; en su artículo 5 ratifica la propiedad del subsuelo por parte del estado y en los artículos 45 y 47 respectivamente como el Estado cede los derechos a un particular por medio de un contrato de concesión minera, para que “efectuó por cuenta y riesgo los estudios, trabajos y obras de exploración de los minerales que puedan encontrarse en una zona determinada y estos que expresamente se enumeran en el Código” (CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA , 2001); por lo anterior los articulo 84 y 85 describen categóricamente las actividades específicas que se deben realizar por parte del concesionario, las cuales incluyen en las diferentes actividades, la intervención de profesionales de la Geología, Cartografía y Topografía.

- **Los (VANT).** Jochen kleinschmidt de la Universidad EAFIT, en su informe sobre los *Drones* y el ordenamiento legal internacional, afirma que la creciente utilización de sistemas aéreos no tripulados y su constante uso, son generadores de cambio en la política global y su evolución. Ya que se debe el uso de esta tecnología se caracteriza por su especificidad, por el contexto de su uso, los intereses y las identidades de los actores que intervienen en su uso. (kleinschmidt, pág. 6). usos que se asocian a la guerra, prácticas de espionaje y terrorismo, casos en los cuales será el derecho a la guerra y el derecho internacional humanitario, siendo la importancia como tecnología en las decisiones políticas de los países en guerra, teniendo consecuencias jurídicas, militares



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

y políticas, convirtiéndose en actos legítimos y legales bajo el orden normativo internacional. Uno de los países en legislar sobre el tema fue Estados Unidos que en el año 1944, con el final de la II Guerra Mundial próximo, Estados Unidos promovió una conferencia con el fin de actualizar los acuerdos internacionales sobre aviación civil, estancados prácticamente desde Convención de París de 1919. La conferencia se celebró en Chicago del 1 de noviembre hasta el 7 de diciembre de 1944, con asistencia de delegados de 52 Estados. Finalmente, el convenio regulaba de manera liberal los aspectos de navegación y tráfico aéreo, junto con el tráfico aéreo sin remuneración. En España la Agencia Estatal de Seguridad Aérea AESA, regula lo concerniente al uso de los *Drones*. (LAW, s.f.). A partir del año 2000, el escenario latinoamericano ha impulsado el uso de los *Drones* para uso de inteligencia militar en el cuidado y seguridad de sus fronteras, lucha contra el narcotráfico y el crimen organizado; Según el periódico el tiempo del 8 de septiembre de 2015, Colombia no es la excepción, la aeronáutica Civil expidió la nueva circular reglamentaria para los R/PAS No. 002. o *Drones*, la cual reglamenta el uso de estos aparatos: que son de dos clases: comerciales y deportivos-recreativos, y cada uno cuenta con unos requisitos para su vuelo:

- Uso deportivos-recreativos:

Son los vuelos dentro del espacio aéreo permitido, como las pistas de aerodelismo y zonas urbanas donde no haya presencia de personas ni edificaciones. En este punto usted no tiene problema alguno y la circular no le afecta, pero recuerde que no puede volar en las ciudades. Además, la circular invita a regular su aparato no tripulado en caso tal que desee realizar una actividad comercial.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

- Uso comercial:

La reglamentación exige:

1. Licencia de piloto privado con curso en tierra que dura unos 6 meses.
2. 40 Horas de vuelo y 200 despegues y aterrizajes, previos, certificados por la escuela de aviación.
3. Identificación y matrícula del *Dron*.
4. Póliza de seguro para daños a terceros.
5. Solicitud con plan de vuelo ante la Aeronáutica Civil con 15 días hábiles de anticipación.
6. El *Dron* debe tener un color que permita ser identificado fácilmente en el aire.

Los tipos de *Drones* que no pueden volar en Colombia son los mayores de 25 kilogramos y que sus hélices sean metálicas. Además, no se puede volar cerca de aeropuertos, bases militares y de policía, entidades del estado como gobernaciones y alcaldías, eventos con aglomeración de personas y cerca de edificaciones.

También la circular regula el vuelo de estos aparatos en un radio de 1,8 kilómetros del presidente, vicepresidente, autoridades nacionales e internacionales.

Igualmente, se hace claridad en las distancias de vuelo permitidas:



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

Altura máxima: 152 metros

Altura mínima de un objeto o persona: 50 metros

Distancia máxima recorrida: 750 metros

La Aerocivil hace esta circular regulatoria con el fin de organizar y prevenir accidentes con estos aparatos no tripulado, las multas se aplican tanto para el explotador del *Dron* (empresa) como para el piloto (Así es la reglamentación para los Drones en Colombia, 2015).

### 5.4. CONCEPTOS ALUSIVOS A LA INVESTIGACIÓN

#### 5.4.1. Cartografía.

La importancia de la Cartografía radica en que esta “constituye una herramienta básica para la elaboración de cualquier mapa temático y de los Sistemas de Información Geográfica (*SIG*), aplicados a la geología y a la minería. La existencia de mapas de alta precisión constituye una necesidad para un amplio rango de actividades de planificación y desarrollo”. (Moragues, 2002).

Esta disciplina se ha realizado con tecnologías y métodos desarrollados con monitoreo aéreo y actividades de campo en tierra, actualmente el uso de satélites arroja información que es de vital importancia en la veracidad de los datos aportados al sistema de información geográfica.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

### 5.4.2. Fotogrametría

La fotogrametría entendida como la ciencia y tecnología que permite obtener información cuantificable partir de fotografías obtenidas por diversos tipos de sensores remotos y la fotointerpretación como lectura análisis e interpretación cualitativa de las mismas, son herramienta indispensable en los diferentes espacios de las ciencias donde se aplican. (Ocampo, 2003) . Por ejemplo en la cartografía se obtienen planos a diferentes escalas y con coberturas de grandes áreas o detalles puntuales de gran precisión, así como la elaboración de réplicas tridimensionales que acompañadas de programas de simulación y mezcla de información permiten el análisis detallado de diversos problemas ingenieriles y la determinación de variadas opciones de solución, en la implementación de obras de ingeniería como los diseños de vías, estudios hidrológicos, líneas de transmisión eléctrica, en minería con la localización de materiales para la construcción, En la identificación, localización, prospección, cuantificación de reserva probables y probadas, en la explotación y cierre de la mina o cantera de todo tipo de minerales, los aportes de la fotogrametría y la fotointerpretación se han convertido en factores determinantes para realizar una explotación racional, tecnificada, eficiente con preservación del medio ambiente y que evita al máximo los efecto.

#### *5.4.2.1. Clasificación de la Fotogrametría*

- Según el tipo de imagen obtenida y la posición espacial de la cámara: **aérea** utiliza vistas aéreas de la superficie terrestre, obtenidas con cámaras métricas, montadas en un aeroplano; **terrestre** utiliza imágenes tomadas con cámaras ubicadas en una



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

posición fija sobre el terreno, con el eje de la cámara horizontal o casi horizontal, espacial; **no topográfica**. utiliza imágenes obtenidas para aplicaciones en ciencias o artes diferentes a la ingeniería propiamente dicha.

- Según el tipo de la información obtenida: **Métrica**: es aquella en que los datos obtenidos se utilizan para análisis cuantitativos que conducen a la elaboración de planos a una determinada escala. dependiendo del método de medición y procesamiento de datos obtenidos la fotogrametría métrica se subdivide en: **análoga** cuando se utilizan implementos complejos opticomecánicos, para atender problemas fotogramétricos mediante analogías o comparaciones; **analítica** cuando obtenidas las coordenadas en dos direcciones (x , y) los problemas fotogramétricos se resuelven mediante el uso de modelos matemáticos; **digital** cuando la imagen obtenida se encuentra en medio magnético y los resultados de mediciones, modelos o mapas se construyen a partir de programas sistematizados; **fotointerpretación** es el estudio de las imágenes obtenidas por sensores remotos a partir de las cuales se obtiene información cualitativa, identificación y caracterización del terreno. (Ocampo, 2003, págs. 25,26)

### 5.4.2.2. La Cámara.

La cámara aérea en general puede definirse como un instrumento dentro del conjunto de los sensores remotos (no se presenta contacto entre el sensor y el objeto censado) el cual recoge o capta propiedades físicas de los objetos: longitudes de onda comprendidas en el rango del espectro electromagnético entre



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

el ultravioleta y el infrarrojo por medio de la absorción, refracción o reflexión.  
(Ocampo, 2003, pág. 27)

### *5.4.2.3. Consulta del material fotogramétrico*

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi, es la entidad del Orden Nacional, bajo cuya responsabilidad esta la toma de las fotografías aéreas, de radar y de satélite y su control en todo el país. Las fotografías pueden ser consultadas o adquiridas en los Centros de Información Geográfica de Bogotá o de cualquiera de las capitales de Departamento, atendiendo al siguiente procedimiento técnico de consulta: Se localiza en forma aproximada sobre un mapa a escala 1: 1.500.000 dividido en cuadrángulos, el punto o área de consulta requerida. Se determina luego el número del cuadrángulo correspondiente, dado por sus coordenadas geográficas en el citado mapa. Con el número del cuadrángulo, se solicita la plancha correspondiente a escala 1: 100.000, sobre el cual se demarcan los ejes de vuelo de los recorridos efectuados. En cada línea de vuelo hay una serie de cifras y letras, las cuales identifican el tipo de vuelo y el número del sobre, datos con los cuales se localizan las fotografías en los respectivos archivos. Se solicita el sobre con la faja de vuelo más cercana a la zona de interés. En algunos casos es factible hacer observación más detallada del sitio requerido a escalas 1:50.000 ó 1: 25.000 que permiten una mejor aproximación al terreno. Luego de entregado el sobre que contiene la faja de vuelo que cubre o encierra la zona o puntos requeridos, se detallan estos mediante la observación simple o con la ayuda de diferentes tipos de estereoscopios. (Ocampo, 2003, pág. 45)



### 5.4.3. Topografía.

Es la ciencia y la técnica de realizar mediciones de ángulos y distancias en extensiones de terreno lo suficientemente reducidas como para poder despreciar el efecto de la curvatura terrestre, para después procesarlas y obtener así coordenadas de puntos, direcciones, elevaciones, áreas o volúmenes, en forma gráfica y/o numérica, según los requerimientos del trabajo. Dentro de la Topografía se incluye el estudio de los instrumentos usados por ella, sus principios de funcionamiento, sus componentes y su operación. También se estudia teoría de errores, ya que en muchos trabajos topográficos se exigen determinados valores de exactitud en los resultados, valores que a su vez determinarán los métodos y la precisión de los instrumentos a utilizar en el proyecto. Los diversos componentes que integran la topografía se agrupan en tres grandes grupos bien diferenciados: **Teoría de errores y cálculo de compensación**: constituye la agrupación de los métodos matemáticos que permiten la minimización de los inevitables errores cometidos en las mediciones, y que permiten también establecer los métodos y los instrumentos idóneos a utilizar en los diversos trabajos topográficos, para obtener la máxima calidad en los mismos. **Instrumentación**: en esta división se estudian los diferentes tipos de equipos usados en topografía para llevar a cabo las mediciones, angulares o de distancias, para establecer sus principios de funcionamiento, llevar a cabo su mantenimiento y lograr su óptima utilización, **Métodos topográficos**: es el conjunto de operaciones necesarias para obtener la proyección horizontal y las cotas de los puntos medidos en el terreno.

Generalmente las proyecciones horizontales se calculan en forma independiente de las cotas de los puntos, diferenciándose entonces en dos grandes grupos: Métodos planimétricos.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

Métodos altimétricos. La planimetría, que engloba los métodos planimétricos, sólo toma en cuenta la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario que se supone es la superficie media de La Tierra. La altimetría, que agrupa los métodos altimétricos, tiene en cuenta las diferencias de nivel existentes entre los diferentes puntos del terreno, para la elaboración de un plano topográfico, es necesario conocer tanto la planimetría como la altimetría para poder determinar la posición y elevación de cada punto del terreno que será representado (Jauregui)

### 5.4.4. Geología.

La Geología, del griego *geo*, y *logos*. Es la ciencia que persigue la comprensión del planeta Tierra. La ciencia de la geología se ha dividido tradicionalmente en dos amplias áreas: física y la histórica. La geología física, estudia los materiales que componen la tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre. El objetivo de la geología histórica es comprender el origen de la tierra y su evolución a lo largo del tiempo. Por tanto, procurar ordenar cronológicamente los múltiples cambios físicos y biológicos que han ocurrido en el pasado geológico. El estudio de la geología física precede lógicamente al estudio de la historia de la tierra, porque, antes de intentar revelar su pasado, debemos comprender primero como funciona la tierra.

La Geología se percibe como una ciencia que se realiza en el exterior, lo cual es correcto. Una gran parte de la geología se basa en observaciones y experimentos llevados a cabo en el campo. Pero la geología también se realiza en el laboratorio donde, por ejemplo, el estudio de varios materiales terrestres permite comprender muchos procesos básicos. Con



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

frecuencia la geología requiere una comprensión y una aplicación del conocimiento y los principios de la física, la química y la Biología. La geología es una ciencia que pretende ampliar nuestro conocimiento del mundo natural y del lugar que ocupemos en él. (Introducción a la geología, s.f.)

### 5.4.5. Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT)

#### 5.4.5.1. Concepto:

La denominación de las aeronaves con cierto grado de autonomía para realizar misiones con cierto grado de autonomía y el aumento en las aplicaciones civiles aumenta el grado de dificultad para llegar al consenso en la definición, sin embargo, en la actualidad suele usarse el termino (UAV) ( *Unmanned Aerial Vehicle*) o más recientemente (UAS) (*Unmanned Aircraft System*), haciendo referencia a la ausencia de tripulación en el vehículo; luego según el Grupo de Robótica y Cibernética de la Universidad Politécnica de Madrid, “se entiende por aeronave no tripulada (UAV) también (UAS), a aquella que es capaz de realizar una misión sin necesidad de tener una tripulación embarcada. Debe entenderse que esta condición no excluye la existencia de piloto, controlador de la misión u otros operadores, que puedan realizar su trabajo desde tierra”. (Grupo de Robótica y Cibernética de la Universidad Politécnica de Madrid. d, pág. 2)

#### 5.4.5.2. Clasificación de Vehículos Aéreos No Tripulados

- Desde el punto de vista del tipo de aeronave (AUV) que puede ser la más sencilla; de acuerdo a esto se distinguen las de despegue vertical de las que no lo son,

CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

estando dentro de las primera las de ala rotativa o hélice, los de ala flexible y los auto sustentados; dentro de los de despegues no vertical se encuentran los ala fija. (Grupo de Robótica y Cibernética de la Universidad Politécnica de Madrid. d)

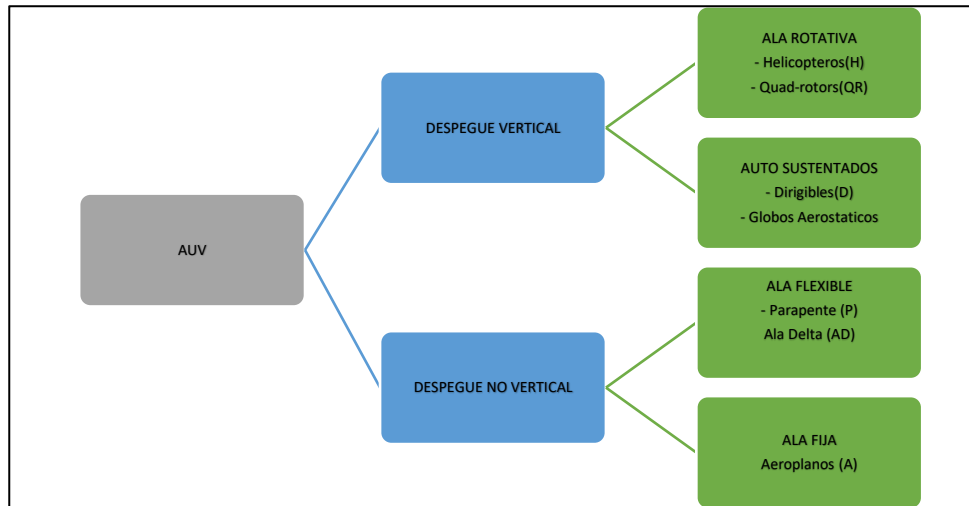


Imagen 1. Tipos de aeronaves utilizadas en los AUV. Fuente. Grupo de robótica y cibernética universidad de Madrid.

➤ Según las capacidades de vuelo del (VANT). (Grupo de Robótica y Cibernética de la Universidad Politécnica de Madrid. d)

Categoría	Acrónimo	Alcance (km)	Altitud de vuelo (m)	Autonomía (horas)	Carga máxima despegue (kg)	Tipo de aeronave
Micro	μ(Micro)	< 10	250	1	< 5	H,A,otros
Mini	Mini	< 10	150 300	< 2	< 30	H,A, P, Otros
Alcance cercano	CR	10 a 30	3.000	2 a 4	150	H,A,P,Otros
Alcance corto	SR	30 a 70	3.000	3 a 6	200	A,Otros
Alcance medio	MR	70 a 200	5.000	6 a 10	1.250	A, Otros
Altitud baja	LADP	> 250	50	0,5 a 1	350	A
Penetración profunda			9.000			
Autonomía media	MRE	> 500	8.000	10 a 18	1.250	A,H
Autonomía alta						A
Altitud baja	LALE	> 500	3.000	> 24	< 30	
Autonomía alta						A,H
Altitud media	MALE	> 500	14.000	24 a 48	1.500	
Autonomía alta						A
Altitud alta	HALE	> 2000	20.000	24 a 48	12.000	
Combate	UCAV	aprox. 1500	10.000	aprox. 2	10.000	H,A
Ofensivo	LETH	300	4.000	3 a 4	250	A
Señuelo	DEC	0 a 500	5.000	< 4	250	A,H
Estratosférico	STRATO	> 2000	Entre 20.000 y 30.000	> 48	ND (no disponible)	A
Exo-estratosférico	EXO	ND	> 30.000	ND	ND	A

Imagen 2. Clasificación según las capacidades de los *Drone*. Fuente. Grupo de robótica y cibernética universidad de Madrid.

- Según la capacidad de carga útil o capacidad en el despegue. (Grupo de Robótica y Cibernética de la Universidad Politécnica de Madrid. d)

Clase de UAV	Máxima TOW (kg)	Rango	Típico alcance (km)	Típica altura máxima (m)
Clase 0	< 25	Cercano	15	300
Clase 1	25-500	Corto	15-150	4500
Clase 2	500-2000	Medio	150-1000	9000
Clase 3	>2000	Largo	>1000	>3000

Imagen 3. Clasificación según la máxima carga en el despegue. Fuente. Grupo de robótica y cibernética universidad de Madrid.

- Según el nivel de autonomía. (Grupo de Robótica y Cibernética de la Universidad Politécnica de Madrid. d)

	Blanco móvil (Drone)	Nivel 1 No autónomo	Nivel 2 Maniobra autónoma	Nivel 3 Piloto inteligente limitado	Nivel 4 Piloto inteligente completo
Trayectoria de vuelo en 4 dimensiones	Preprogramada	Preplanificada, preprogramada	Preplanificada, preprogramada	Parcialmente autónomo Posibilidad de cálculo de ruta	Posibilidad de cálculo de ruta
Presencia de piloto	Por seguridad	Guiado y control continuo	Como Nivel 1	Supervisión continua. Guiado y control ocasional	Solo como respaldo
Posibilidad de actuación del piloto	Solo en despegue y aterrizaje	Manipulación	Como Nivel 1	POsible	Solo como respaldo
Necesidad de actuación del piloto	Solo en FTS	En todos los casos	Cuando no haya maniobra automática	Ocasionalmente	Solo como respaldo
Piloto automático	No	No	No	Limitado	Completo
Presencia de ATC	Supervisión	Contacto continuo con el operador	Contacto continuo con el operador	Contacto continuo con el operador y con el piloto automático	Contacto continuo con el piloto automático (con el operador como respaldo)
Intervención de ATC	Petición o activación del FTS	Por petición del operador	Por petición del operador	Por petición del operador o del piloto automáticos	Por petición del piloto automático (del operador por respaldo)

Imagen 4. Clasificación según el nivel de autonomía. Fuente. Grupo de robótica y cibernética universidad de Madrid.

El uso de *Drones* o (*VANT*) para cartografía y fotogrametría ya es una realidad gracias a los avances técnicos que se están dando en este campo y para determinadas escalas y áreas de trabajo ya son la mejor opción, su versatilidad en cuanto a instalar dispositivos de captura de imágenes y su precio relativamente económico, contamos con otra alternativa que nos permite realizar cartografía con unas excelentes prestaciones en cuanto a escala y periodicidad de adquisición y viene a complementar un rango de escalas



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

no habituales para el área de la fotogrametría aunque colindantes ya con las utilizadas en el área de la topografía clásica. En cuanto a la utilización de los *Drones*, de manera general existen dos alternativas para el uso de dispositivos de captura; en primer lugar, *Drones* con cámaras incorporadas y en segundo lugar, aquellos que ofrecen la posibilidad de instalar cámaras de gran formato. En el primer caso las cámaras disponen de una resolución media y un sistema óptico orientado a usos deportivos de focal pequeña como las *GoPro* y formato pequeño, mientras que en el segundo caso podemos utilizar cámaras de gran formato de hasta 36 megapíxeles y una óptica profesional de lentes intercambiables que nos permiten la selección de una focal adecuada. En ambos casos tendremos que considerar una calibración rigurosa de la cámara antes de cada vuelo. Al momento de seleccionar altura de vuelo, focal, tamaño de *píxel* y escala de toma, tenemos que considerar, como se ilustra en los siguientes gráficos, sus relaciones entre ellos para luego poder definir área a cubrir por cada toma, solape, intervalo de toma, rendimientos, etc. (Garcia, 2015).

