

*Especialización en Geomática*

*Proyecto de Grado*

*U. Militar Nueva Granada*

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**



**EVALUACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE  
ELEVACIÓN OBTENIDOS MEDIANTE  
TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL Y  
TOPOGRAFÍA CON DRONES PARA EL  
CÁLCULO DE VOLÚMENES.**

**Autor:**

John Jairo Collazos C

Topógrafo U.T

**Tutor:**

Ing. Felipe Riaño

**Universidad Militar Nueva Granada**

**Facultad de Ingeniería, Especialización en Geomática**

**Proyecto de Grado**

**Bogotá, Colombia**

**2018**

## **RESUMEN**

En la actualidad las empresas de minería presentan una cierta resistencia al cambio de las nuevas técnicas topográficas, pero a su vez están buscando la reducción de costos y garantía de precisión. El objetivo del presente artículo fue la evaluación de los modelos digitales de elevación (MDE) derivados de la tradicional topografía convencional y la topografía realizada con drones. Se empleó un área determinada de un acopio de material de construcción con el propósito de realizar el cálculo de volumen. Los resultados mostraron una similitud razonable entre los modelos digitales de elevación en cuanto a precisión se refiere. Sin embargo, se puede concluir que la topografía con drones es una tecnología apropiada para la captura de datos topográficos y no tiene comparación en términos de eficiencia en superficies con una precisión equivalente. Además, el método de topografía con drones no sólo produce DSM (Digital Surface Model) sino también un ortomosaico geo-referenciado altamente detallado, el cual es un gran valor agregado.

**Palabras Claves:** MTD, MDS, Dron, Convencional.

## **ABSTRACT**

At present, mining companies have a certain resistance to the change of new topographical techniques, but at the same time they are looking for cost reduction and accuracy guarantee. The objective of this article was the evaluation of the digital terrain models (DTM) derived from the traditional conventional topography and the topography carried out with drones. A specific area of a stockpile of construction material was used for the purpose of calculating volume. The results showed a reasonable similarity between the digital terrain models in terms of accuracy. However, it can be concluded that the topography with drones is an appropriate technology for the capture of topographic data and there is no comparison in terms of efficiency in surfaces with an equivalent precision. In addition, the method of surveying with drones not only produces DSM (Digital Surface Model) but also a highly detailed geo-referenced ortomosaic, which is a great added value to the final results delivered

## **INTRODUCCIÓN**

Los modelos de elevación representan el relieve de una superficie tal y como se encuentra, estos modelos se crean a partir de una nube de puntos adquiridos mediante diferentes sistemas para la captura de los datos. En la actualidad muchas empresas dedicadas a la extracción de materiales de arrastre provenientes de las recargas de los ríos requieren realizar de forma ágil y precisa el cálculo de volúmenes de sus acopios de materiales de construcción.

Hoy en día se ha incrementado la demanda y disponibilidad de datos espaciales por lo que cada día se hace más necesario adquirir la información en un espacio de tiempo menor; anteriormente los instrumentos utilizados para realizar un cálculo de volúmenes eran los papeles, pero hoy en día ha pasado a instrumentos digitales.

La topografía convencional aplicada a proyectos civiles tradicionalmente ha representado una solución cuando por exigencia de detalle y precisión se requiere planos a escalas muy pequeñas.

El estudio fotogramétrico a partir de imágenes aéreas tomadas con drones ha representado un apoyo fundamental, esto debido a que en costos y tiempo es relativamente mucho menor que una topografía convencional, así mismo generando resultados geoespaciales de gran contenido y precisión.

El cálculo de volúmenes en las obras civiles o acopios de material siempre ha sido costoso, debido a los rigurosos cálculos y el equipo humano necesario para realizar los trabajos en campo y oficina, ahora y gracias al avance de la nueva tecnología se logra obtener resultados más precisos y en un menor tiempo.