## 6. DISEÑO METODOLÓGICO

### 6.1. UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AGROCLIMATOLÓGICAS

La cantera “El vínculo” se encuentra ubicada en el sector rural del municipio de Soacha. Municipio en el departamento de Cundinamarca. La cabecera municipal está localizada a los  $04^{\circ}34'54''$  de latitud norte y  $74^{\circ}13'12''$  de longitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 2.555 m. Dista de Bogotá, D.C. la capital departamental y de la República, 18 km por vía terrestre. El área municipal es de 187 km<sup>2</sup> y limita al norte con Bojacá y Mosquera, al este con Bogotá, D.C., al sur con Pasca y Sibaté y al oeste con Granada y San Antonio del Tequendama (Diccionario Geografico De Colombia, s.f.).

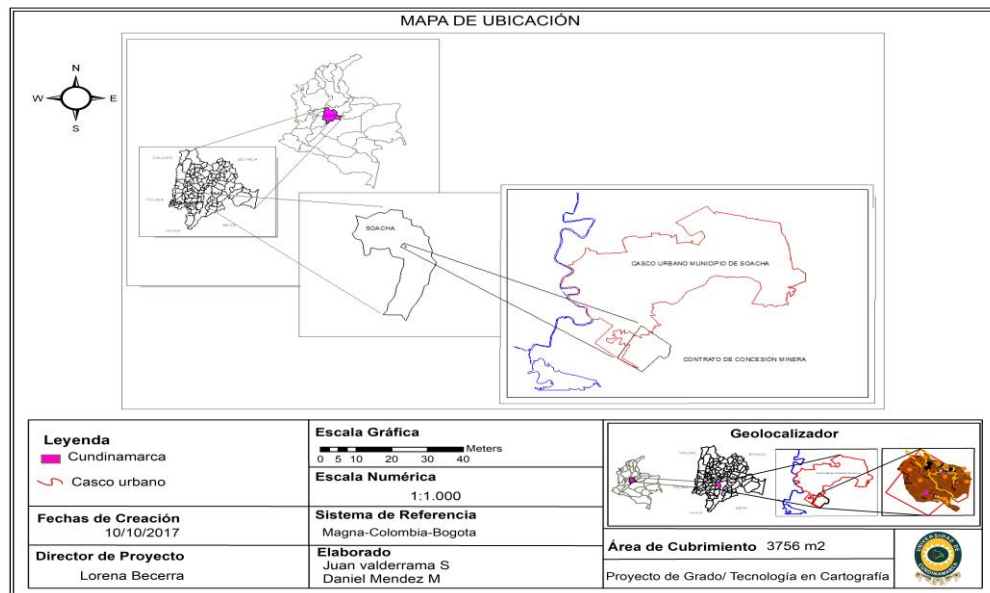


Imagen 5. Ubicación de la cantera el Vínculo, municipio de Soacha.

En el territorio se identifican dos unidades morfológicas, una al norte, plana que corresponde a la sabana de Bogotá, altiplano que pertenece a la cordillera oriental y otra al sur montañosa, en donde se destacan el alto Relumbroso y las cuchillas del El Rodeo y San



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

Martín. Recorren el territorio los ríos Bogotá y Soacha, además de varias corrientes menores. Sus tierras se encuentran en el clima frío, la humedad relativa promedio anual es de 84% y la temperatura promedio anual es de 11,7°C, siendo abril el mes de mayor temperatura y julio el de menor. La precipitación media anual es de 785 mm, está asociada a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y se distribuye en un régimen bimodal que se extiende entre los meses de abril a junio y septiembre a noviembre, siendo octubre y noviembre los meses más lluviosos. (Diccionario Geografico De Colombia, s.f.).

La vereda el vínculo se encuentra ubicada al sur-este del municipio de Soacha Cundinamarca dentro de esta se destaca el distrito minero del municipio.

### 6.2.TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS

Para la recolección de datos se empleó la captura de imágenes con un *Drone* cuadricoptero (*Dji Phantom 3 4k*) el cual obtiene las fotografías aéreas de alta calidad y precisión, en la superficie del área determinada, para esta investigación: La Cantera “El Vínculo” del municipio de Soacha Cundinamarca. Enlazado a ello, se incluye un dispositivo móvil (*Smartphone*) el cual tiene como utilidad la programación de la línea de vuelo y conexión directa con el control del *Drone*. Además, se empleó una estación total topográfica para la producción de los puntos de control con coordenadas simétricas para el ajuste del modelo.

Se emplearon documentos y guías referentes para la utilización del *Drone* y del dispositivo móvil ya que son los instrumentos base para la realización del trabajo en campo debido a que

se debe tener el conocimiento adecuado en cuanto al manejo del equipo para adquirir una información cruda de validez.



Imagen 6. *Drone* cuadricoptero (*Dji Phantom 3 4k*)



Imagen 7. Detalle de la Estación Total, ubicada en el área de estudio.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

### 6.3.MÉTODO DE ANÁLISIS

El método de análisis requerido es el deductivo, ya que las fotos que resultan del proceso fotocontrol de la zona, permitirán un cálculo de volúmenes en el cual se puede acceder a un razonamiento lógico de la diferencia en los volúmenes y en qué lugares se presentan estas variables.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

### 7. INSTRUMENTOS EMPLEADOS

Para la elaboración del proyecto se tuvieron en cuenta los siguientes equipos y *software*:

- *Pix4D capture*: con ayuda de esta aplicación se definen serie de *waypoints* donde efectúa la captura de información, esta es una sencilla herramienta con la que se crea la ruta de manera precisa y controlada mediante *waypoints* predefinidos, en donde se realiza la conexión directa con el *drone* para saber la autonomía del vuelo.
- *Pix4D mapper*: este complejo software es el generador, a partir de imágenes obtenidas desde aire o tierra, Ortomosaico, DMS (Modelos Digitales de Superficie) y nube de puntos con un flujo de trabajo automático.
- *ArcMap*: es el lugar virtual donde se visualiza y se exploran los diferentes datos geográficos o de composición espacial, en este sitio se crean los diseños de los mapas, impresión, además esta contiene elementos básicos de un mapa, la escala gráfica, numérica las coordenadas y demás funciones.

Para el proceso del fotocontrol se realizó una investigación a cerca de las cualidades y características aplicadas con el (*VANT*), estas características fueron parametrizadas por la norma ISO 9126.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

El estándar ISO 9126 fue formulado inicialmente en 1991 estableciendo un modelo de calidad y su uso como marco para la evaluación de software. En esta norma se distingue entre calidad interna y calidad externa, y se introduce también el concepto de calidad en uso; esta norma es una de las normas ISO que goza de más reconocimiento dentro de la comunidad y tiene como fundamento modelos de calidad aportados por diversas investigaciones realizadas en los últimos 30 años para la caracterización de la calidad del producto software.

Se precisa las características de los software expresadas en la norma ISO/IEC 19126. (Pinson, 2013) La cual dicta las características a tener en cuenta para juzgar un software las cuales son:

- Funcionalidad
- Fiabilidad
- Usabilidad
- Eficiencia
- Mantenibilidad
- Portabilidad

CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

		Pix 4D mapper			agisoft photoscan			Drone2map			Opendronemap		
		bajo	medio	alto	bajo	medio	alto	bajo	medio	alto	bajo	medio	alto
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Fiabilidad	Madurez			3	1		3		2	3	1	2	
	Recuperabilidad		2				3			3		2	
	Tolerancia a fallos			3		2			2		1		
	Cumplimiento de Fiabilidad			3		2			3		2		
Funcionalidad	Adecuación			3		3			3				3
	Exactitud			3		3			3		2		
	Interoperabilidad		2		2			2					3
	Seguridad			3		2			3		2		
Usabilidad	Aprendizaje			3		2			3		2		
	Comprensión			3		2			3		2		
	Operatividad		2			2			3			3	
Eficiencia	Comportamiento en el tiempo		2				3		2			2	
	Comportamiento de recursos			3		2			3		2		
Mantenibilidad	Estabilidad		2			2			2		1		
	Facilidad de análisis		2			2			3		2		
	Facilidad de cambio			3		2			2		2		
	Facilidad de pruebas			3		3	2		1				3
Portabilidad	Capacidad de instalación		2			2			2				3
	Capacidad de reemplazamiento		2			2			3		2		
Calidad en uso	Eficacia			3		3			3		2		
	Productividad		2			3			3		2		
	Seguridad			3		2			3		2		
	Satisfacción			3		3			2		1		

Tabla 1. Comparativa de las características del software fotogramétrico

## 7.1.METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el desarrollo del presente proyecto se realizó una serie de fases compuestas por procesos necesarios para la determinación del cálculo de volúmenes de material de explotación de la cantera "El vínculo". A continuación, se presenta el diagrama de flujo con la metodología realizada.

Diagrama de flujo para el desarrollo d la metodología.

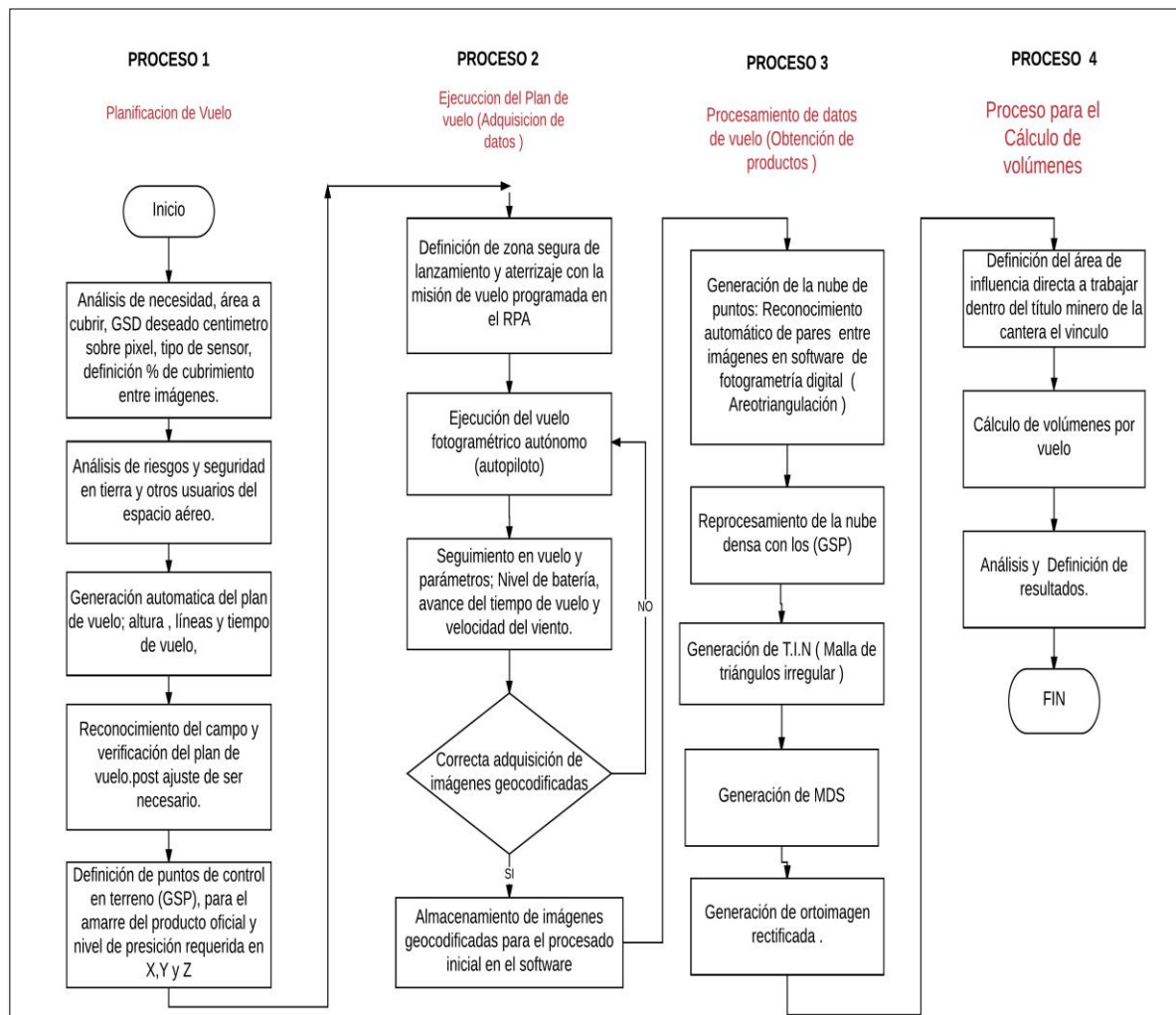


Imagen 8. Diagrama de flujo para la metodología.



7.2.1. *GSD (Ground Sample Distance)* deseado centímetro sobre *pixel*

TIPOS DE FORMULAS	
<b>Altura de Vuelo</b>	
H : altura del vuelo	$H = \frac{GSD * f}{\mu}$
GSD: tamaño de pixel al terreno (m/pixel)	
F: Distancia focal de la camara (mm)	
$\mu$ : Tamaña de pixel del sensor (m/pixel)	
<b>Tamaño de Pixel del sensor</b>	
HCDD: Alta de las distancias del sensor	$\mu = \frac{HCDD}{SH}$
SH: Numero de pixel por altura	
<b>Captura al terreno</b>	
W: Anchura de cada captura del terreno	$W = w * GSD$ $H = h * GSD$
w: Anchura de cada captura a la imagen	
GSD: tamaño de pixel al terreno (m/pixel)	
<b>Area a cubrir</b>	
E= area a cubrir	$E = H * W \text{ (m}^2\text{)}$
H : altura del vuelo	
W: Anchura de cada captura del terreno	

Imagen 10. Ecuaciones para el control de la distancia del centímetro sobre el pixel.

La *GSD* requerida para una correcta orto rectificación, estable que tiene que ser de un promedio entre 2 y 3 centímetro por pixel teniendo en cuenta las variaciones de la topografía, se deben tener presente que las fórmulas fotogramétricas son aplicadas directamente por los softwares usados.

7.2.2. Tipo de sensor.

El sensor utilizado es (*Sony Exmor Optico*), que tiene las siguientes especificaciones:

Sensores	Sony EXMOR 1/ 2.3* CMOS
Lente	FOV 94°20 mm (equivalentes al formato de 35 mm ) f / 2,8
Rango ISO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100-3200 (video)</li> <li>• 100-1600 (foto)</li> </ul>
Velocidad de obturación	8s- 1/8000s



UDEG

## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

<b>Tamaño máximo de imagen</b>	4000 x 3000
<b>Tipos de formato SD compatibles</b>	Micro SD
<b>Velocidad Máxima de video</b>	60 mbps
<b>Formato de archivos Compatibles</b>	FAT 32 ( 32 GB ) es FAT
<b>FOTO</b>	JPEG, DNG
<b>VIDEO</b>	MP4 , MOV

Tabla 2. Características del sensor.

### 7.2.3. Definición de porcentaje de cubrimiento de imágenes (Traslapo)

Para concretar el porcentaje de cubrimiento en la toma de fotografías se tuvo en cuenta dos tipos de traslapo: el vertical del 70% y un traslapo horizontal del 80%; obteniendo así mejor detalle de la superficie del terreno.

### 7.2.4. Análisis de riesgos y seguridad en tierra y otros usuarios del espacio aéreo

- Análisis de riesgos para hacer un vuelo con dron. Para los efectos de aviación el peligro se define como una condición que potencialmente puede causar graves lesiones o muerte, perdida o daño severo de la aeronave o equipo y los riesgos se definen como la probabilidad de consecuencia de un peligro (OACI,2015). Es claro resaltar que los peligros no pueden ser eliminados porque obedecen a condiciones previamente establecidas, teniendo en cuenta los factores medio ambientales o las condiciones del terreno, ya que dichas condiciones siempre están presentes y para ello los sistemas de gestión se encaminan a disminuir la posibilidad de que los riesgos o consecuencias se materialicen.



CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

Para minimizar riesgos físicos se contemplaron las restricciones que se muestran en la siguiente tabla.

<b>Restricción del uso de <i>drones</i></b>	<b>Riesgos que minimizan</b>
Sus hélices o rotores no podrán ser metálicas	En caso de colisión con una persona puede minimizar las lesiones producidas por las mismas. Las hélices metálicas con altas revoluciones pueden causar desmembramientos de cualquier parte del cuerpo
<p>Como mínimo deben estar equipados con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de piloto automático (no para vuelo autónomo, si no para asistir al operador, facilitar la estabilización o efectuar la recuperación del aparato en caso de ser necesario)</li> <li>• Sistema <i>GPS</i></li> <li>• Sistema de lanzamiento y recuperación en condiciones normales en operación (tren de aterrizaje, <i>airback</i>, para caídas, etc.</li> <li>• Sistema de seguridad en vuelo (recuperación con capacidad de programación de operación autónoma <i>return to home</i> en caso de emergencia, falla de motor o hélices).</li> </ul>	Este equipo de navegación permite un control posicional de la aeronave, así mismo permiten que si la aeronave pierda el control del operador pueda retornar al sitio de despegue automáticamente. Lo anterior reduce las posibilidades que puedan ocasionar los <i>drones</i> cuando exista un descontrol de los mismos.
Sus sistemas de radio control, de transmisión y recepción de datos o imagen no deberán causar ningún tipo de interferencia a otros tipos de sistemas o actividades aeronáuticas o no aeronáuticas	Con esta tecnología se previenen cruces de comunicaciones con otros sistemas aéreos que permiten prevenir accidentes por mal entendimiento de instrucciones.
Su sistema motor propulsor no debe generar ruido excesivo o contaminación	Minimiza riesgos ambientales y contaminación sonora a los particulares que se encuentren en el radio de operación del <i>drone</i> .



CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

<p>Contar con instructivos o manuales técnicos y de operación</p>	<p>Los manuales técnicos permiten mantener los <i>drones</i> en buen estado de funcionamiento y tienen un plan de mantenimiento de obligatorio cumplimiento para que la aeronave pueda cumplir los diferentes vuelos con toda confiabilidad, los manuales de operación son instrucciones claras de manejo que permiten controlar la aeronave de una manera adecuada y prevenir la accidentalidad por desconocimiento.</p>
<p>Los colores exteriores de (<i>VANT</i>) la hacen claramente visible y detectable a distancia. Adicionalmente es importante que la aeronave tenga adherido un placar con el nombre del explorador del (<i>VANT</i>) y datos de contacto para identificar la aeronave y el responsable en caso de accidente, incidente o violación a la norma.</p>	<p>La visibilidad e identificación de los drones permiten mantener un control visual que puede evitar la accidentalidad.</p>

Tabla 3. Restricciones para minimizar riesgos.

7.2.5. Generación de automática del plan de vuelo; altura, líneas y tiempo de vuelo.

Realizando la planeación del vuelo se ajustaron los parámetros de captura de información dejando como tamaño de pixel entre 2 y 3 cm ya que las características de la cámara permitió que estuviera en este rango de *pixel* así teniendo en cuenta la altura de vuelo y la morfología del terreno , el cual permite volar a una altura de 70 metros sobre el nivel del terreno, altura que es permitida por las normas colombianas (Asi es la reglamentacion para los Drones en Colombia, 2015), se definieron dos polígonos, el primero con las siguientes características 400 x 234 m y el segundo de 286 x 270 m que abarcaran la zona de estudio. Para cada uno

de los polígonos se realizó 1 línea de vuelo con un traslazo lateral de 70 % y un traslazo longitudinal de 80 % estos vuelos tuvieron una duración aproximada de 23 min y 30 segundos de captura, teniendo en cuenta que se tomaron en los tres vuelos realizados un promedio de 450 fotografías.

Se debe tener en cuenta que dicha metodología fue realizada para los tres vuelos realizados.

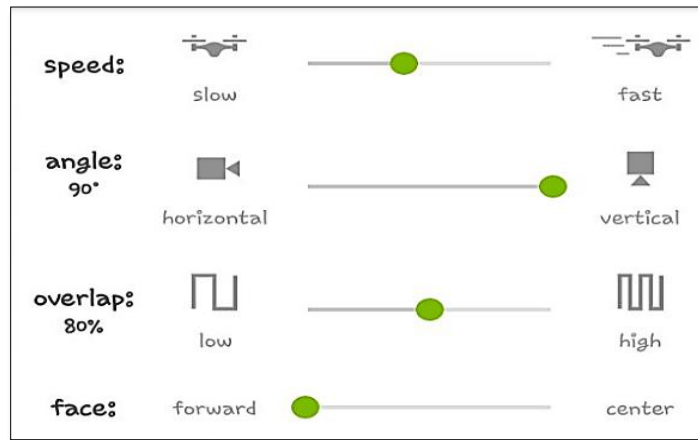


Imagen 11. Información sobre el vuelo

### 7.2.5.1. Características de vuelo a utilizar.

	Vuelos	
	1 - Segmento	2 - Segmento
Duración de Vuelo	12 minutos con 30 segundos	11 minutos
Velocidad de Vuelo	5 metros por segundo	5 metros por segundo
Angulo de la camara	90 grados (ortogonal al suelo)	
Traslazo Lateral	80%	
Traslazo Horizontal	75%	
Altura de Vuelo	70 metros de Altura sobre el nivel del terreno (nivel de despegue)	
Coordenadas del Área	4.54596°, -74.22557°	4.54735°, -74.22664°
Área de cubrimiento	9,36 hectáreas	7,722 hectáreas

Imagen 12. Línea de vuelo en la aplicación Pix4Dcapture, Vuelo 1 Segmento 1.





## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

Estas especificaciones son requeridas para un óptimo control y traslapo de las ortoimágenes que fueron tomadas teniendo en cuenta el área de influencia y diseño del vuelo se consideraron las mismas variables del diseño vuelo para los 3 vuelos, estos se realizaron con un intervalo de tiempo de 20 días. Anterior a esto se realizó el reconocimiento de campo para la verificación del área a cubrir y post ajuste de ser necesario.

Para la verificación del plan de vuelo y cubrimiento del área de las líneas, se realizó un vuelo preliminar para reconocer el terreno y sus alturas, con base en ello, se determinaron las características necesarias para el vuelo. En este vuelo piloto, se observó que el área deseada a cubrir no se contemplaba en su totalidad en un solo vuelo teniendo en cuenta la especificación del diseño del vuelo descrito anteriormente, por tanto, se decidió realizar dos líneas de vuelo para abarcar el área total.

### 7.2.6. Definición de puntos de control en terreno (*GSP*), para el amarre del producto oficial y nivel de precisión requerida en X, Y y Z

Un punto de control es un sitio físico en tierra del cual es conocida su posición respecto a un sistema de coordenadas, y puede utilizarse como guía. Generalmente estos puntos se establecen con la finalidad de ofrecer información de gran utilidad en los procesos de georreferenciación de objetos espaciales y/o fenómenos de interés de acuerdo a las necesidades o naturaleza específica de cada proyecto.

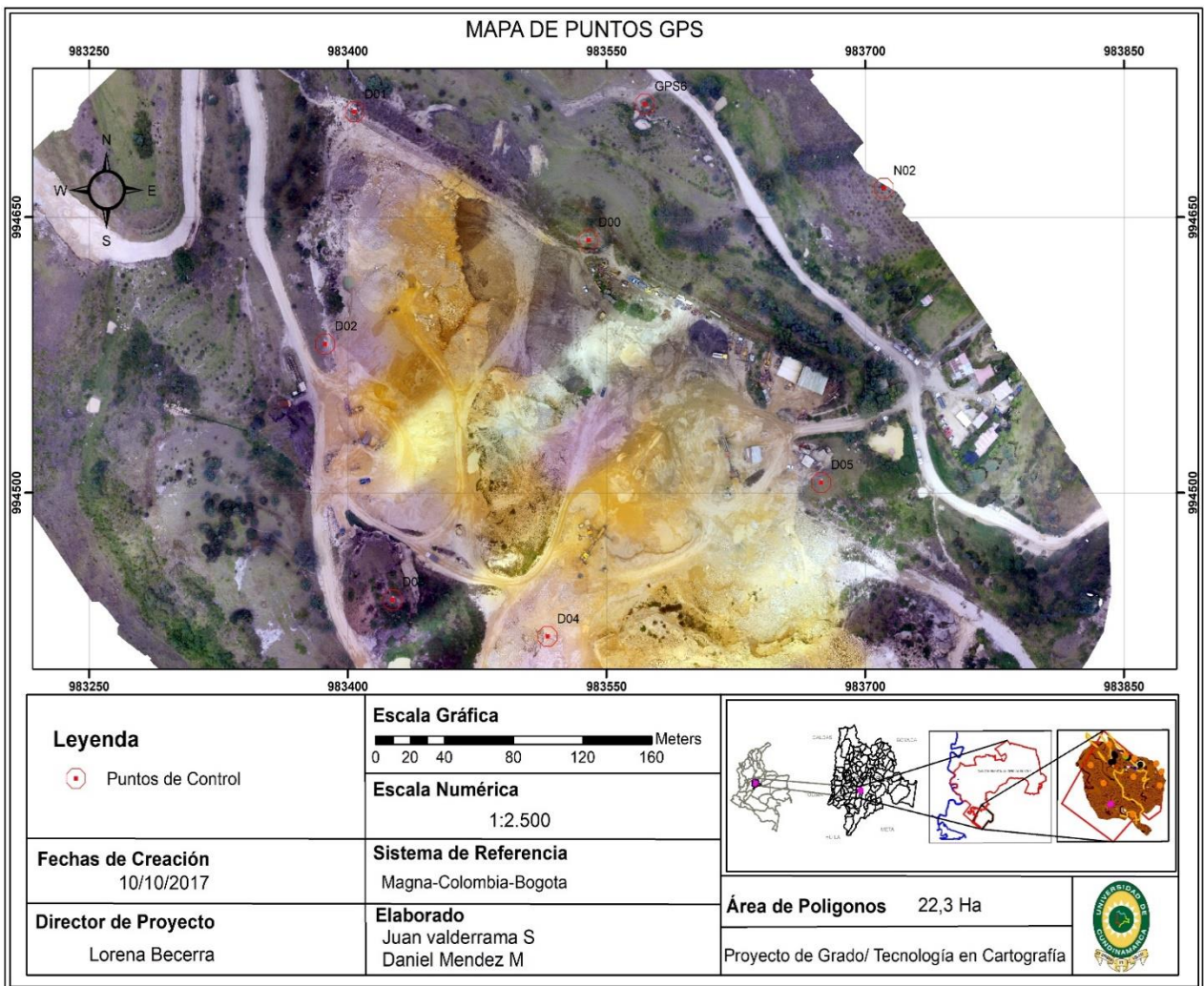
Con la finalidad de desarrollar un procedimiento detallado en la generación de puntos de apoyo terrestre para corregir la planimetría y altimetría de imágenes capturadas por *Drone*.

**CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).**

Se procedió a levantar 5 vértices distribuidos en área de influencia con 17,08 hectáreas ubicadas en el campo a trabajar el cual es el frente de explotación de la cantera “El vínculo”.

El control terrestre consistió en definir una serie de coordenadas, a través de los puntos de amarre materializados en campo.

Los puntos de amarre que se definieron para el control de la georreferenciación tienen las siguientes características, las cuales se tomaran para el ajuste posterior del modelo.



Mapa 1. Puntos GPS para la georreferenciación de la cantera el Vínculo.



TABLA DE COORDENADAS			
DETALLE	NORTE	ESTE	COTA
GPS6	994713,117	983572,523	2635,481
N-2	994667,384	983710,958	2653,512
PUNTO 00	994639,0798	983539,827	2665,0541
PUNTO 01	994708,8872	983404,198	2658,8733
PUNTO 02	994582,6055	983387,128	2661,1878
PUNTO 03	994443,3896	983426,202	2679,8701
PUNTO 04	994423,3974	983516,059	2662,8421
PUNTO 05	994507,1739	983674,706	2672,8994

Imagen 15. Detalle de los puntos GPS en campo

### 7.2.7. Método de triangulación de los puntos de control.

Para este desarrollo de este proceso se tuvo que tener en cuenta el ajuste y corrección de las alturas y coordenadas para alcanzar una precisión simétrica la cual le dará validez real y correcta orto-rectificación.

## 7.3. PROCESO 2. EJECUCIÓN DEL PLAN DE VUELO (ADQUISICIÓN DE DATOS)

### 7.3.1. Etapa 1. Definición de zona segura de lanzamiento y de aterrizaje con la misión de vuelo programada en el *Drone*

Para la definición de la zona segura de lanzamiento y de aterrizaje se contemplan variables como la distancia y la altura de lugar con respecto a la línea de vuelo.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

Se tiene en cuenta factores del entorno tales como: la presencia de árboles con una altura superior a 10 metros, que la topografía no sea irregular para minimizar colisiones en el momento del despegue, y se prioriza un punto plano para el despegue y el aterrizaje

De esta manera, en la definición de la zona segura, se observó que los flujos de vehículos de carga no permitieron establecer dicha zona dentro del área de interés, para solucionar este factor de conflicto, se definió como zona segura para la realización del vuelo un talud plano en la periferia de la zona de explotación.

### **En zona de vuelo**

Ya instalados en zona segura de vuelo se procede a armar el *drone* según el manual y complementar la lista de chequeo del manual de instrucciones, se accede a la aplicación *Dji Go* se calibra la brújula por medio del dispositivo móvil, se espera a que exista una correcta posición y recepción de satélites, así el *drone* puede ajustar una posición con respecto al punto de partida y de llegada.

- En la aplicación *Dji Go* con las condiciones de calibración y demás ajustes ya realizados se procedió a enlazar la aplicación *Dji Go* con la aplicación *Pix4D capture* la cual tiene la línea de vuelo programada en oficina, con esta conexión se logró transferir la información de la línea de vuelo directamente al *Drone*.



Imagen 16. Zona segura de vuelo.

### 7.3.2. Etapa 2. Ejecución del vuelo fotogramétrico autónomo (autopiloto)

Para esta fase de la ejecución del vuelo se debe tener en cuenta las debidas aceptaciones que informa la aplicación. Esta tiene como estándares de vuelos los siguientes parámetros:

- La correcta conectividad con el *Drone*
- El control debe de estar en modo "F" (Función)
- Punto de inicio
- Una eficiente Recepción de señal *GPS* (12/6)
- La Cámara lista con formato (*JPEG*)
- La misión de vuelo cargada o subida a el *Drone*
- El *Drone* debe de estar correctamente calibrado
- El *Drone* está dentro de la misión programada
- La memoria del almacenamiento esté lista y con capacidad suficiente para el almacenamiento



El control telemétrico nos proporciona una visión de lo que ocurre con el *Drone* en el transcurso de la línea de vuelo:

- Nivel de batería: la batería que emplea el *Phantom 3 4K* es una batería 4500 mAh 68wh con una autonomía promedio de 23 minutos los que permite tener seguimiento del porcentaje de carga.
- Avance y tiempo de vuelo: teniendo en cuenta el *GPS* y la telemetría que proporciona el dron, se pudo tener un control del avance y posicionamiento del dron con respecto al recorrido programado en la línea de vuelo.

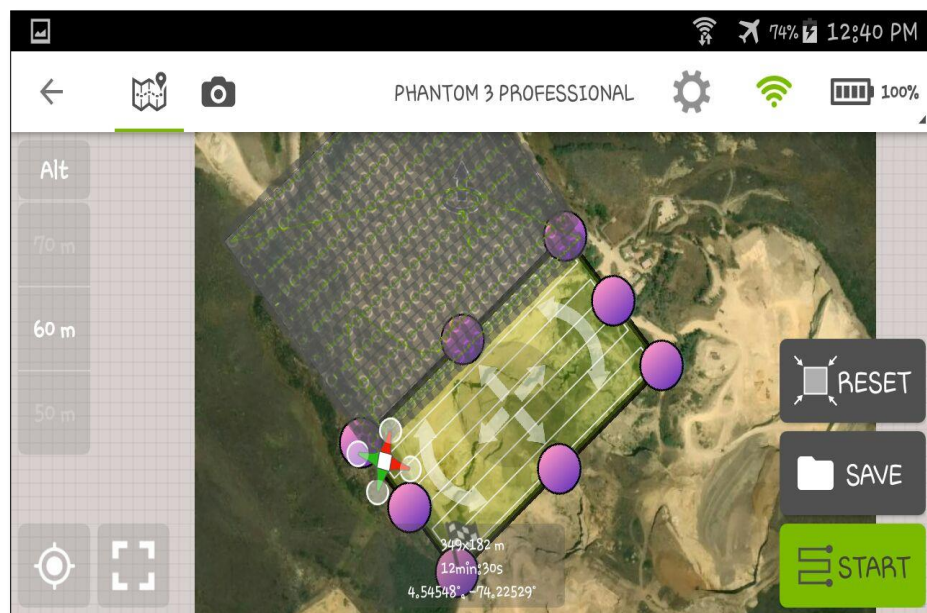


Imagen 181. Avance y tiempo de vuelo.

#### 7.3.4. Etapa 4. Correcta adquisición de imágenes geo codificadas.

Al finalizar la línea de vuelo se verificó que las fotografías tomadas por equipo se encuentran correctamente geocodificadas para el posterior uso en el *software*.

Para la verificación de la geocodificación se consideró la observación de las propiedades de la imagen, que contenga la información geográfica que es de importancia.

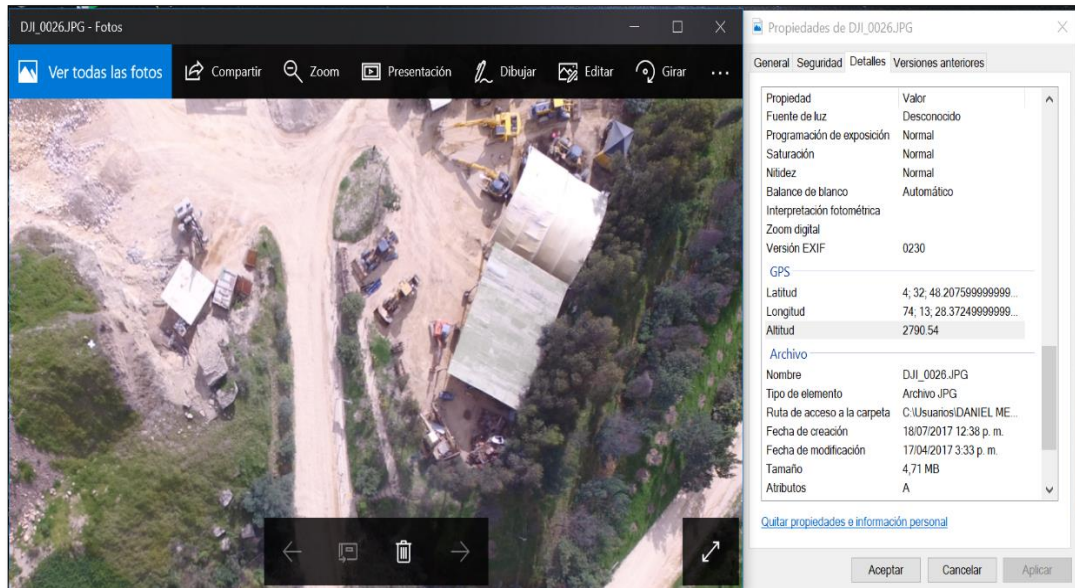


Imagen 19. Verificación del metadato de las imágenes capturadas por el *Drone*.

#### 7.4. PROCESO 3. PROCESAMIENTO DE DATOS DEL VUELO (OBTENCIÓN DE PRODUCTOS)

##### 7.4.1. Almacenamiento de imágenes geo codificadas para el procesamiento inicial en el *software*.

- Para la ejecución de este paso se procede a almacenar en una carpeta las imágenes capturadas por el *Drone*, las cuales se disponen a ser importadas al *software* para el procesamiento inicial de dicha información.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

- El primer paso para la importación de estas fotografías es la creación de un nuevo proyecto en el *software pix4D mapper* el cual almacena dichas fotografías, a partir de esto se procedió a buscar la dirección en que se va a guardar el proyecto.

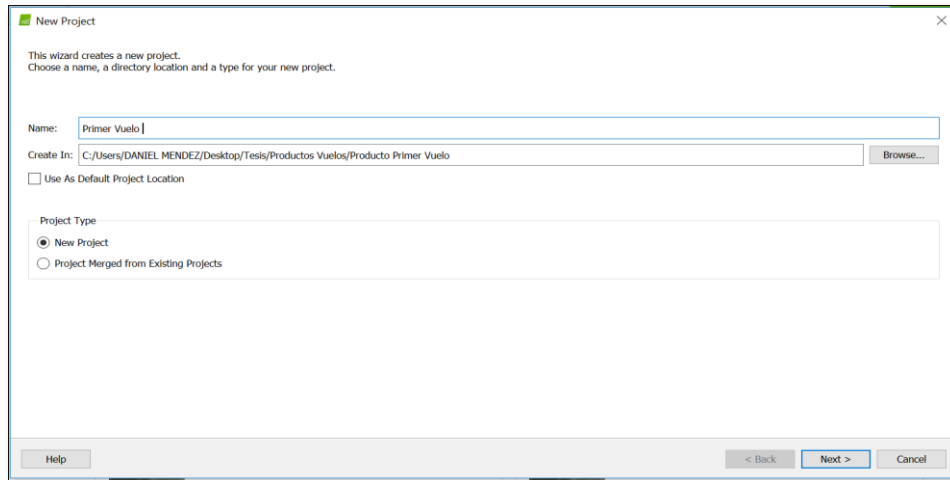


Imagen 20. Detalle de la dirección para guardar el proyecto

- Después, una vez generado el nuevo trabajo, se debe cargar las imágenes obtenidas en campo por el (VANT).

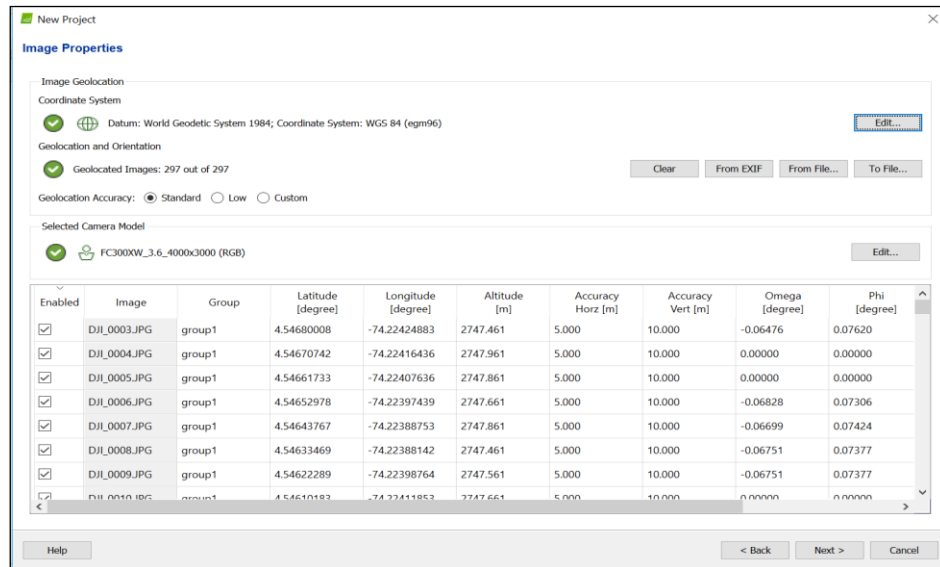


Imagen 21. Detalle de las imágenes cargadas.

- Cuando se cargan las imágenes, se despliega en la pantalla un informe general del proyecto, donde se ve el sistema de coordenadas, las imágenes geo localizadas, modelo de cámara con sus características para cada banda (Blue, Green, Red) y en la parte inferior aparecen las imágenes con sus características.
- Para el proceso se utilizó el *datum* el "World Geodetic System 1984" y para el sistema de coordenadas el *WGS 84 (egm96)*
- Clicamos al botón "siguiente" y nos aparece una pestaña donde nos dice que tenemos que seleccionar un sistema de coordenadas de salida. Aquí, he puesto la forma auto-detectada donde es el *WGS84* con *UTM 30*.
- En la siguiente imagen de procesamiento nos aparece el formato que queremos dar a nuestro informe final. Elegimos el de *Mapas 3D*, pero hay que estar atento de quitar la opción de "iniciar el proceso ahora", porque si no se va a empezar procesando los datos sin cambiar los parámetros necesarios.

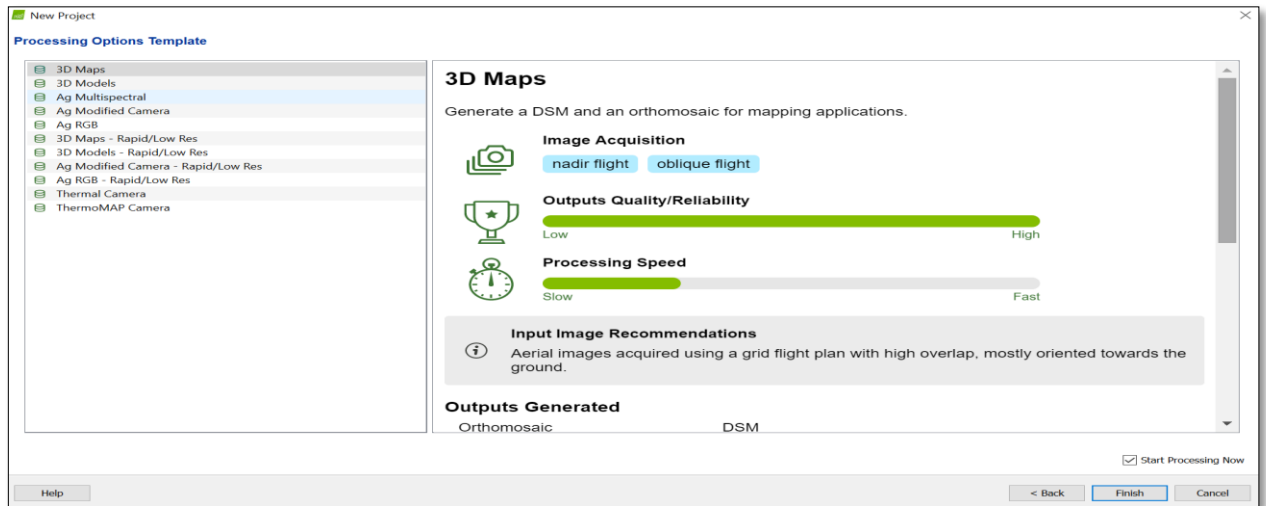


Imagen22. Detalle de formato para el informe final.