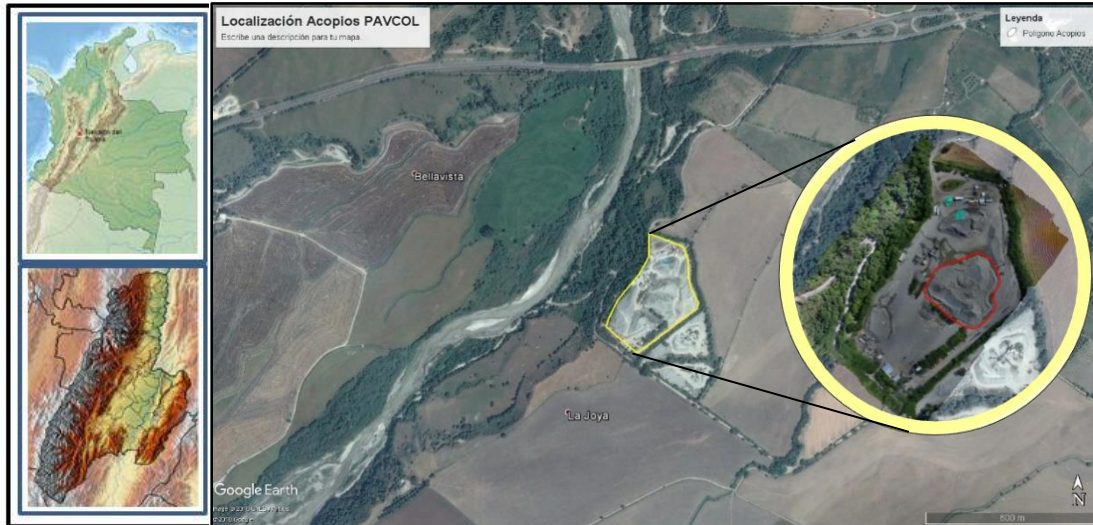
En el departamento del Tolima, en los últimos años ha presentado un incremento muy importante en la cantidad extraídos de metros cúbicos de material de construcción, para lo cual una de las empresas líderes en la región llamada Pavimentos de Colombia S.A ubicada en el municipio de Chicoral Tolima realiza el cálculo de volúmenes de sus acopios de forma continua, por eso para realizar el presente artículo se escogió un acopio con material de construcción ubicado dentro de la planta de procesamiento.

En el presente estudio realizado se pretende como objetivo comparar los dos modelos de elevación adquiridos a través de la topografía convencional y topografía con drones, esto con el fin de poder establecer la precisión, tiempos y costos de cada método utilizado para el cálculo de volúmenes.

## **1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El acopio de material de construcción escogido para la realización del presente estudio se encuentra dentro de las instalaciones de la planta de trituración de la empresa Pavimentos de Colombia S.A localizado en el municipio de Chicoral Tolima.

El principal acceso a esta planta se realiza partiendo desde la ciudad de Ibagué y por la vía que conduce hacia Bogotá D.C por doble calzada y luego de cruzar el puente sobre el río Coello a 400 metros al costado derecho encontramos el acceso. De allí por vía destapada y a una distancia 1.2 Kilómetros encontramos las instalaciones de la planta de procesamiento de materiales de río de PAVIMENTOS DE COLOMBIA SA.



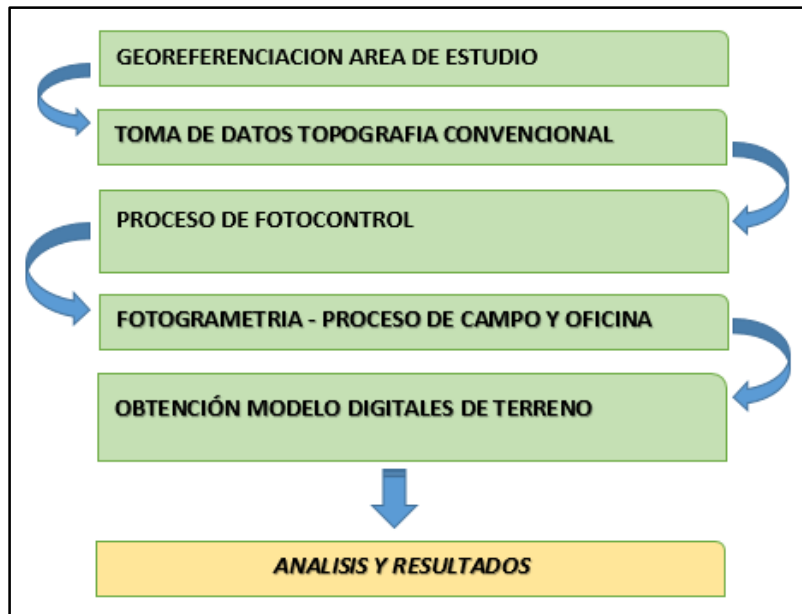
**Fig 1.** Localización Acopios PAVIMENTOS DE COLOMBIA S.A.