- Seguido todo este procedimiento, aparece la zona de trabajo junto con las imágenes tomadas. Ellas están apareciendo con una forma circular y con un color rojo y se puede detectar el inicio y el fin de vuelo, ahí donde los círculos son más grandes que los demás. Es donde, se encuentra el punto seguro de despegue

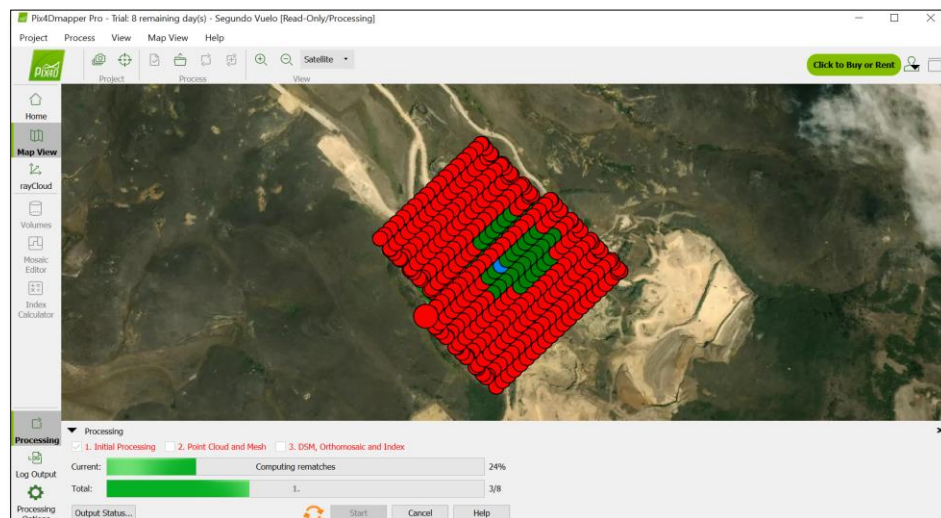


Imagen 23. Línea de vuelo puntos rojos.

#### 7.4.2. Generación de nube de puntos reconocimiento automático de pares entre imágenes en *software* de fotogrametría digital (área de triangulación)

Una vez iniciado el primer paso el *software* procede a realizar los diferentes procesos entre esos una nube de puntos como se visualiza en la siguiente imagen.

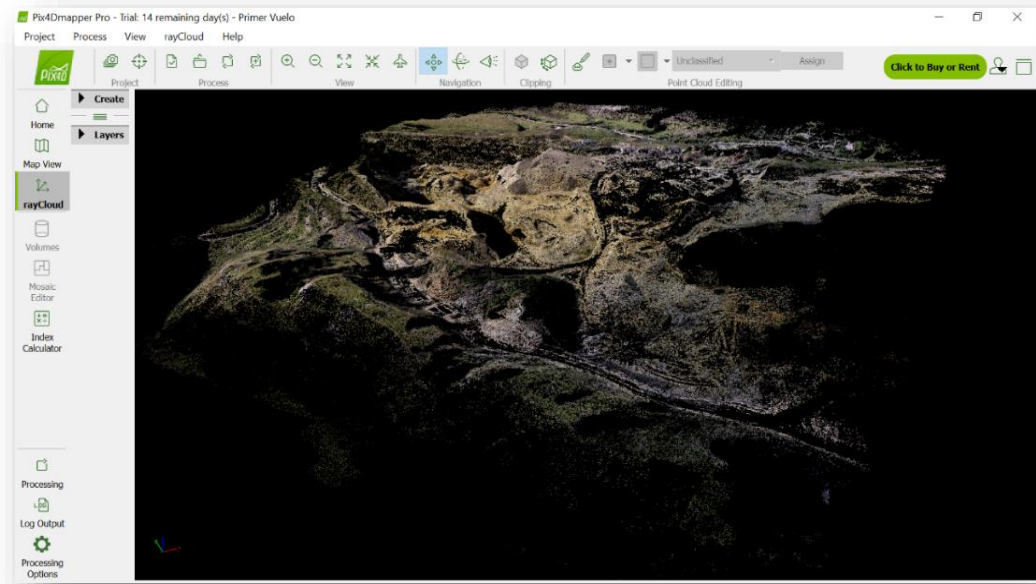


Imagen 24. Creación de la malla de puntos

En esta nube de puntos podemos observar morfología del terreno sin un buen detalle, esta nube de puntos se extrajo a partir de las fotografías tomadas con el *Drone*.

También podemos observar las coincidencias de puntos entre las fotografías lo cual permite la unión la información de todas las imágenes adquiridas.



**CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).**

puntos.txt: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

GPS6	994713.117	983572.523	2635.481	
N-2	994667.384	983710.958	2653.512	
PUNTO 00	994639.0798	983539.8271	2665.0541	
PUNTO 01	994708.8872	983404.1984	2658.8733	
PUNTO 02	994582.6055	983387.1281	2661.1878	
PUNTO 03	994443.3896	983426.202	2679.8701	
PUNTO 04	994423.3974	983516.0591	2662.8421	
PUNTO 05	994507.1739	983674.7055	2672.8994	

Imagen27. Coordenadas en formato txt.

Realizada la importación de puntos tomados en campo, se ingresa la siguiente información. Se procedió a editar el sistema de coordenadas, seleccionando así el sistema de coordenadas ajustado al *datum* local en este caso MAGNA-SIRGAS/ Colombia Bogotá zone.

GCP/MTP Manager

GCP Coordinate System

Datum: World Geodetic System 1984; Coordinate System: WGS 84 / UTM zone 18N (egm96)

GCP/MTP Table

Label	Type	X [m]	Y [m]	Z [m]	Accuracy Horz [m]	Accuracy Vert [m]
N-2	3D GCP	994667.384	983710.958	2653.512	0.020	0.020
GPS6	3D GCP	994713.117	983572.523	2635.481	0.020	0.020
PUNTO 00	3D GCP	994639.080	983539.827	2665.054	0.020	0.020
PUNTO 01	3D GCP	994708.887	983404.198	2658.873	0.020	0.020
PUNTO 02	3D GCP	994582.605	983387.128	2661.188	0.020	0.020
PUNTO 03	3D GCP	994443.390	983426.202	2679.870	0.020	0.020
PUNTO 04	3D GCP	994423.397	983516.059	2662.842	0.020	0.020
PUNTO 05	3D GCP	994507.174	983674.706	2672.899	0.020	0.020

0/8 GCPs with enough image marks

GCP/MTP Editor

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

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

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

rayCloud Editor... Basic Editor...

OK Cancel Help

Imagen28. Importación de las coordenadas das de georreferenciación.

**CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).**

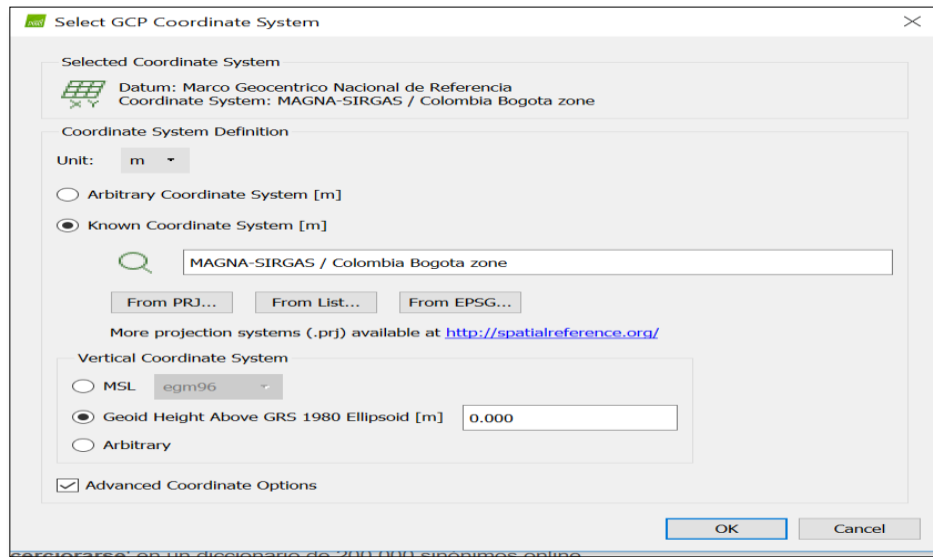
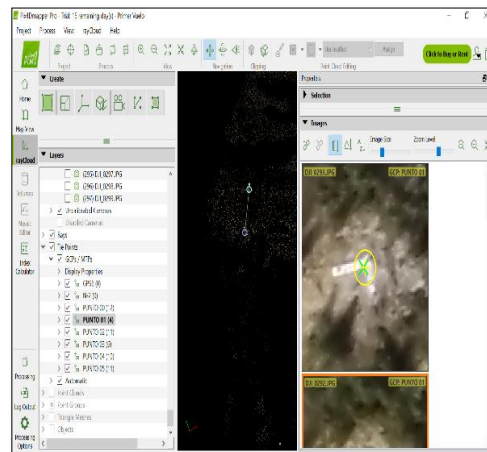
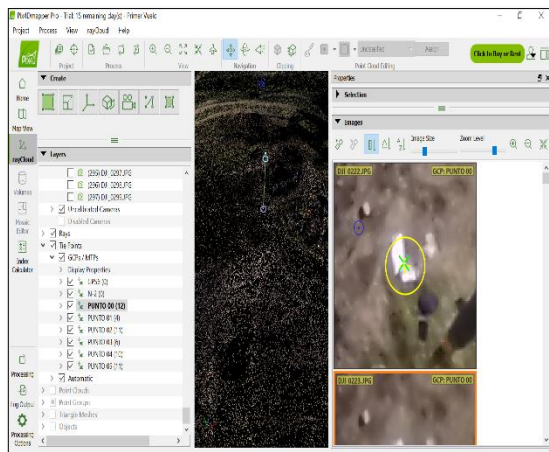


Imagen29. Configuración del Sistema de coordenadas

Se observa el desfase entre los puntos de control y la superficie de la nube de puntos y se considera que se debe realizar una georreferenciación por punto como se puede observar en las siguientes imágenes.



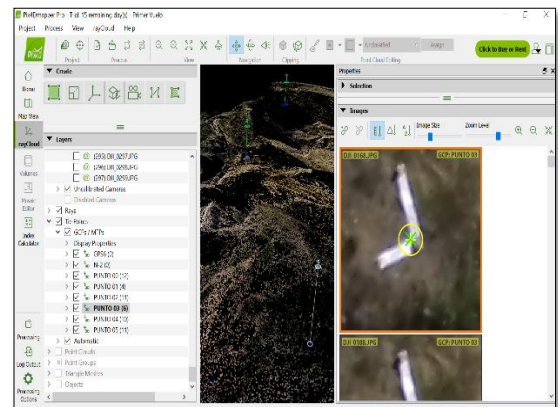
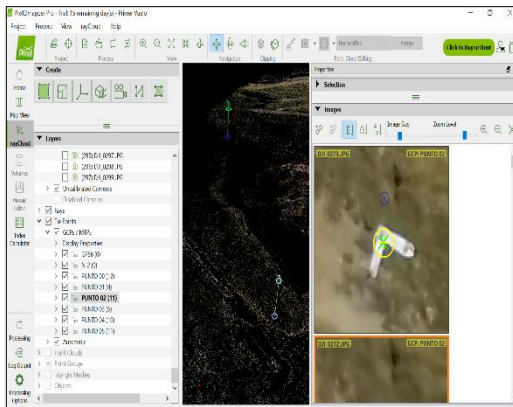
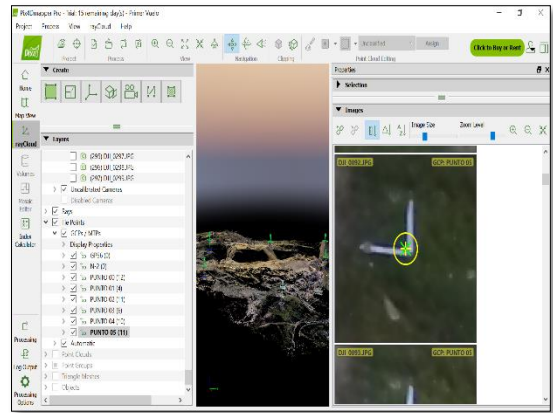
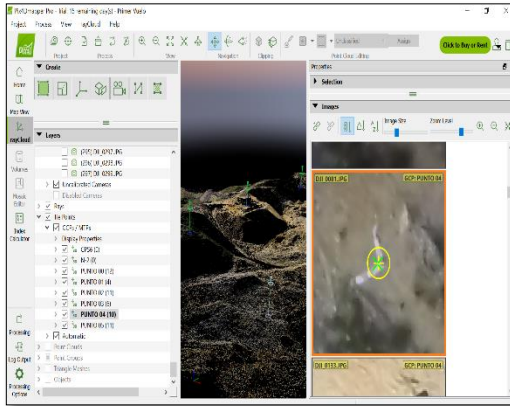


Imagen30. Corrección de la georreferenciación con los puntos de control en el terreno

Cuando se comprueban las propiedades de los puntos y que se tiene una óptima precisión, se utiliza la herramienta "*Reoptimize*" para ajustar mejor al terreno los puntos de control. En la anterior imagen se muestra los 6 puntos de control ya ajustados al terreno

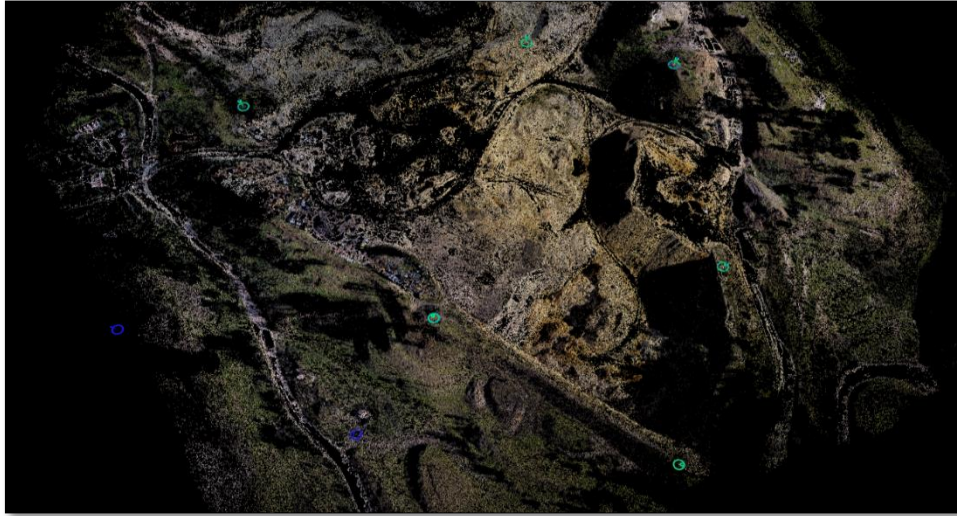



Imagen31. Nube de puntos geo referenciada.

Ya con la nube de puntos georreferenciada por cada punto de control establecido en el área de influencia, se observó que la georreferenciación del modelo cumple las siguientes características.

 <b>Georeferencing</b>	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.015 m
---	--

Un error promedio de 15 cm con respecto al ajuste de los puntos de control para el primer vuelo.

#### 7.4.4. Reprocesamiento de la nube densa con los puntos *GPS*

Ya con la nube de puntos georreferenciada se procede a densificar la nube de puntos este proceso es el segundo paso que realiza el software.

Este paso incrementa la densidad de los puntos 3D del modelo 3D calculado. Lo que genera una mayor precisión tanto para el *DSM* como para el Ortomosaico.

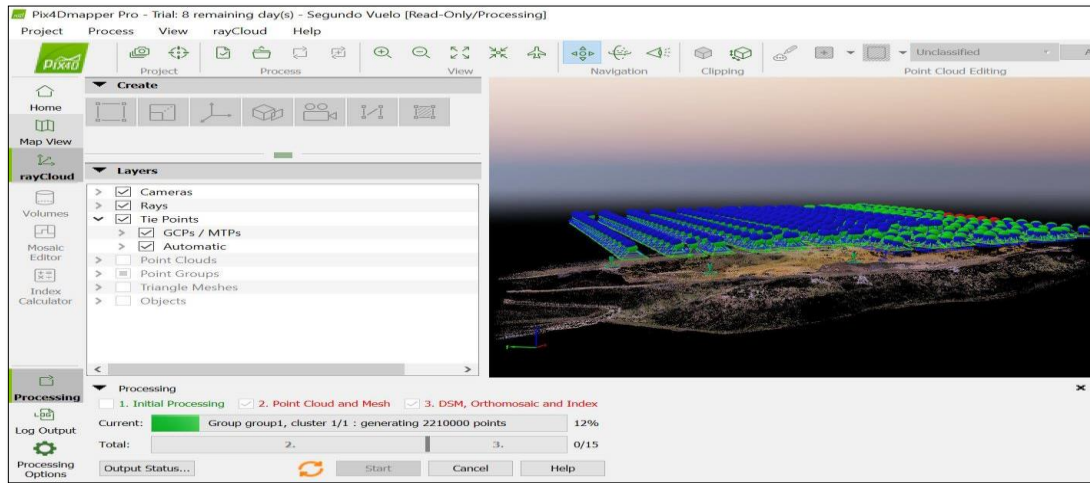


Imagen 32. Creación de la malla densa de puntos.

#### 7.4.5. Generación de T.I.N (Malla de triángulos irregular)

Ya terminada la densificación de nube de puntos se procede a generar una malla de triángulos irregulares o malla texturizada 3D, esta fue generada a partir de la nube de puntos del proceso inicial así dando mejor aspecto visual al modelo digital.

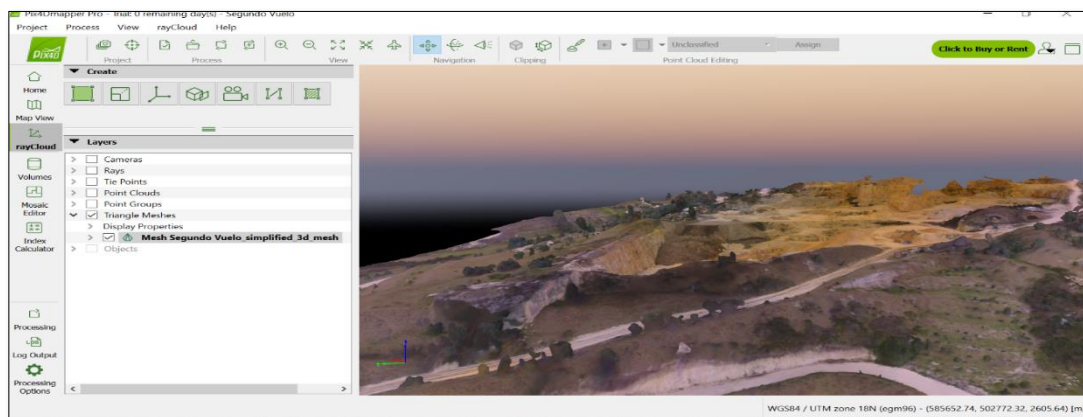


Imagen33. Malla de triángulos irregular

Realizado los pasos uno y dos el siguiente proceso a seguir es la generación del *MDS* y orto mosaico.

### Generación de MDS

Generado el modelo digital de superficie podemos visualizar las alturas correspondientes en el terreno teniendo en cuentas los valores de altura con respecto al nivel medio del mar que permitan caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

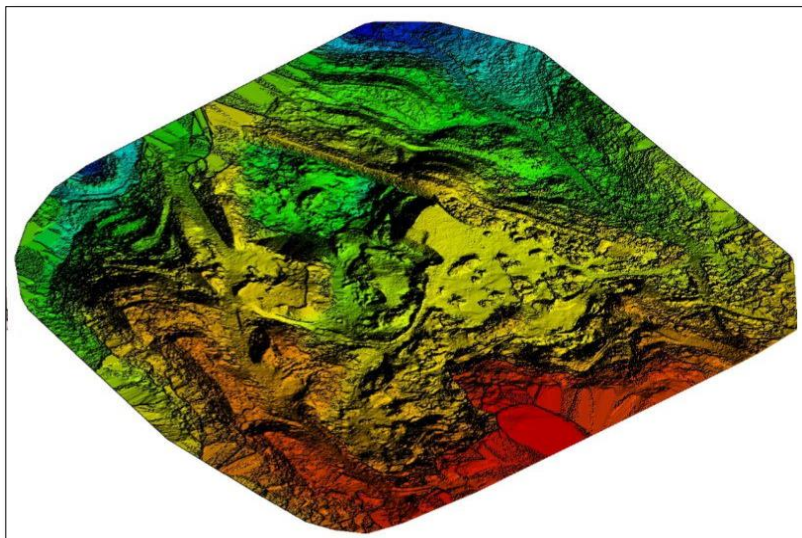


Imagen34. Modelo Digital de Superficie

#### 7.4.6. Generación de la orto imagen rectificada

Ya con la generación del *DMS* y la nube de puntos geo rectificada la consecución de este proceso es la generación de un Ortomosaico rectificado. Este Ortomosaico es el producto de las imágenes geo referenciadas y organizadas como un mosaico a partir de la colección de imágenes tomadas en la que la distorsión geométrica se ha corregido y orto rectificado.

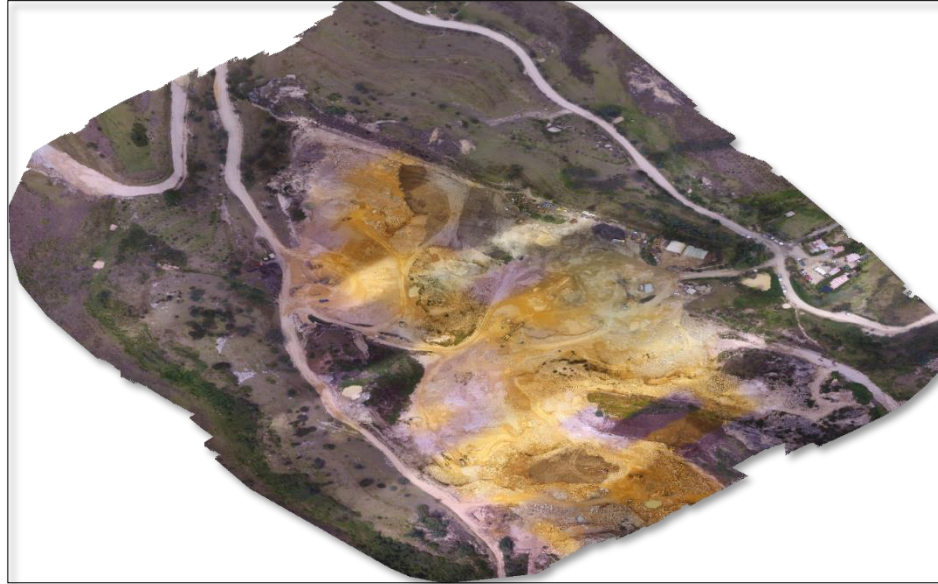


Imagen 35.otomosaico vuelo 3

#### 7.4.7. Definición del área de influencia directa a trabajar dentro del título minero de la cantera el vínculo

El área de influencia fue determinada por la cantidad de material existente en el frente para respaldar los cambios significativos en la morfología del terreno, ya que en este sector se presentan cambios volumétricos de gran interés.

#### PROCESO 4. PROCESO PARA EL CÁLCULO DE VOLÚMENES

A partir de la nube de puntos densificada y georreferenciada se realiza la interpolación de una malla regular para generar el modelo digital de elevación. Esta operación permite calcular volúmenes y estimar superficies en el área tridimensional realizada.

En el siguiente proceso que es el cálculo de volúmenes se realiza un polígono para cada una de las afectaciones y para cada uno de los vuelos realizados, en el cual se observó el cambio periódico de las zonas de influencia para así hacer el posterior cálculo.

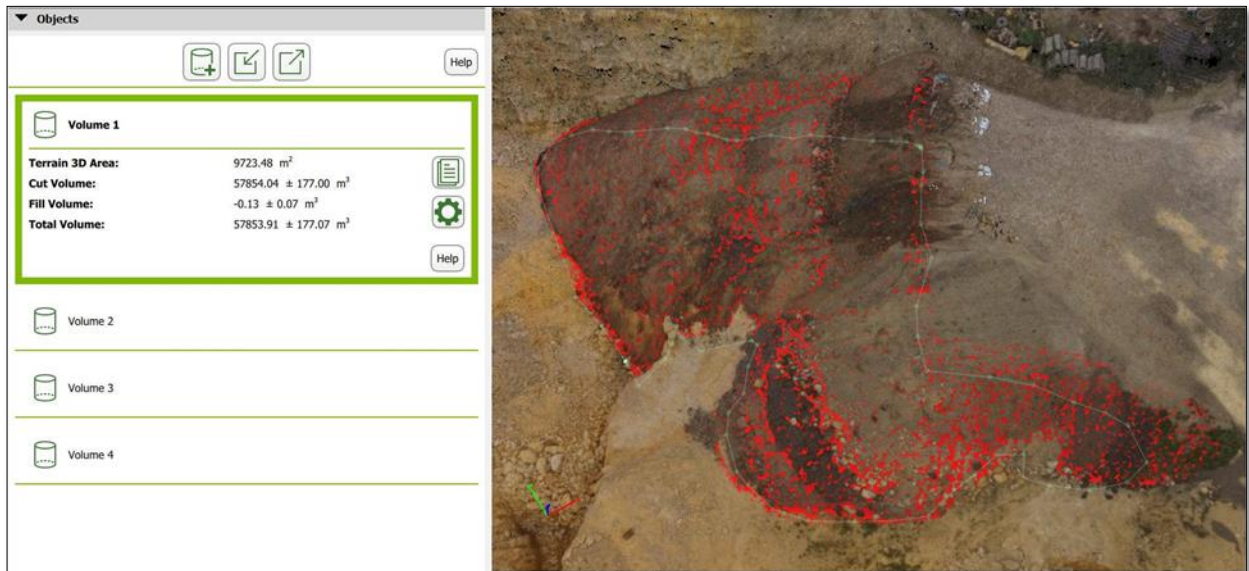


Imagen 2, Selección de polígono a realizar

El cálculo se ponderó según el punto más bajo del polígono realizado, así solo se tiene en cuenta el valor del volumen seleccionado en el polígono.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

### 8. RECURSOS

#### 8.1.HUMANOS

Para el desarrollo de este proyecto investigativo fue necesario el acoplamiento de dos estudiantes de cartografía de los quienes fueron los que ejecutaron las siguientes actividades:

- Realizar las líneas de vuelo.
- Ejecución del vuelo.
- Solicitar asesoría.
- Realizar los postprocesos.
- La obtención de información de diferentes fuentes.

#### 8.2.INSTITUCIONALES: FISICOS, LOGISTICOS Y/O TECNICOS

Para la ejecución de este proyecto fue necesaria la colaboración de la cantera “El vínculo” a quienes se les solicitó la información previa: el mapa del título minero que presenta el frente de explotación, permiso de ingreso a la cantera, elementos seguridad industrial, programa de tecnología en cartografía de la universidad de Cundinamarca asesorado durante el desarrollo del proyecto de grado.



CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

### 8.3.ECONOMICOS

#### 8.3.1. Presupuesto

Para la ejecución del proyecto se contó con un presupuesto de:

<b>PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PPROYECTO</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
<b>Curso de aprendizaje</b>	6	45.000	270.000
<b>Alquiler de (Drone phantom 3-4k)</b>	3	400.000	1.200.000
<b>Valor Hora Profesional</b>	1.900	3.900	7.410.000
<b>otros gastos</b>	1	300.000	300.000
<b>TOTAL</b>			<b>9.180.000</b>

#### 8.3.2. Financiamiento

El proyecto fue financiado por los integrantes del mismo, la inversión se realizó en partes iguales, el costo final fue de cuatrocientos cincuenta mil pesos (\$ 450.000) por cada uno sin tener en cuenta el valor profesional.



## 9. RESULTADOS

### 9.1. CALIDAD DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los datos geográficos contienen siempre algún tipo de error, referido a alguna de sus cuatro componentes: espacial, temática, de relación o temporal. El error puede ser considerado como desviación o distancia entre un valor medio y un valor real. En esta línea, el término exactitud se refiere a la proximidad de una observación a su valor real (Chrisman, 1991). Este término no debe ser confundido con el de precisión, que se refiere al número de decimales con el que se efectúa una medición. En principio es alcanzable la precisión que se desee, si bien en la práctica existe la limitación del número de bits que se utilizan para representar un valor en el ordenador. El establecimiento de unos ciertos niveles de calidad está en función de las necesidades reales del estudio que se realice. Evidentemente, una mayor exactitud posicional conlleva un coste mayor, lo que no siempre está justificado de acuerdo con los objetivos del estudio que se realice. Evidentemente, una mayor exactitud posicional conlleva un coste mayor, lo que no siempre está justificado de acuerdo con los objetivos del estudio que se realice. Atendiendo a la relación entre coste y calidad, el nivel óptimo para un estudio coincide con el nivel de calidad mínimo requerido para el mismo. Un incremento del nivel de calidad por encima de ese mínimo supone tener que soportar un coste adicional innecesario. Conviene considerar, además, que el aumento de los costes no tiene por qué ser proporcional al incremento de calidad: a partir de unos determinados niveles de calidad, un pequeño incremento de calidad puede significar un aumento desproporcionado de los costes.

Con respecto a la información anterior se entra a verificar si la información geográfica adquirida en este proyecto cumple con parámetros de calidad establecida ISO 19138

### 9.1.1. Exactitud posicional.

La exactitud posicional se refiere a la exactitud en la localización de los elementos sobre el plano en relación con la posición que realmente ocupan en el espacio.

Para ello se identificaron en los ortomosaicos generados un punto en común en los 3 vuelos lo que permitió saber cuál fue el desfase de un modelo a otro marcándolo con un punto y así realizando su medición para analizar el desplazamiento.

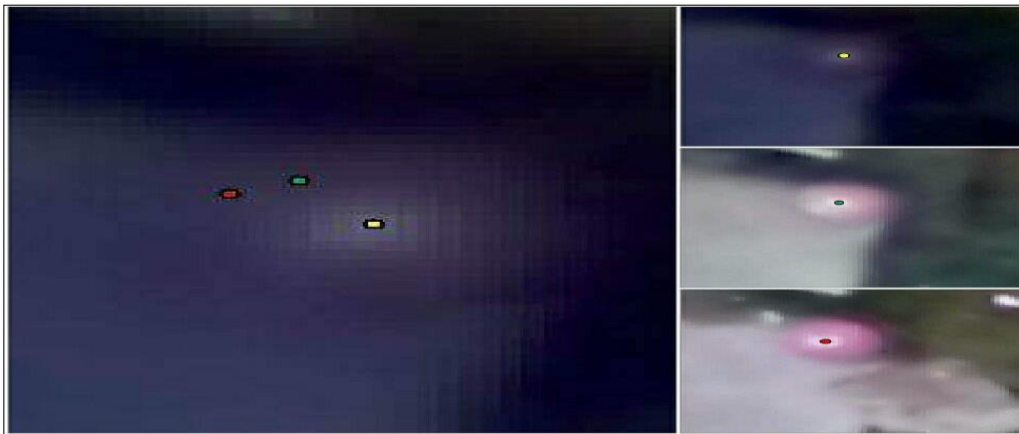


Imagen36. Diferencia entre punto de control en 3 ortomosaicos.

Punto	Coordenada X	Coordenadas Y	Distancias entre puntos en (cm)	
vuelo 1	983634,5441	994582,2543	vuelo 1-2	19,482397
vuelo 2	983634,4286	994582,4112	vuelo 2-3	11,772119
vuelo 3	983634,3217	983634,3217	vuelo 1-3	24,684357

Imagen 37.Diferencias de coordenadas entre los ortomosaicos.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

Los resultados obtenidos del proceso metodológico se reflejan en los valores cambiantes de los materiales, en los que se procede a hacer un respectivo cálculo de volúmenes.

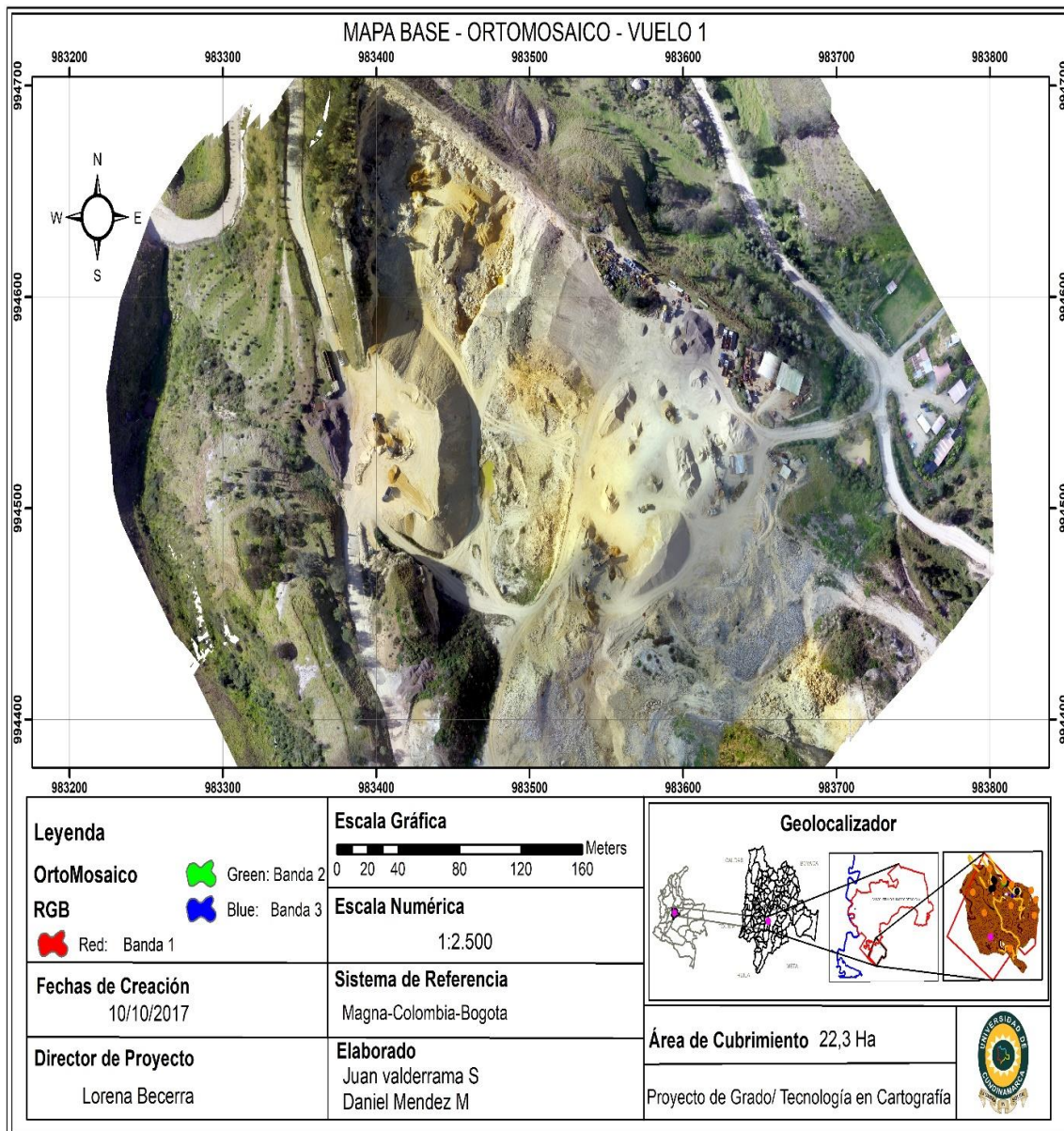
También se generó por vuelo un Ortomosaico en el cual se representa el área de influencia y los polígonos a los cuales se les aplico los respectivos cálculos de volúmenes.

En el respectivo resultado se expone las características de la superficie y la información obtenida.

### 9.2. Características de los resultados expresados en los Ortomosaico.

## PRIMER VUELO

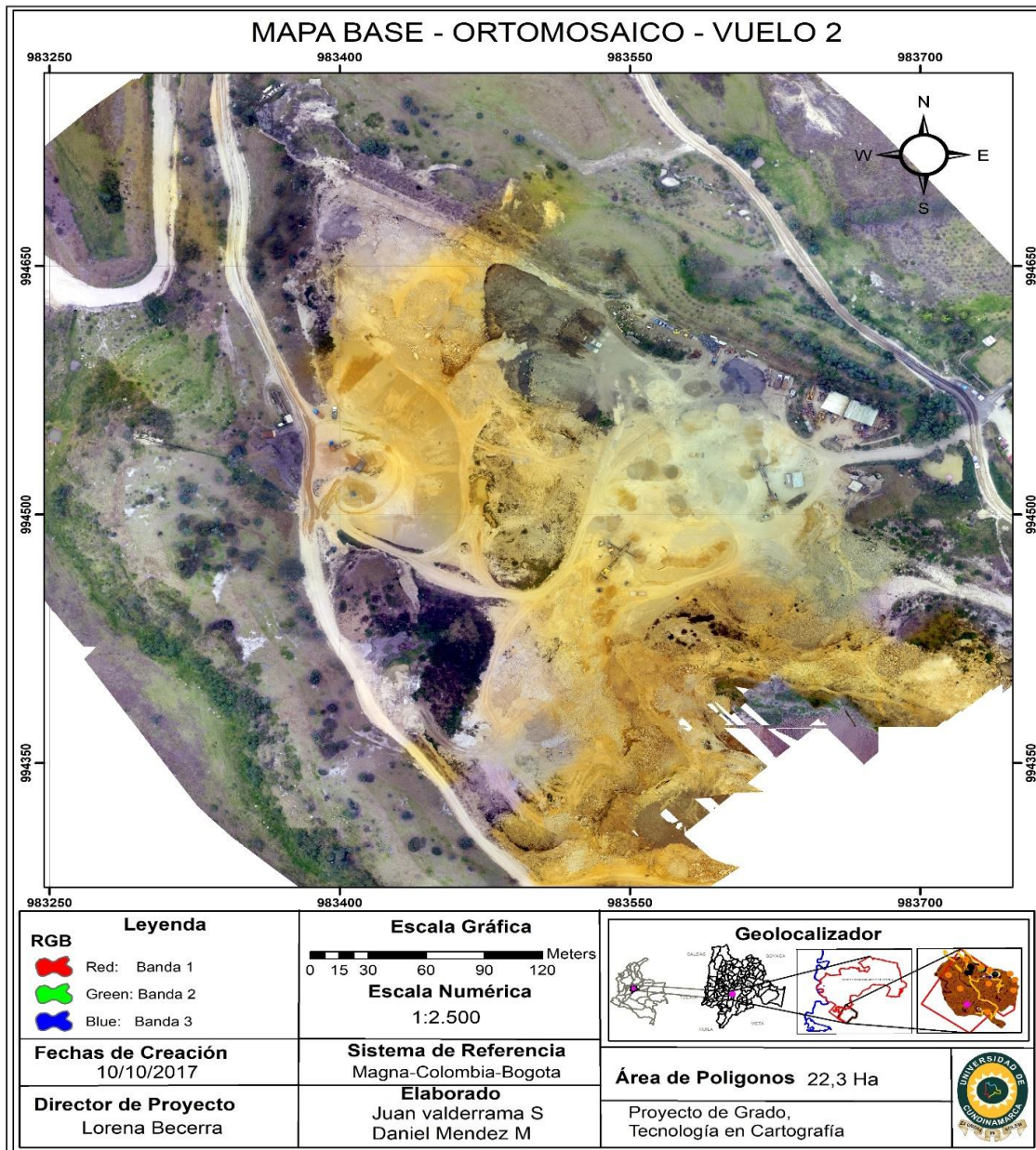
El siguiente mapa fue realizado con la información obtenida en el primer vuelo que se llevó a cabo el 31 de agosto del 2017.



Mapa 2. Ortomosaico base del primer vuelo

## SEGUNDO VUELO

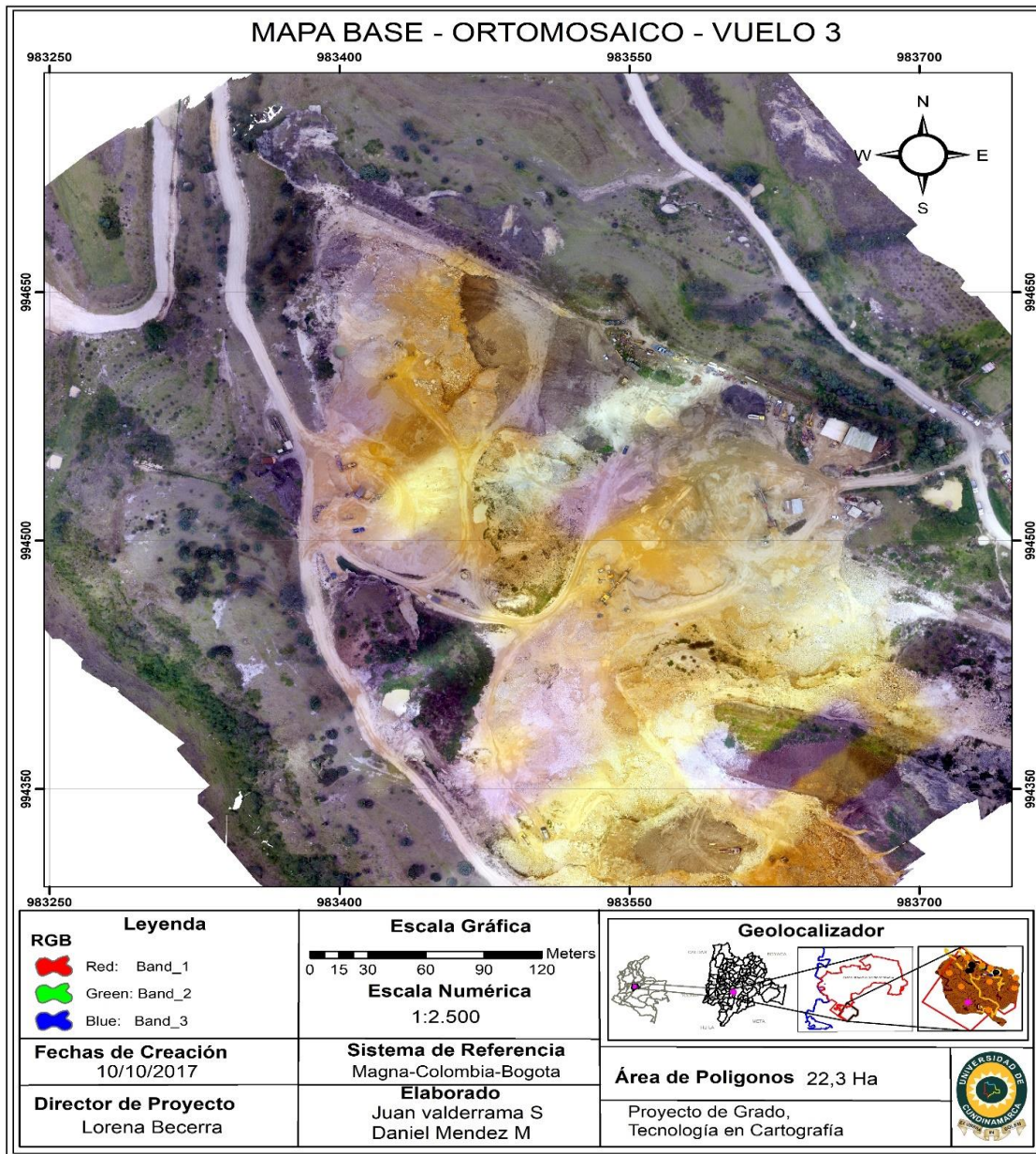
El siguiente mapa fue realizado con la informacion obtenida en el primer vuelo que se llevo acabo el 20 de septiembre del 2017.