**Fuente:** Google Earth 2018, Wikipedia, Ortofoto Elaboración Propia.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 METODOLOGÍA APLICADA

La metodología empleada para el estudio sobre la obtención de los modelos de elevación para determinar el cálculo de volúmenes con el método de topografía convencional y topografía con drones se describe en el siguiente esquema:



**Diagrama 1.** Metodología de Trabajo.

Fuente: Elaboración Propia

## 2.2 GEORREFERENCIACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

Para la correcta localización y georreferenciación se hizo necesario establecer una red geodésica de alta precisión esto con el fin de poder contar con puntos de amarre y control de la topografía convencional, así mismo a partir de estos puntos materializados y posicionados poder ubicar en campo los puntos de control para el proceso fotogramétrico con drones.

### 2.2.1 Materialización Puntos Geodésicos

Previo al levantamiento fotogramétrico se materializa y posiciona una red GPS (Puntos de control) de alta precisión que será el apoyo para el control de la topografía. Para las coordenadas y elevaciones de cada punto GPS se realizó el amarre y control a los puntos vértices IGAC perteneciente a la red Nacional Magna-Sirgas.

Estas placas se utilizaron para posicionar equipos GPS de doble frecuencia y una vez efectuado el post proceso de los datos rinex mediante el uso de dos bases para el ajuste del mismo, se obtuvieron las coordenadas de dichas placas, para poder así realizar el levantamiento planimétrico, altimétrico y fotogramétrico.

Los mojones se materializaron con una placa de bronce de 2 ½ pulgadas de diámetro y 0.5 m de longitud, anclado en placa de concreto de 0.25 m x 0.25 m x 0.50 m, Ver Figura 1.



**Fig 2.** Puntos GPS Materializado.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Los puntos se materializaron sobre una base de concreto empleando material seleccionado como es el cemento, la gravilla, la arena y el agua, esto para poder garantizar la estabilidad y durabilidad de los mojones durante el desarrollo del proyecto y para futuros levantamientos o amarres topográficos que se deseen realizar.

### **2.2.2 Posicionamiento GPS y Origen de coordenadas**

El posicionamiento GPS se realizó mediante Posicionamiento Global por Satélite (GPS) utilizando equipos GPS TRIMBLE 5700, de doble frecuencia, aplicando el método de observación Estático Diferencial, que consiste en la ocupación simultánea de dos o más puntos, de los cuales por lo menos uno tiene coordenadas conocidas, en este caso se tomó como origen de coordenadas y elevación la Estación Permanente IBAG amarrado a coordenadas origen Central-Magna. El posproceso se realizó mediante el software Trimble Business Center (TBC 3.5).

Para el traslado de coordenadas al sitio del trabajo se utilizó la estación permanente IBAG ubicada en el municipio de Ibagué Tolima Pertenece a la red nacional Magna-Sirgas y debidamente certificada por el IGAC (Instituto geográfico Agustín Codazzi).

Se realizó el cálculo de los datos para el origen de coordenadas con el programa MAGNA-PRO del IGAC.



**Fig 3.** Posicionamiento Punto GPS.

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3 TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL

Para el presente estudio se procedió a hacer el levantamiento planimétrico y altimétrico partiendo de los puntos materializados, tomando lecturas directa e inversa, por el método de poligonal cerrada con ceros atrás, garantizando un cierre lineal superior a 1:10.000. Una vez definido y ajustado los puntos GPS, se procedió a realizar el levantamiento de detalles, donde se incluyó toda la información de interés, puntos del acopio en su parte baja, media y alta. Información que se requiere para realizar el cálculo de volumen, Esta actividad se realizó por el método de radiación.