Mapa 3. Ortomosaico base del Segundo vuelo

### TERCE VUELO

El siguiente mapa fue realizado con la informacion obtenida en el primer vuelo relizado el 10 de agosto del 2017.

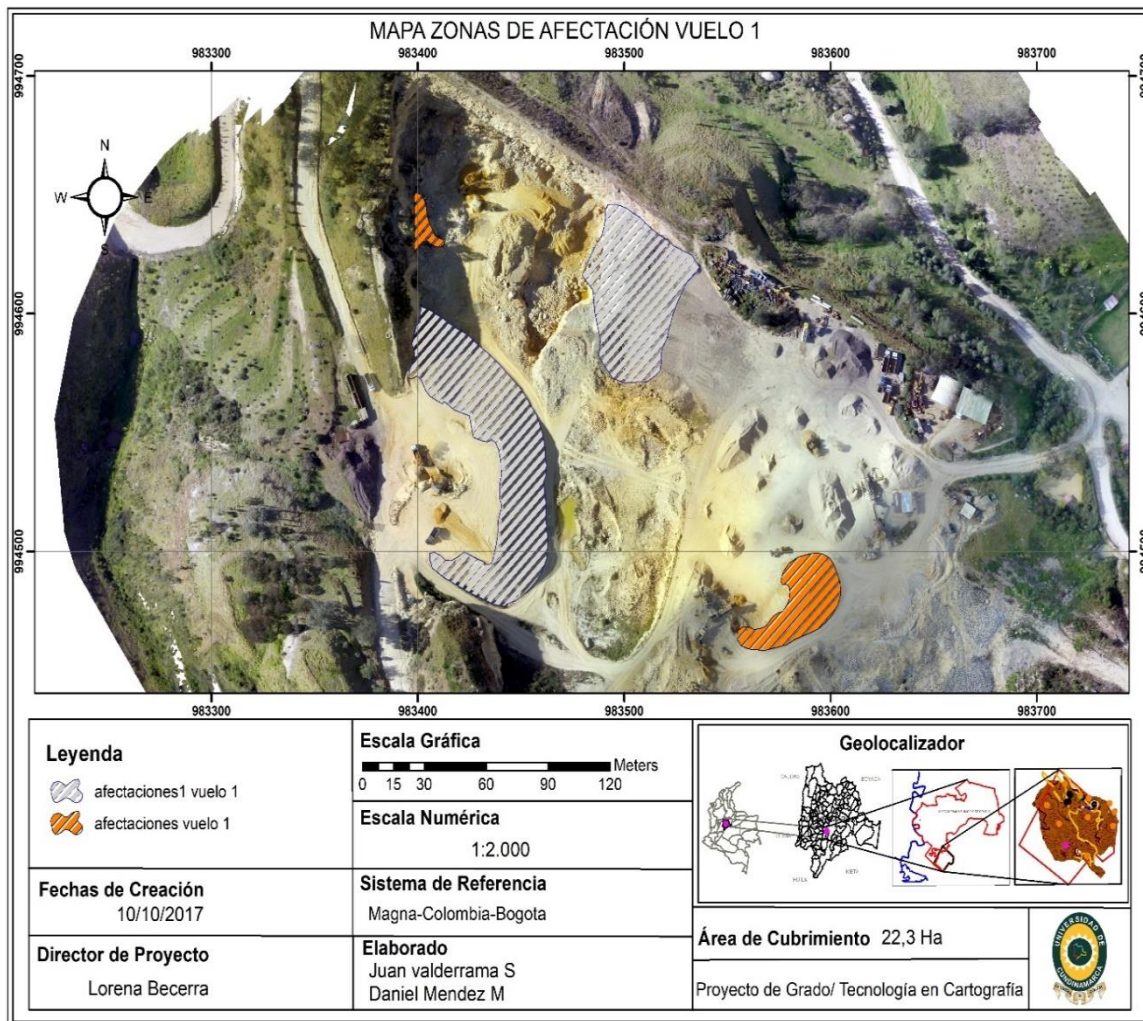


Mapa 4. Ortomosaico base del tercer vuelo

Dentro de cada uno de los vuelos se procede a establecer una serie de polígonos los cuales se definieron por el movimiento del material que se visualizó en los 3 vuelos realizados.

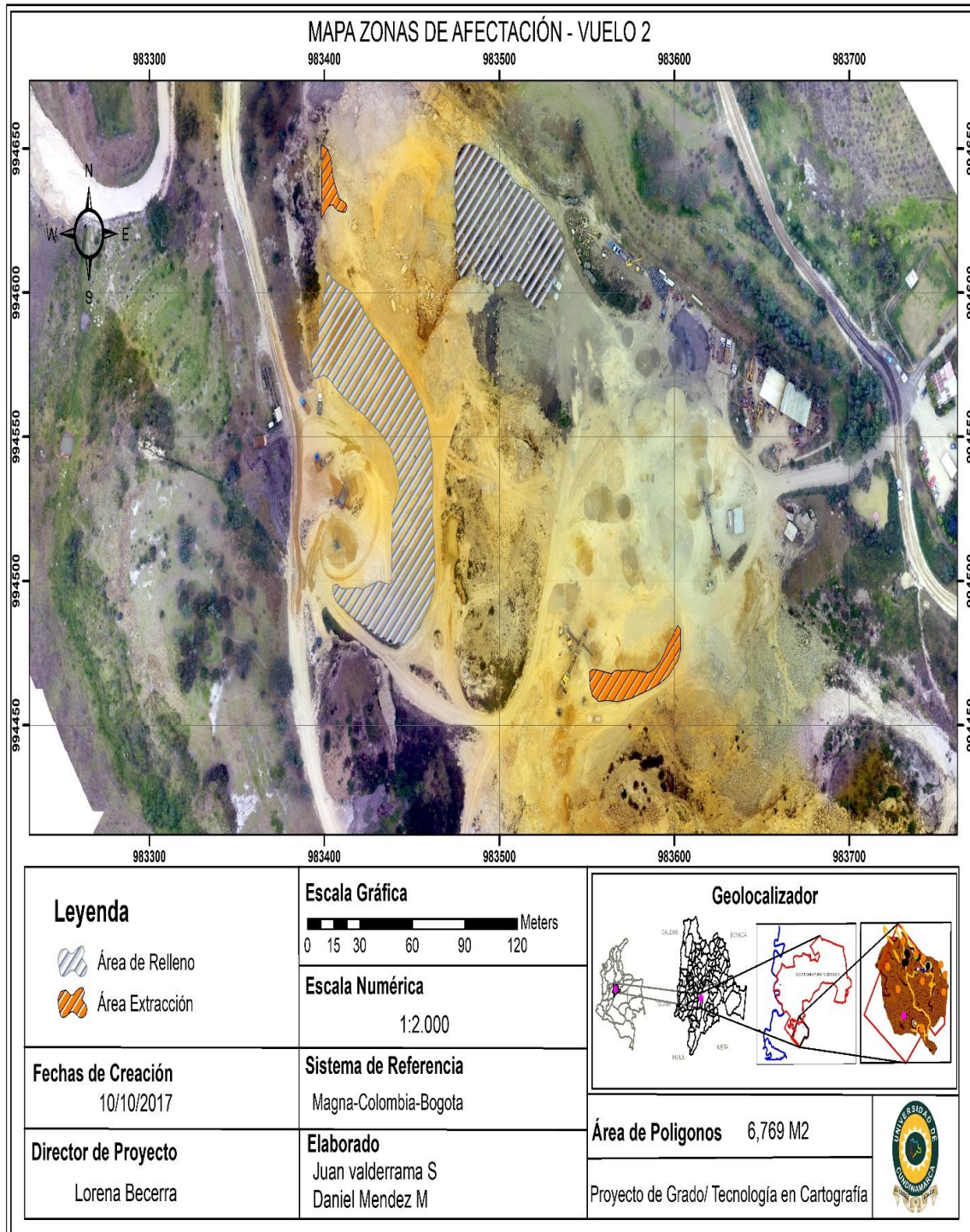
Para cada vuelo se definieron los siguientes polígonos expresados en los respectivos ortomosaicos. Este proceso se realizó para el vuelo 1, 2 y 3.

### 9.3. DEFINICIÓN DE LOS POLIGONOS DE AFECTACIÓN



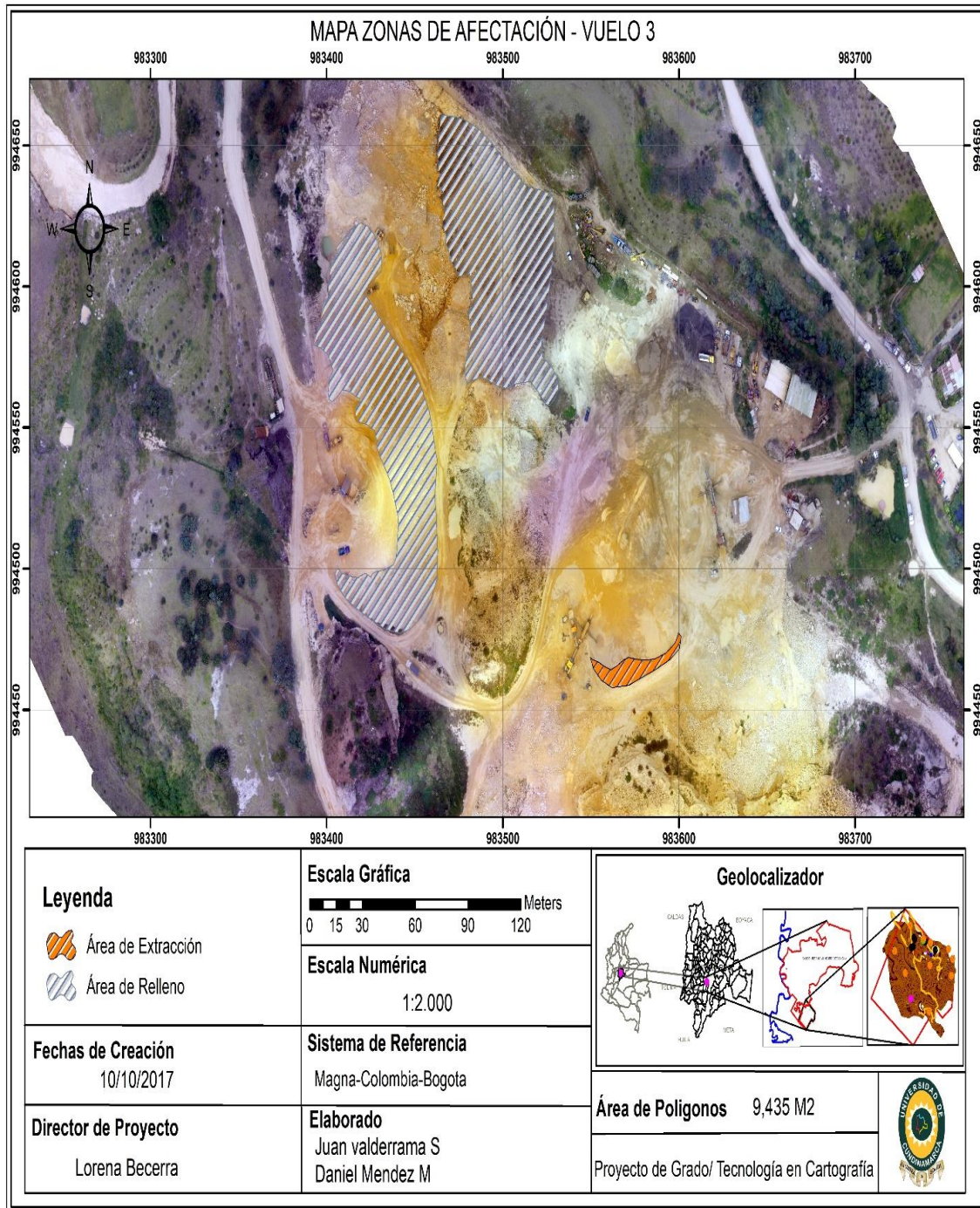
Mapa 5. Zonas de afectación zona de afectación vuelo 1

**CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).**



Mapa 6. Zonas de afectación de vuelo 2

CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).



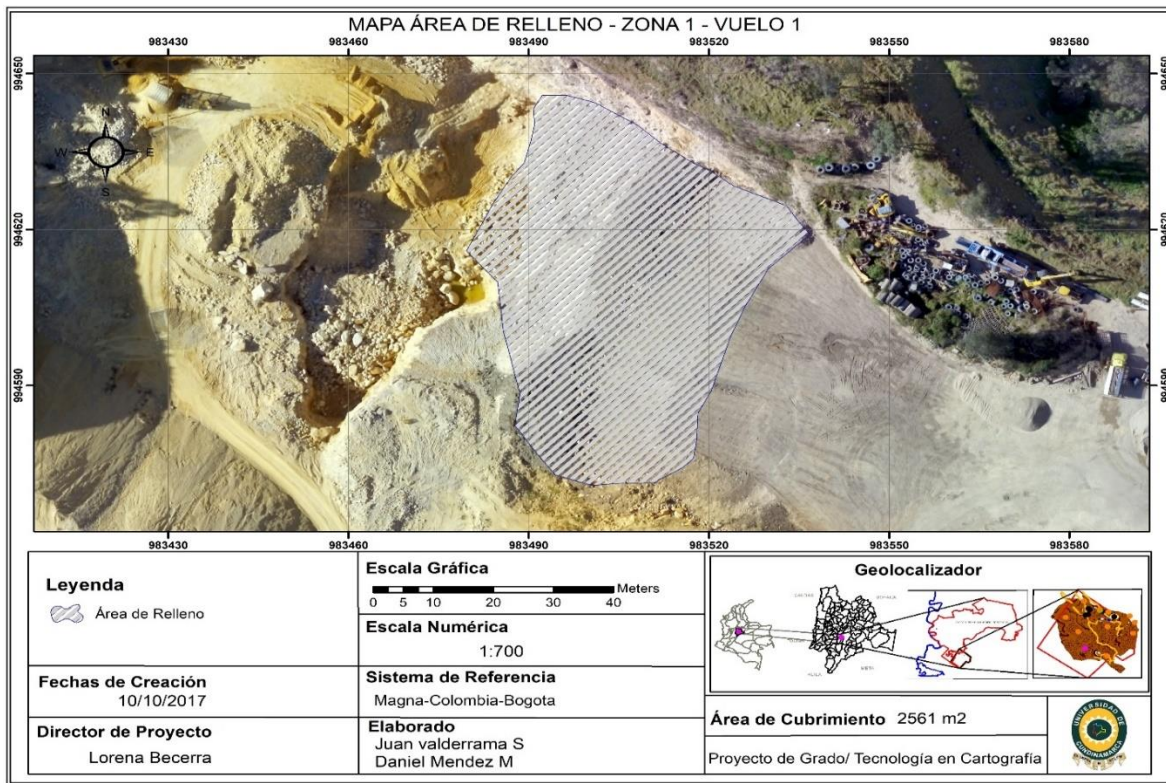
Mapa 7. Zonas de afectación vuelo 3

Con los polígonos definidos en cada uno de los ortomosaicos, se evalúa que cada uno de los polígonos. Con esto se procede a resolver que cantidad se tiene y que diferencia se va proyectar por el cambio multitemporal de los polígonos.

Se caracterizaron dos tipos de entidades para los polígonos, los cuales son las zonas de relleno y zona de extracción. Para ello la transformación de los polígonos se estableció con respecto al cambio de la morfología del terreno.

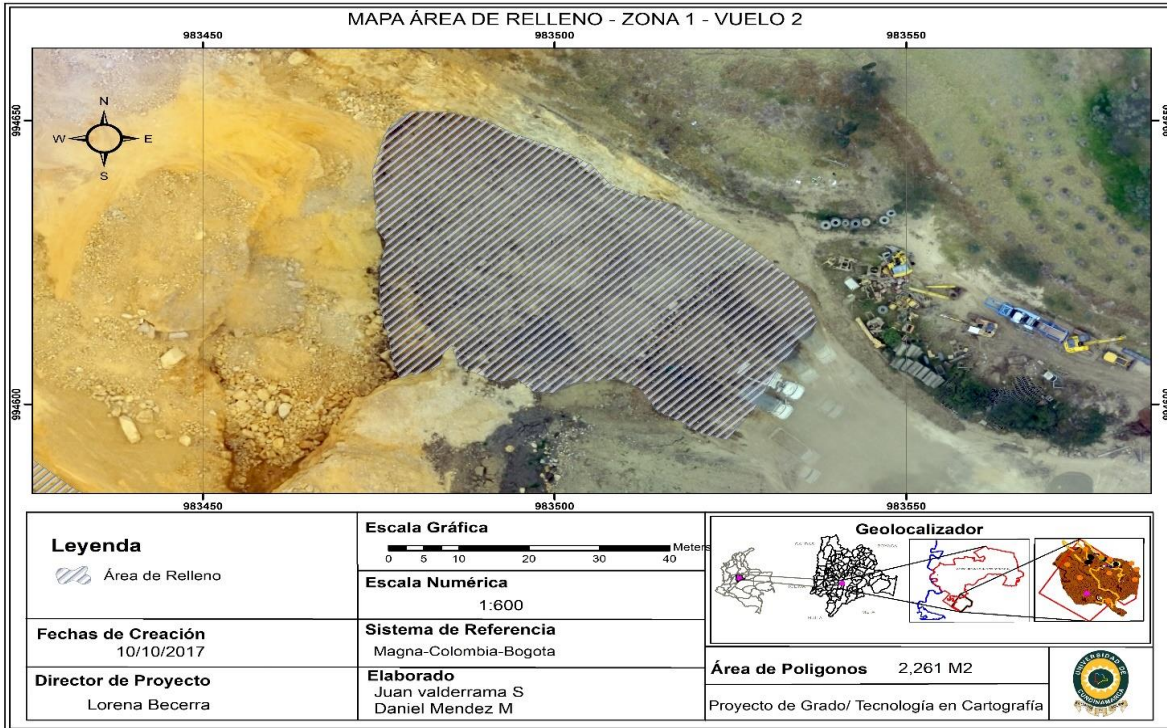
#### 9.4.DEFINICIÓN POR ZONAS INDIVIDUALES.

#### ÁREA DE RELLENO ZONA 1.

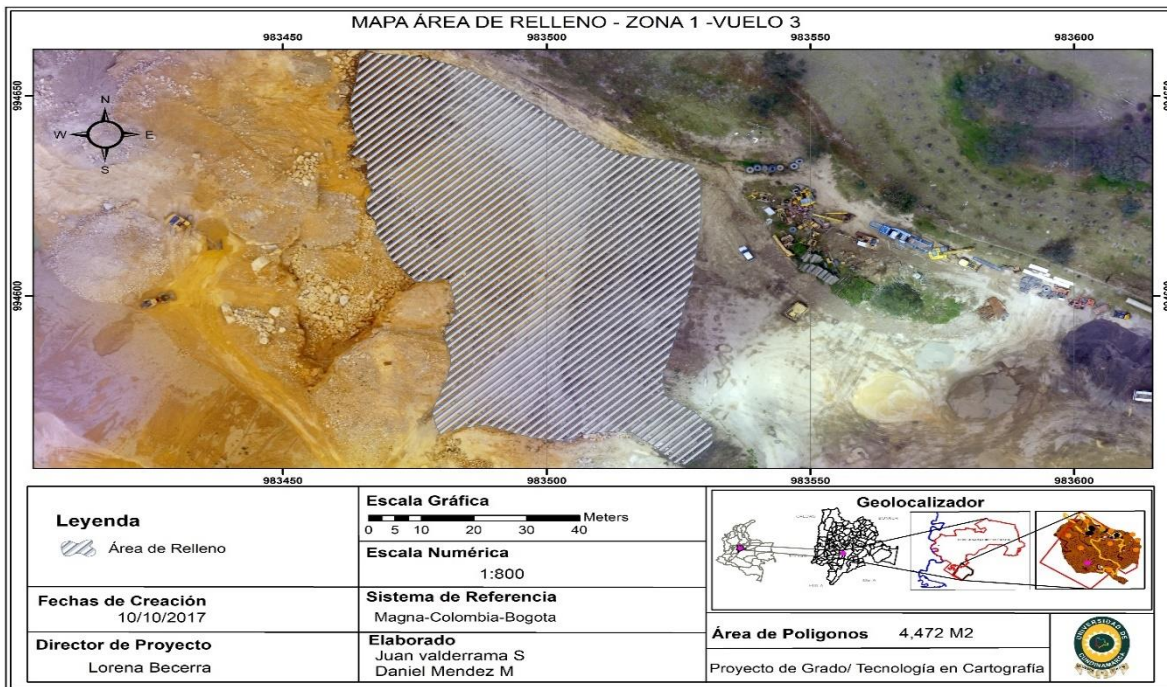


Mapa 8. Polígono de relleno zona 1 vuelo 1

CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).



Mapa 9. Polígono de relleno zona 1 vuelo 2



Mapa 10. Polígono de relleno zona 1 vuelo 3

**DESCRIPCIÓN DE LA ZONA 1.**

<p><b>Descripción de la zona 1 vuelo 1</b></p> <p>Se obtuvo en volumen :45.624m<sup>3</sup></p>	
<p><b>Descripción de la zona 1 vuelo 2</b></p> <p>Se obtuvo en volumen: 57.853m<sup>3</sup></p>	
<p><b>Descripción de la zona 1 vuelo 3</b></p> <p>Se obtuvo en volumen: 76.671 m<sup>3</sup></p>	

Tabla 4. Características de la zona 1.



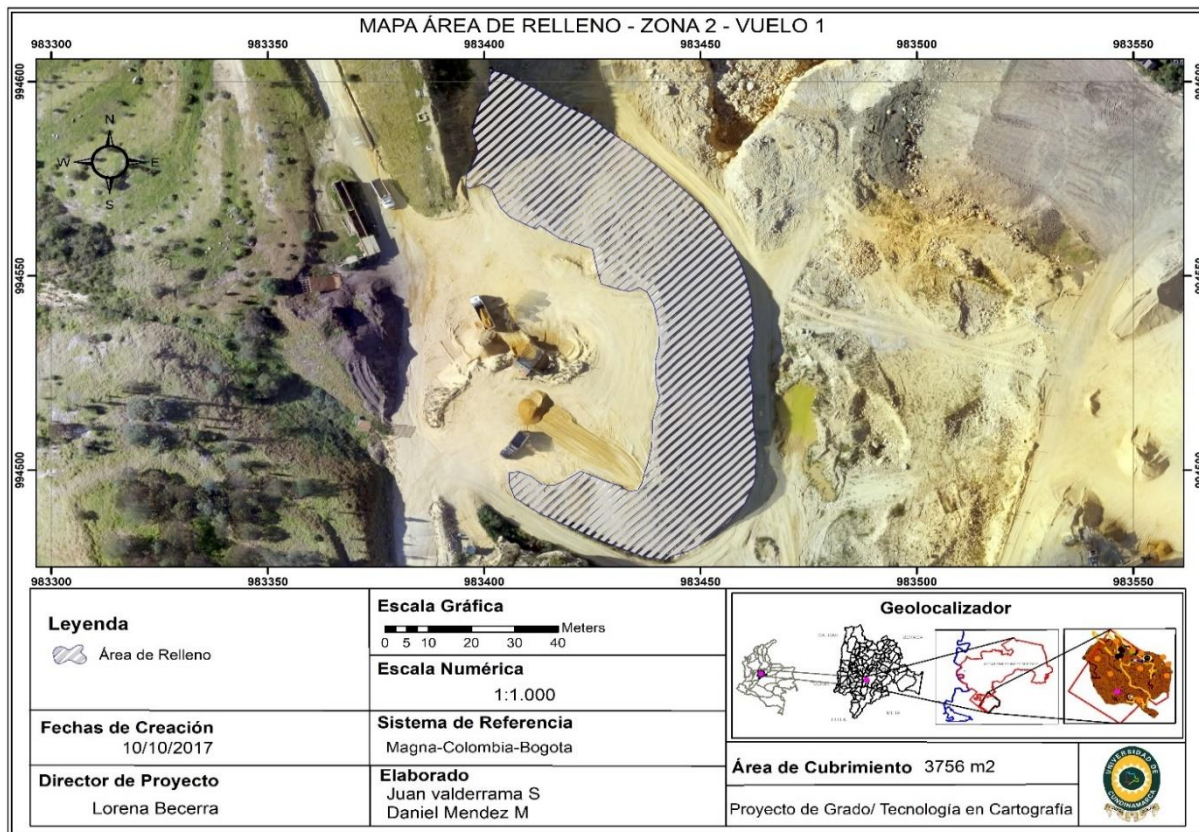
Imagen 38. Evidencia de transformaciones en la zona 1.

Zona 1	Volumen de Relleno		
	Diferencia		
	vuelo 1 al 2	vuelo 2 al 3	vuelo 1 al 3
	12.229 m	18.817 m <sup>3</sup>	31.046 m <sup>3</sup>
Cambios en 60 días			

Imagen 39. Gráfica de volúmenes por zona 1 y vuelos

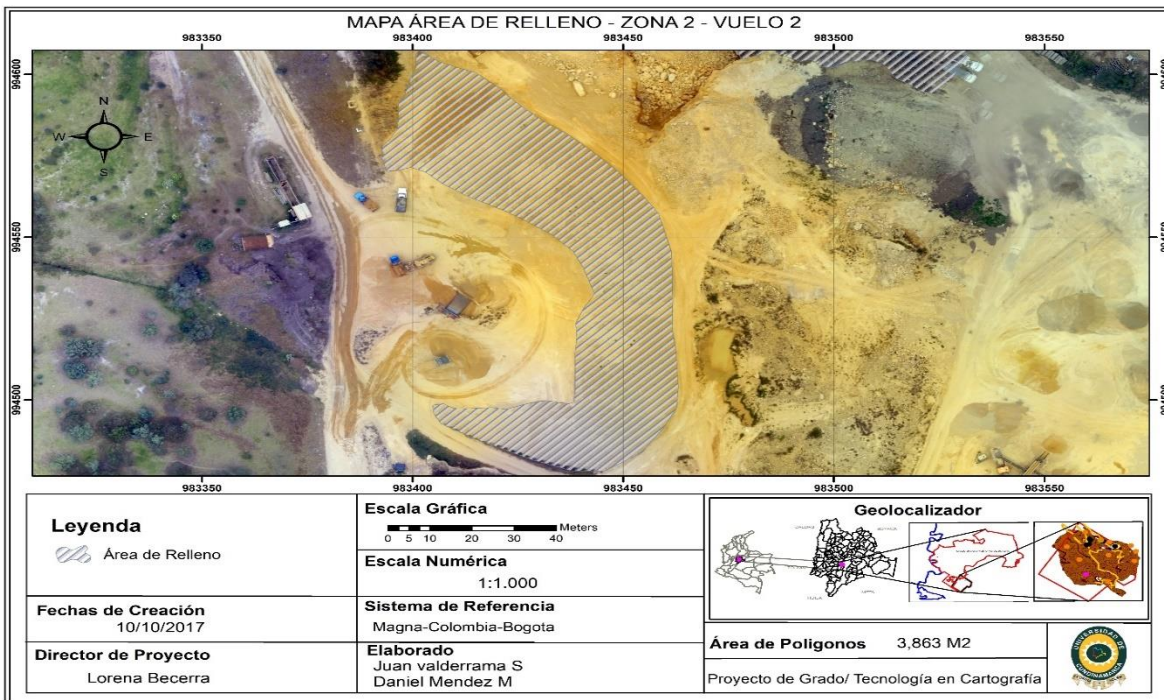
Como observación final, se pudo conocer que la diferencia en los volúmenes de relleno en la zona 1, del vuelo 1 al 2 es de 12.229 m<sup>3</sup> y del vuelo 2 al 3 de 18.817 m<sup>3</sup>, para un total de 31.046 m<sup>3</sup> de relleno en un periodo de 60 días.

## ÁREA DE RELLENO ZONA 2

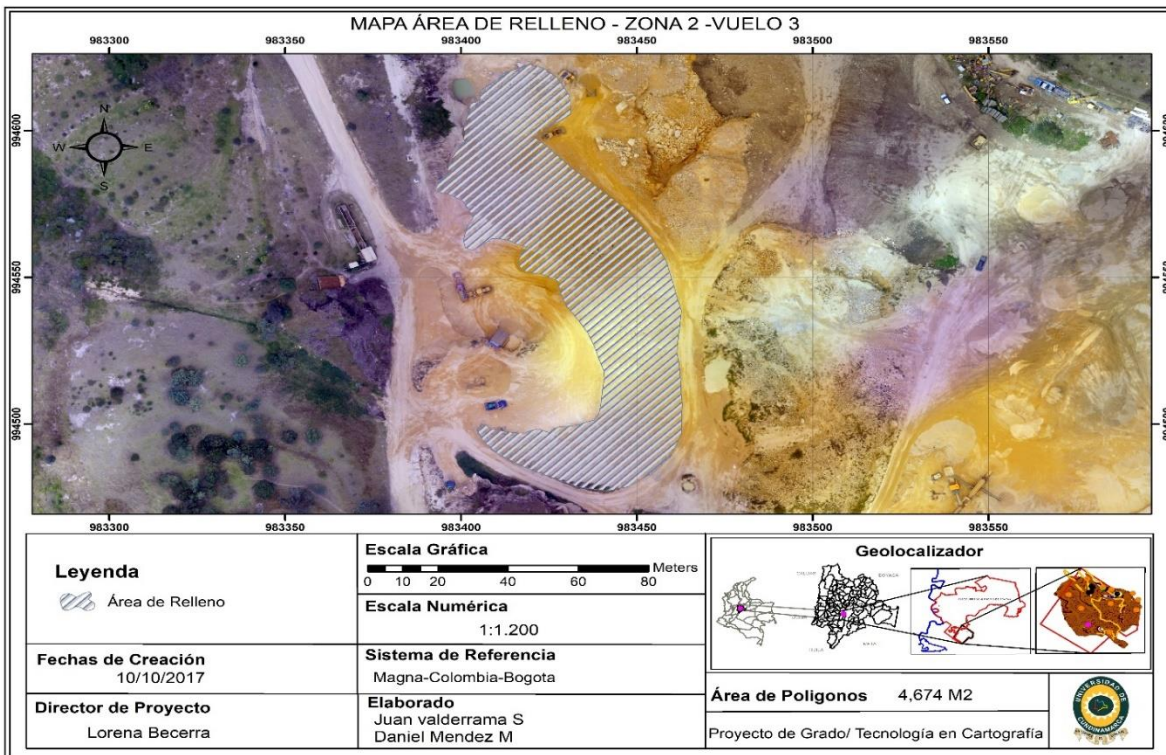


Mapa 11. Relleno zona 2 vuelo 1

CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).



Mapa 12. Relleno zona 2 vuelo 2



Mapa 13. Relleno zona 2 vuelo 3

<p><b>Descripción de la zona 2 vuelo 1</b></p> <p>Se obtuvo en volumen :56.879m<sup>3</sup></p>	
<p><b>Descripción de la zona 2 vuelo 2</b></p> <p>Se obtuvo en volumen :71.794m<sup>3</sup></p>	
<p><b>Descripción de la zona 2 vuelo 3</b></p> <p>Se obtuvo en volumen 86.510 m<sup>3</sup></p>	

Tabla 5. Características de la zona 2

Imagen 40. Evidencia de transformaciones en la zona 2



Imagen 41. Grafica de volúmenes por zona 2

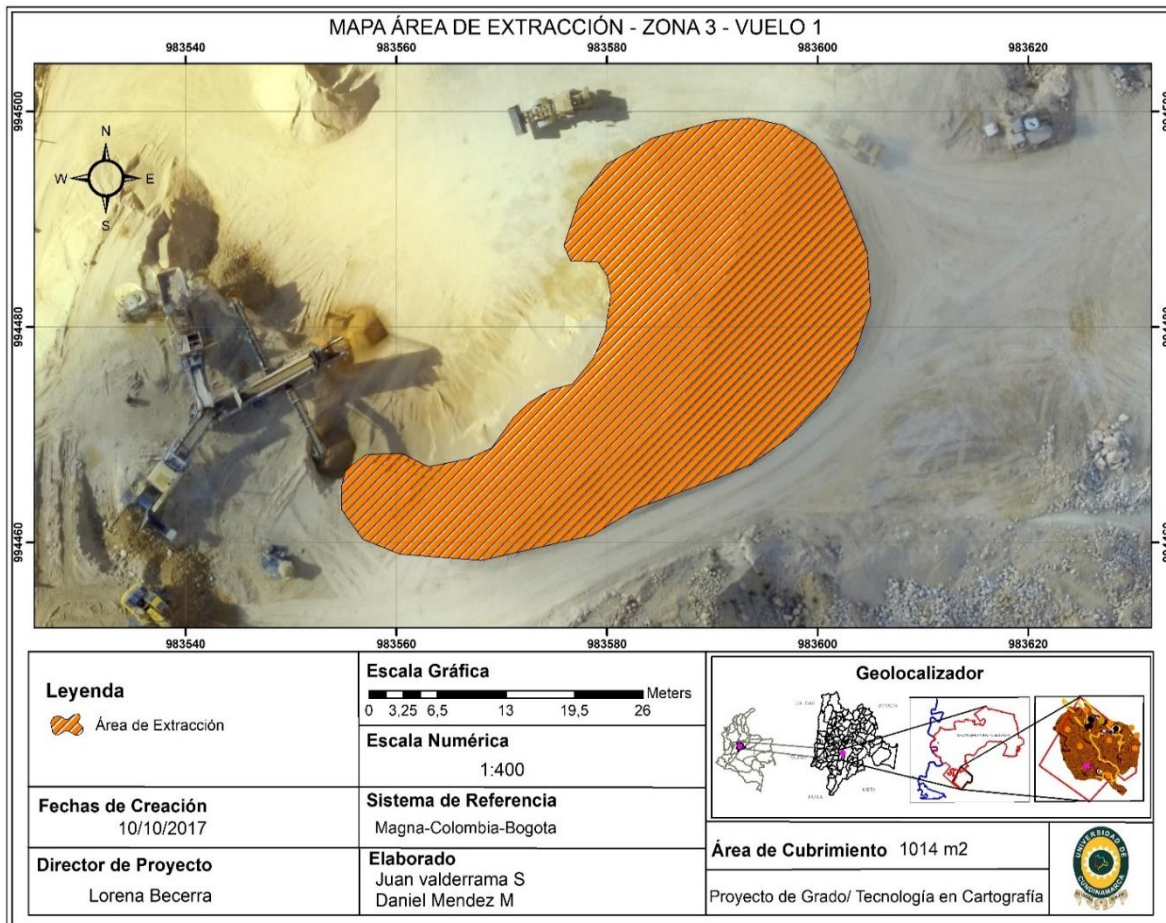
**CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).**

Zona 2	Volumen de Relleno		
	Diferencia		
	vuelo 1 al 2	vuelo 2 al 3	vuelo 1 al 3
	14.915 (m3)	14,716(m3)	44.546 (m3)
Cambios en 60 días			

Imagen 42. Gráfica de volúmenes por zona 2 y vuelos

Como observación final, se pudo conocer que la diferencia en los volúmenes de relleno en la zona 2, del vuelo 1 al 2 es de 14.915 (m3) y del vuelo 2 al 3 14.915 (m3), para un total de 44.546 (m3) de relleno en un periodo de 60 días.

**ÁREA DE EXTRACCIÓN ZONA 3.**



Mapa 14. Extracción zona 3 vuelo 1




<p><b>Descripción de la zona 3 vuelo 1</b></p> <p><b>Se obtuvo en volumen: 5.798m<sup>3</sup></b></p>	
<p><b>Descripción de la zona 3 vuelo 2</b></p> <p><b>Se obtuvo en volumen: 2.385 m<sup>3</sup></b></p>	
<p><b>Descripción de la zona 3 vuelo 3</b></p> <p><b>Se obtuvo en volumen: 2.037 m<sup>3</sup></b></p>	

Tabla 6. Características de la zona 3  
Imagen43. Evidencia de transformaciones en la zona 3

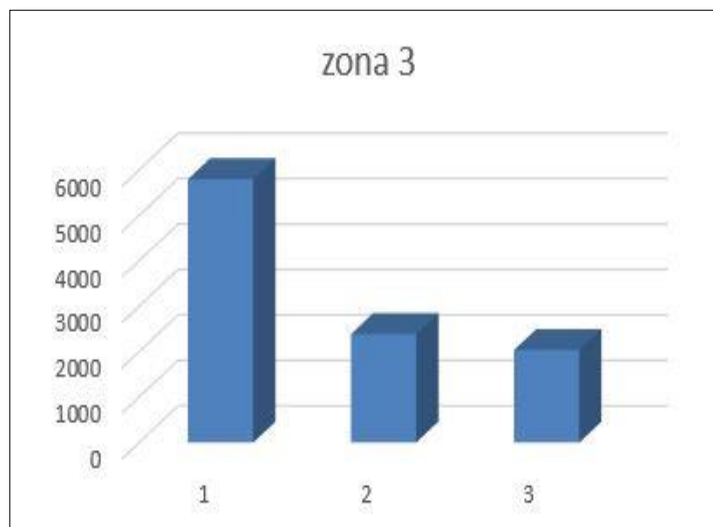


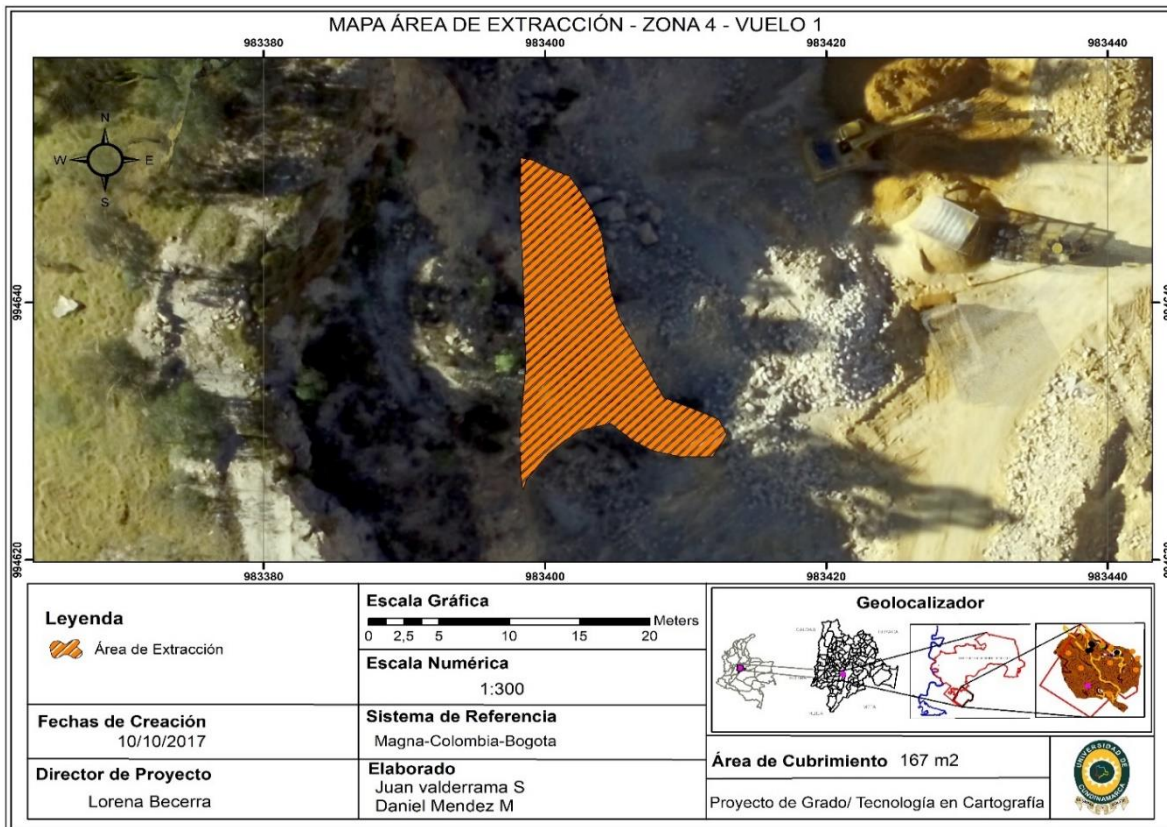
Imagen 44. Grafica de volúmenes por zona 3

Zona 3	Volumen de Relleno		
	Diferencia		
	vuelo 1 al 2	vuelo 2 al 3	vuelo 1 al 3
	3.413 (m3)	348 (m3)	3.761 (m3)
Cambios en 60 días			

Imagen45. Gráfica de volúmenes por zona 1 y vuelos

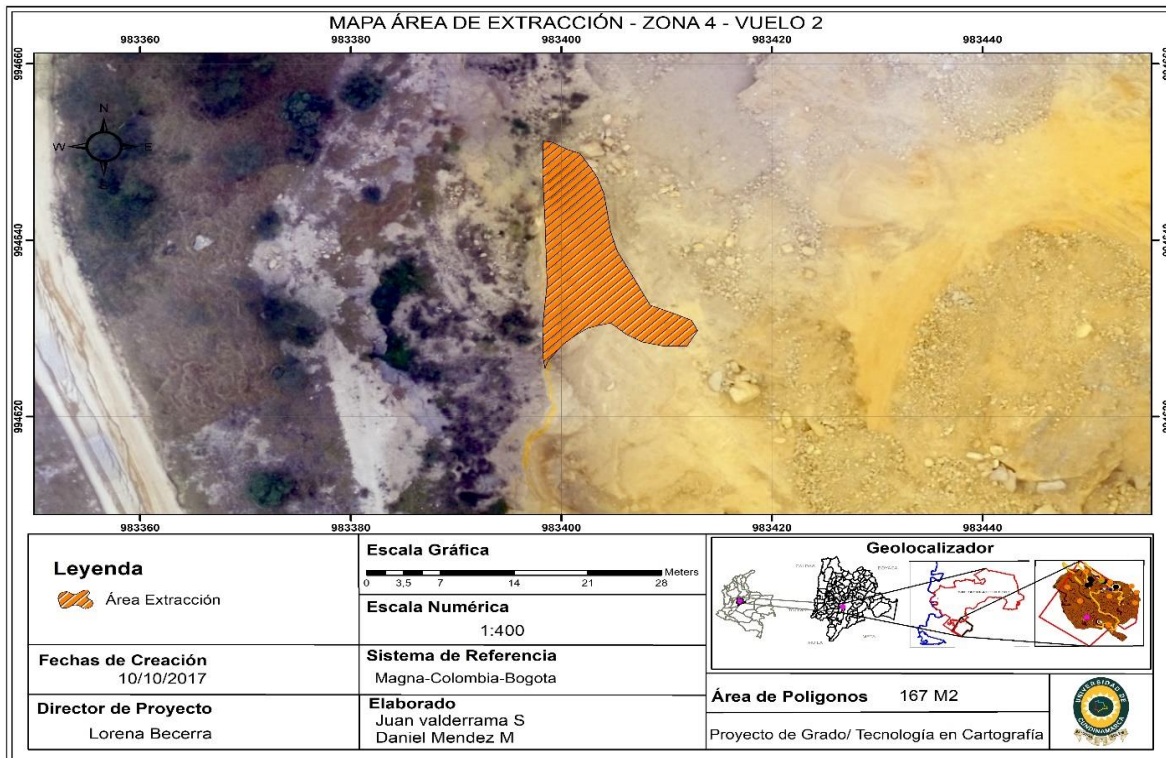
Como observación final, se pudo conocer que la diferencia en los volúmenes de extracción en la zona 3, del vuelo 1 al 2 es de 3.413 (m3) y del vuelo 2 al 3 de 348 (m3) , para un total de 3.761 (m3) de material de extracción en un periodo de 60 días.