Para el levantamiento topográfico se utilizó coordenadas origen Bogotá- Magna y el modelo Geoidal utilizado para determinar las elevaciones fue e GEOCOL2004.

Las poligonales se llevaron a cabo con Estación Total con precisión al segundo (3'') con colector de datos Recon que permite conocer rápidamente la precisión obtenida y ajustes realizados a esta; se parte por un punto de GPS conocido y se cierra con ajuste al mismo punto, preferiblemente se realiza con el método de ceros atrás, controladas con dos lecturas de distancia, atrás y adelante, al igual los deltas de las poligonales son materializados en sitios estratégicos con estacas y tornillo en su centro.



**Fig 4.** Equipo Topografía Convencional.

**Fuente:** Elaboración propia

## 2.4 TOPOGRAFÍA CON DRONES

Un levantamiento topográfico con drones se basa en la utilización de los rayos de la luz del sol reflejados por los objetos de la superficie de la tierra, lo cual ocurre en la porción visible (RGB) del espectro electromagnético. Cuyos rayos, llamados también la reflectancia, son capturados en fotografías aéreas por el combo cámara-GPS instalado en un Drone.

Para la realización de los trabajos de fotogrametría, se utilizaron equipos de última generación, Gps de doble frecuencia para la toma de datos de los puntos de control necesarios para el ajuste y procesamiento fotogramétrico, así mismo se utilizó un dron de rotor Phantom 4 pro para la toma de las imágenes aéreas.



**Fig 5.** Equipos para Fotogrametría.

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.4.1 Planificación Vuelo Fotogramétrico

El Dron despegue, vuela y aterriza de forma autónoma. La inteligencia artificial incorporada en el piloto automático, analiza siempre los datos de la unidad de medición Inercial y el GPS a bordo y se encarga de organizar todos los aspectos de la misión de vuelo.

Una vez entregado el polígono con el área de interés se definieron parámetros de vuelo tales como la resolución en tierra, el traslape entre las imágenes, Altura de vuelo y velocidad de vuelo. Para el inicio de la operación en campo fue necesario realizar un recorrido por cada una de las zonas con el fin de verificar cualquier obstáculo que pudiera interferir en cada vuelo (torres de alta tensión, arboles, cuerdas de media o alta, aeropuertos cercanos etc).



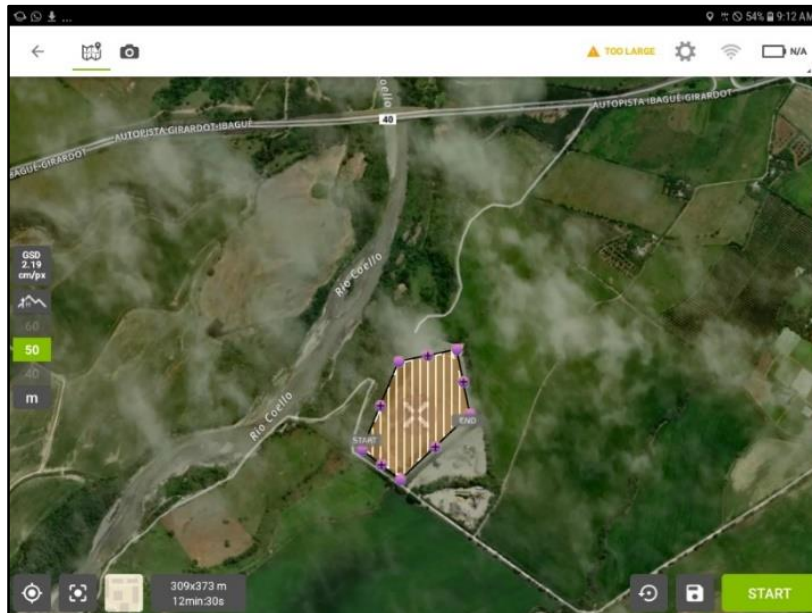
Planeación del Vuelo					
Despegue					
ID de Misión	V001	Tipo Misión	Topografía <input checked="" type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	Hiper-espectral <input checked="" type="checkbox"/>	Térmico <input checked="" type="checkbox"/>
Municipio	CHICORAL - TOLIMA	Zona	ED-1	Fecha de planeación	14/2/2018
Responsable	GEODATOS S.A.S.			Fecha estimada de misión	15/2/2018
Infor					
Descripción	Se presentan los parámetros de operación para realizar dos misiones de vuelo sobre la zona relacionada. El vuelo corresponde al levantamiento topográfico. Como lugar de aterrizaje y despegue planta PAVCOL.				
Objetivo	Obtener imágenes de tipo topográficas ( R G B ) de los Acopios para su posterior procesamiento y análisis.				
Número Terreno	1	# Imágenes	352		
Plataforma de Vuelo y Adquisición de Datos					
Tipo de Aeronave	Ala Fija <input type="checkbox"/> Multirotor <input checked="" type="checkbox"/>	Helicóptero <input type="checkbox"/>	Referencia	DSM	
Tipo de	Autonomo		Tipo de	Aterrizaje sobre Pista	
Velocidad	5 m/s		Autonomía Máxima de la	27	
MTOW	5 kg		Autonomía Máxima de Misión	16	
Rango	5 km		Altura de Operación (AGL)	50	
Frecuencia	2,4 GHz		Software -	Mission Plann	
Sensores					
Nombre Sensor 1	Phantom 4 Pro		Resolución del Sensor	1280 x 1024	20 MP
Longitud	4		Dimensiones del Sensor	6,55 mm X 4,92 mm	
Almacenamiento Sensor	20 GB	Formato Imagen	jpg	Peso por Imagen	5 MB
Ángulo de Vista Horizontal	0.0 °		Ángulo de Vista Vertical	90 °	

Parámetros Estimados Vuelo (Topografía)					
Hectáreas de Mapeo	4	Nº Imágenes	352	Diámetro Giro	0 m
Distancia Recorrida	1.4 Km	Nº Trayectos	13	Overshoot [%]	90
Distancia entre Imágenes	40 m	Distancia entre Trayectos	30 m	Overlap [%]	90
Resolución (cm/pixel)	2.33	Tiempo entre Fotos	1,51 s	Sidelap [%]	90
FOV Horizontal (m)	20	FOV Vertical (m)	50	Hectárea/Foto	1.5
Rumbo [°]	15	Tiempo Estimado Vuelo**	16 minutos		

Fig 6. Formato Planeación de misiones.

Fuente: Elaboración propia

Como parte inicial del trabajo de campo se realiza el plan de vuelo según el área a levantar, Para tal propósito utilizamos en software PIX4D Capture.



**Fig 7.** Misión Vuelo.

**Fuente:** Elaboración Propia, Aplicación Pix 4D Capture.

## 2.4.2 Fotocontrol

Para el inicio del trabajo fotogramétrico fue indispensable localizar puntos de control bien distribuidos con el fin de obtener una correcta georreferenciación de las coordenadas y elevaciones obtenidas a través del procesamiento de las imágenes aéreas.

Los puntos de control son de gran importancia y de carácter obligatorio en la fotogrametría, esto se hace con el fin de poder generar una información confiable y precisa.

Los puntos de control se localizaron en campo dependiendo de la cobertura de área de interés, para nuestro caso se ubicaron en campo 5 puntos de control sobre el área del acopio a levantar.

Para tomar los datos de cada punto de control en tierra se utilizó un equipo de doble frecuencia en modo RTK, la cual posee una corrección directa desde la base (Punto Gps) y el equipo móvil.

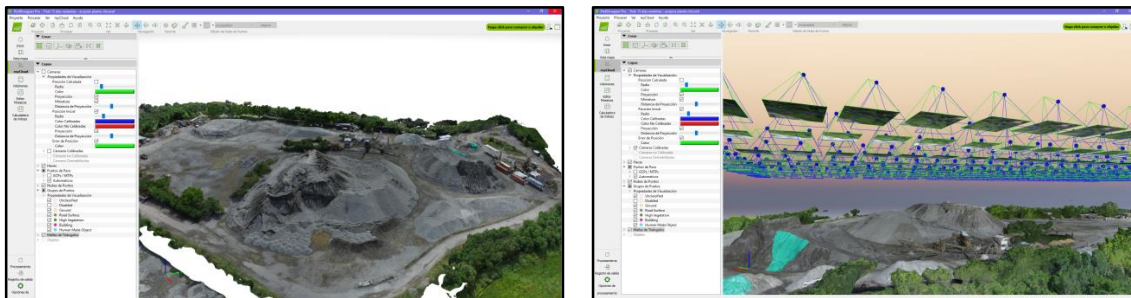


**Fig 8.** Puntos de control Fotogramétrico.

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 2.4.3 Procesamiento Imágenes aéreas