#### ÁREA DE EXTRACCIÓN ZONA 4



Mapa 17. Extracción zona 4 vuelo 1

CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).



Mapa 18. Extracción zona 4 vuelo 2

<b>Descripción de la zona 4 vuelo 1</b>  <b>Se obtuvo en volumen: 350 m<sup>3</sup></b>	
<b>Descripción de la zona 4 vuelo 2</b>  <b>Se obtuvo en volumen: 207 m<sup>3</sup></b>	

Tabla 7. Características de la zona 4

Imagen 46. Evidencia de transformaciones en la zona 4

En la zona 4 del tercer vuelo no se obtuvo ningún valor ya que no se realizaron cambios en la zona, por lo tanto, se tuvo en consideración como un valor de 0.

Zona 4	Volumen de Relleno
	Diferencia
	vuelo 1 al 2
	143 m <sup>3</sup>
	Cambios en 60 días

Imagen 47. Gráfica de volúmenes por zona 4 y vuelos

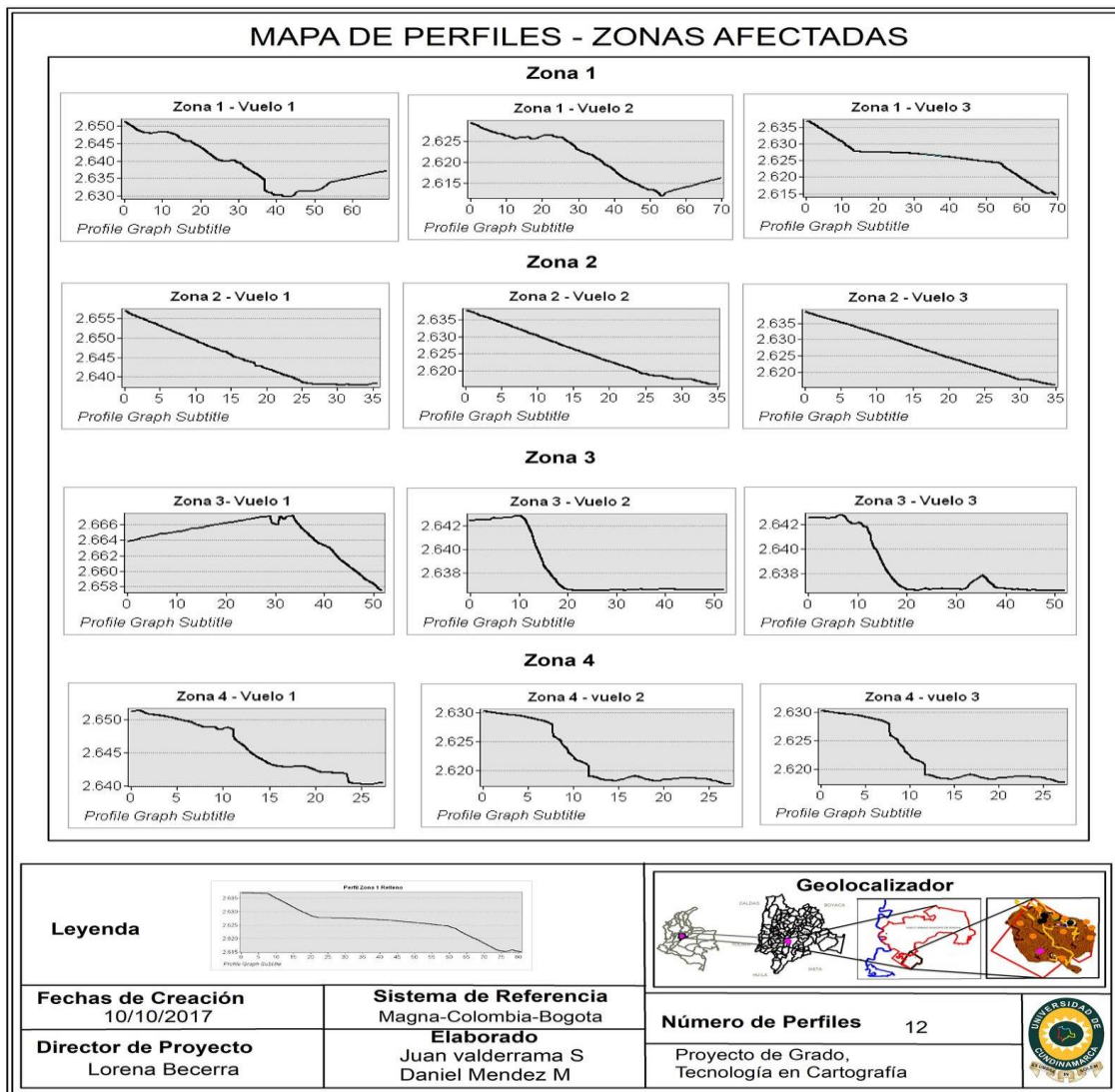


Imagen 48. Gráfica de volúmenes por zona 4

Como observación final, se pudo conocer que la diferencia en los volúmenes de explotación en la zona 4 del vuelo 1 al 2 es de 143 m<sup>3</sup> en un periodo de 60 días.

9.5.RECONOCIMIENTO DE LA TRANFORMACIÓN DE VOLÚMENES.

De los resultados se puede analizar que en el periodo de 60 días en la cantera el vínculo se tuvo una mayor cantidad de material de relleno que de explotación, pudiendo considerar que aumentaba periódicamente los volúmenes.



Mapa 19. Mapa de Perfiles por polígonos

Con el apoyo de los perfiles realizados por cada zona de afectación en los 3 vuelos se comprueba la transformación ascendente y descendiente del volumen existente en las zonas.

### 9.6.ESTADISTICAS TOTALES DE RELLENO Y DE EXTRACCIÓN.

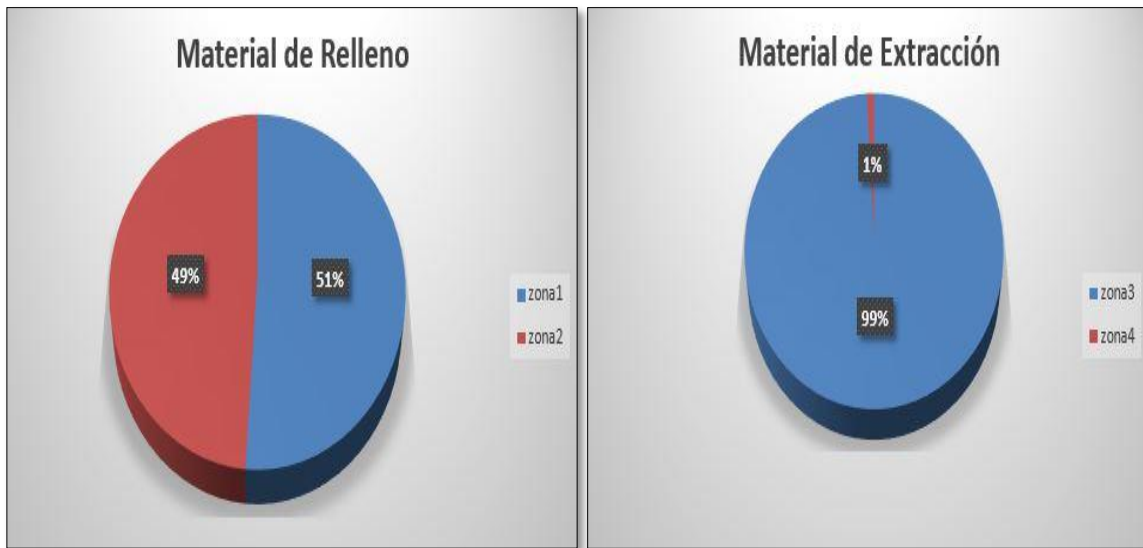


Imagen 49. Grafica para Material de Relleno

Imagen 50. Grafica para Material de extracción

La interpretación observada en la imagen 43 es que en los porcentajes de relleno se presenta un porcentaje similar, pero en la zona 1 se define que existe un 3% más de material de relleno con respecto a la zona 2, contando con un 51% de relleno.

En la imagen 44 se observa que en la zona 3 de explotación tiene un valor muy superior con respecto a la zona 4 ya que esta cuenta con un 99% del porcentaje total, esto es debido a que no existió ningún tipo de cambio volumétrico en la zona 4 vuelo 3.

### ZONAS DE AFECTACIONES POR VUELOS.

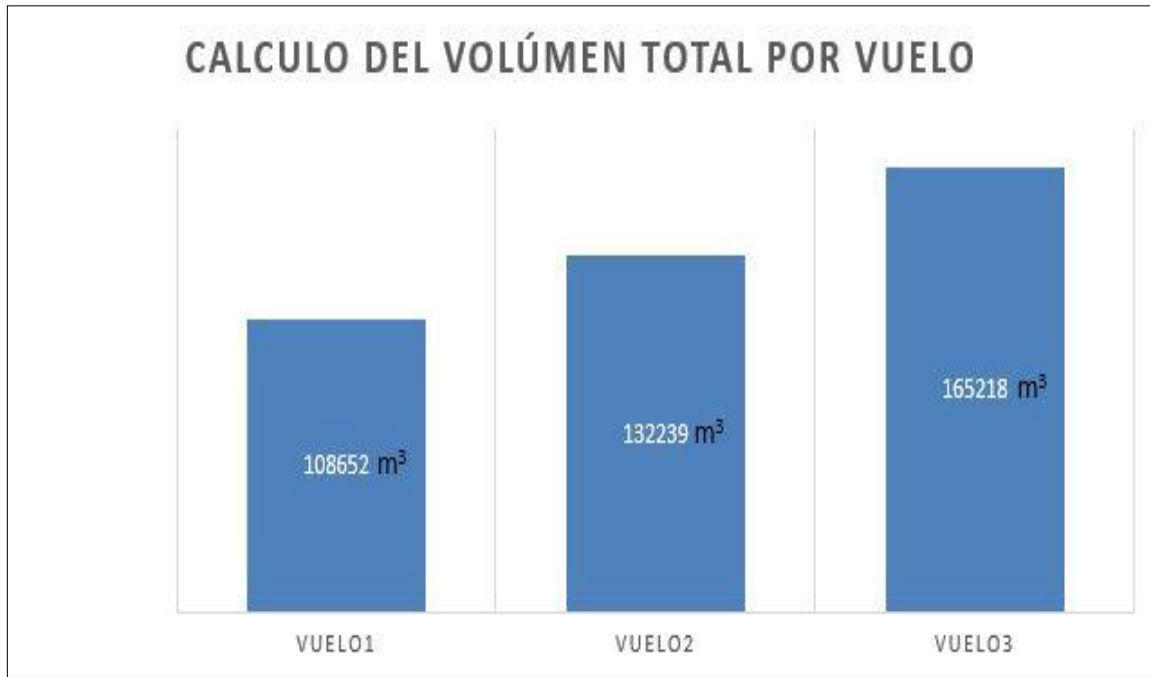


Imagen 3 Grafica del cálculo total por vuelo

### 9.7.RECONOCIMIENTO DE LA TRANSFORMACION DE VOLÚMENES

De los resultados se puede analizar que en el periodo de 60 días en la cantera el vínculo se tuvo una mayor cantidad de material de relleno que de explotación, pudiendo considerar que aumentaba periódicamente los volúmenes.







## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

Para la siguiente la gráfica se tiene en consideración los valore iniciales sin las diferencias entre los volúmenes por vuelo, en esta grafica podemos visualizar que el valor máximo de material se encuentra en la zona 2 vuelo 3 ya que su polígono es el de mayor extensión, y el valor mínimo de material se encuentra en la zona 4 vuelo 2 el cual su polígono es el de menor extensión. derivado de esto se demuestra que a mayor extensión en el polígono de cálculo mayor es su volumen y a menor extensión menor volumen.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

### 10. CONCLUSIONES

- A partir de las labores de campo postprocesos en software, se determinó que en la cantera el vínculo existe una extracción de material en un periodo comprendió entre el 31 de agosto y 10 de octubre, siendo un valor del 6%; y de material de relleno fue de 96%. A partir de la metodología desarrollada es posible continuar realizando el seguimiento detallado de los cambios periódicos de la topografía en la cantera el vinculo
- Se determinó que los (VANT) son funcionales, al constituirse como una herramienta para la recolección y captura de datos espaciales, los cuales, con ayuda de *software* especializados, generan productos cartográficos.
- Con la ayuda de la tecnología *drone* se es posible manipular, gestionar y modificar la información capturada para que atreves de la aplicación de variables cuantitativas se puedan utilizar en la generación, de diversos productos, que para el caso puntual fue el cálculo de volúmenes extraídos y depositados en una cantera.
- Se determinó que la utilización de *drones* en el campo de la minería a cielo abierto se constituye en una herramienta que reduce los costos y tiempos para la captura y almacenamiento de información cartográfica apoyados en los desarrollos de software y hardware.
- La utilización de (VANT) permite la captura de información cartografía, en áreas de difícil acceso permitiendo que la información generada sea detallada.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

- Producto del procesamiento recolectado con el *Drone* se obtiene un Ortomosaico que permite la visualización de las condiciones reales del terreno facilitando la toma de decisiones en proyectos ingenieriles específicos.
- La tecnología *Drone* y las técnicas cartográficas, están en constante desarrollo y evolución esta promueve las investigaciones en diferentes usos. Para la cartografía es una herramienta que implica la constante investigación para su óptimo desarrollo en el campo geomática.
- Teniendo en cuenta la exactitud posicional se obtuvo un error máximo de 25 cm, en consideración a lo anterior se evalúa que no es representativo para el cálculo de volúmenes de material de explotación y de relleno ya que estos valores son insignificantes con respecto a la escala de explotación.



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

### 11. BIBLIOGRAFÍA

Aeronáutica. (18 de 04 de 1015). Semana . Obtenido de <http://www.semana.com/nacion/articulo/llegaron-los-drones-colombia/424578-3>

Asi es la reglamentacion para los Drones en Colombia. (08 de Septiembre de 2015). EL TIEMPO. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16353316>

Austin, R. (2010). unmanned Aircraft Systems. En R. Austin. Wiley.

CIENCIA Y TECNOLOGIA. (31 de MARZO de 2016). Obtenido de [https://www.lainformacion.com/ciencia-y-tecnologia/los-quince-trabajos-que-los-drones-ya-hacen-mejor-que-los-humanos\\_oxurzqb1qrc4gfviewze2q7/](https://www.lainformacion.com/ciencia-y-tecnologia/los-quince-trabajos-que-los-drones-ya-hacen-mejor-que-los-humanos_oxurzqb1qrc4gfviewze2q7/)

CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA . (2001). Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley\\_0685\\_2001.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley_0685_2001.pdf)

Constitución Política de Colombia. (1991).

Diccionario Geografico De Colombia. (s.f.). Obtenido de <http://www.igac.gov.co/digeo/app/index.html>

Energia, M. D. (01 de 01 de 2011). Ministerio De Minas y Energia. Obtenido de <http://siminero.minminas.gov.co/siminero/documentacion/fbm-administracion-del-formato-basico-minero-fbm/>

Garcia, J. (10 de AGOSTO de 2015). NOSOLOSIG. INFORMACION SOBRE GEOTECNOLOGIAS. Obtenido de <http://www.nosolosig.com/articulos/540-uso-de-drones-para-la-actualizacion-cartografica>

Grupo de Robótica y Cibernética de la Universidad Politécnica de Madrid. d. (s.f.). VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS PARA EL USO CIVIL. TECNOLOGIA Y APLICACIONES. Obtenido de <http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/ABarrientos-CEDI2007.pdf>

Jauregui, L. (s.f.). Obtenido de [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Topograf%EDa/TEMA\\_1.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Topograf%EDa/TEMA_1.pdf)

kleinschmidt, J. (s.f.). LOS DRONES Y EL ORDENAMIENTO LEGAL INTERNACIONAL. Universidad EAFIT. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/0B1XhGAbC36YxYm9JWDFaOUZZcFk/view>



CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIAL DE EXPLOTACION Y DE RELLENO EN LA CANTERA “EL VÍNCULO” MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT).

LAW, P. (s.f.). PHANTOM LAW. Obtenido de <https://phantomlaw.wordpress.com/2016/04/12/jornada-los-drones-regimen-juridico-situacion-actual-y-perspectivas-de-futuro/>

Martorell, A. (2017). Geo Innova. Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/comparativa-de-programas-para-fotogrametria/>

Moragues, A. M. (Diciembre de 2002). Obtenido de <http://www.unsj.edu.ar/unsjVirtual/exploracionminas/wp-content/uploads/2016/04/Teletedecci%C3%B3n-y-produci%C3%B3n-geologico-minera.pdf>

Ocampo, O. D. (2003). Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/12562/6/70074527.2003.pdf>

Phantomlaw. (12 de Abril de 2016). <https://phantomlaw.wordpress.com/>. Obtenido de <https://phantomlaw.wordpress.com/>

Pinson, M. F. (2013). Aplicacion del Estandar ISO/ICE 9126-3 en el modelo de datos entidad-relacio. Colombia: Revista Facultad de ingenieria UPTC. Obtenido de [https://jrvargas.files.wordpress.com/2009/03/guia\\_tecnica\\_para\\_evaluacion\\_de\\_software.pdf](https://jrvargas.files.wordpress.com/2009/03/guia_tecnica_para_evaluacion_de_software.pdf)

Ruta Geología. (s.f.). Obtenido de [http://www.rutageologica.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=380&Itemid=755&showall=1](http://www.rutageologica.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=380&Itemid=755&showall=1)

Sociedad geografica de colombia academia de ciencias geograficas. (1952). HISTORIA DE LA CARTOGRAFIA DE COLOMBIA. Obtenido de [https://sogeocol.edu.co/documentos/010\\_04\\_Hist\\_de\\_cart\\_de\\_col.pdf](https://sogeocol.edu.co/documentos/010_04_Hist_de_cart_de_col.pdf)

Topografia, C. N. (2017). Consejo Profecional Nacional De Topografia CPNT. Obtenido de <http://www.cpnt.org/>

Unidas, N. (2000). Manual de sistemas de y cartografía digital. Nueva york.

## 12. ANEXOS

### EVIDENCIAS DE TRABAJO DE CAMPO



### Evidencia de utilización de equipos.