Para el procesamiento de las imágenes aéreas obtenidas con el dron, se empleó el programa PIX4D, una gran herramienta utilizada para trabajos de fotogrametría profesional para producir mapas en 2D y modelos en 3D con una precisión centimétrica. Para mejorar los resultados, PIX4D incluye herramientas para editar líneas, polígonos y controlar la calidad de la imagen.



**Fig 9.** Procesamiento inicial de las imágenes aéreas.

**Fuente:** Elaboración Propia, Software Pix 4D.

Una vez post-procesada la información se procede a generar los resultados finales tales como; orto foto de alta resolución y precisión, modelo digital de superficie y modelo digital de terreno, nube de punto y curvas de nivel como se muestra en las siguientes imágenes.

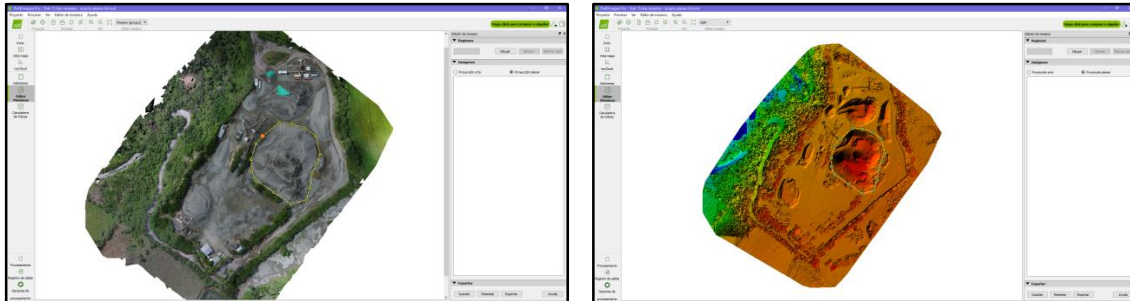


Fig 10. Resultado productos finales (Ortofoto, DSM, Nube de puntos).

Fuente: Elaboración Propia, Software Pix 4D.

## 2.5 MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

Finalmente, una vez obtenido la información de los dos métodos de topografía, se procede a realizar los modelos digitales de elevación y posterior el respectivo cálculo de volúmenes de los acopios de material de construcción.

### 2.5.1 DTM Topografía Convencional

Con base a la topografía convencional se obtiene un listado de puntos con sus respectivos atributos como son las coordenadas Norte, Este y la variable Elevación, con el cual generamos el modelo digital de elevaciones y posterior la respectiva curva de nivel, con lo cual generamos una superficie TIN y así poder calcular el volumen del acopio de material.

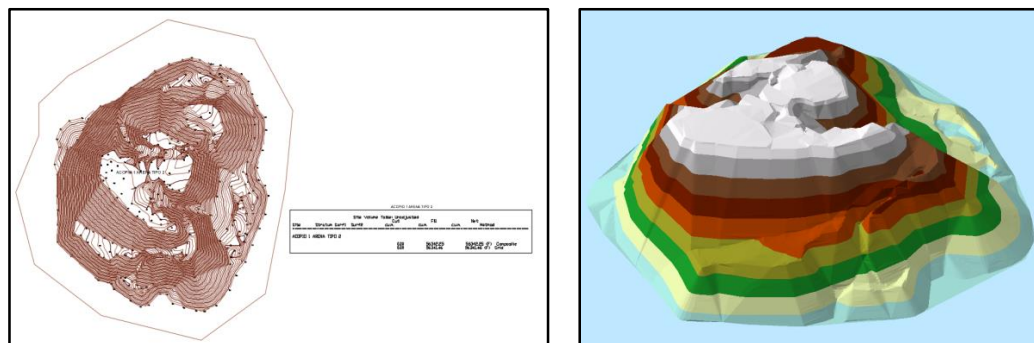


Fig 11. TIN (Modelo digital de Elevación) y Curvas de nivel.

Fuente: Elaboración Propia.

## 2.5.2 DTM Topografía Con Dron

Después de procesar las imágenes aéreas con el software para fotogrametría PIX4D, se generó una nube de puntos y el respectivo DEM (Modelo digital de elevación) con el cual se obtuvo las curvas de nivel y modelo digital de superficie.

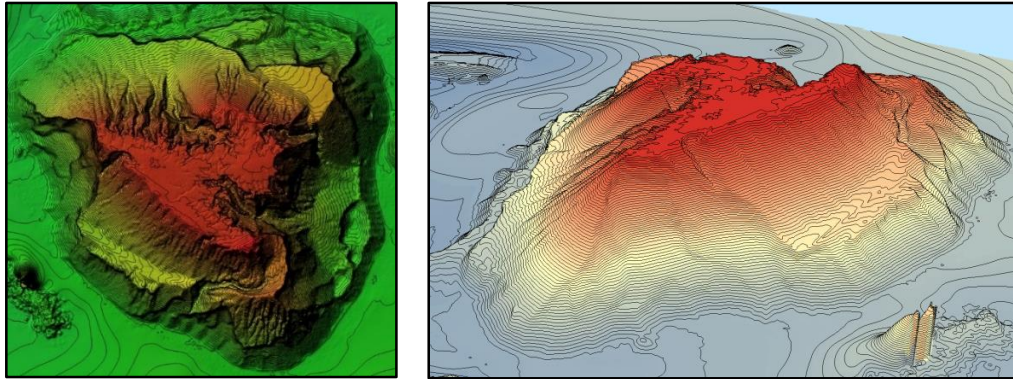


Fig 12. DEM (Modelo digital de Elevación) y Curvas de nivel.

Fuente: Elaboración Propia, Software Pix 4D.

## 2.6 COMPARACIÓN TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL VS DRONE

Con el propósito de poder determinar la calidad y precisión de los modelos de terreno obtenidos a través de topografía convencional y topografía con drones se realizó una serie de muestras con el objetivo de poder definir cuál de los dos modelos sería el de mejor calidad de información para realizar el cálculo de volúmenes de un acopio de material de construcción, para esto se comparó tres productos derivado de los dos métodos de topografía utilizados en el presente estudio.

### 2.6.1 Curvas de nivel

La curva de nivel se utiliza en el ámbito de la topografía y es aquella línea que se forma por aquellos puntos del terreno que se sitúan a la misma altura. Para el estudio realizado podemos determinar que con respecto a la precisión que los dos modelos representan una buena precisión en los datos X, Y y Z, Sin embargo, podemos evidenciar que el nivel de detalle en las curvas de nivel es mucho mayor con la topografía con drones.

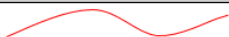
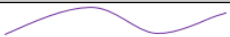
CONVENCIÓN - CURVAS DE NIVEL	
TOPOGRAFIA CONVECIONAL	TOPOGRAFIA CON DRON
	

Tabla 1. Curvas de nivel Modelos de elevación.

Fuente: Elaboración Propia.

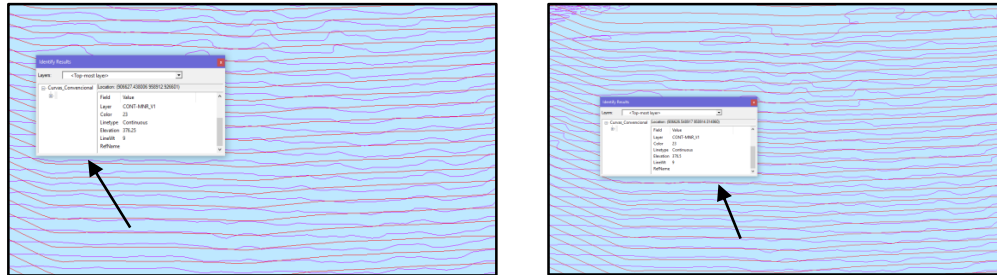
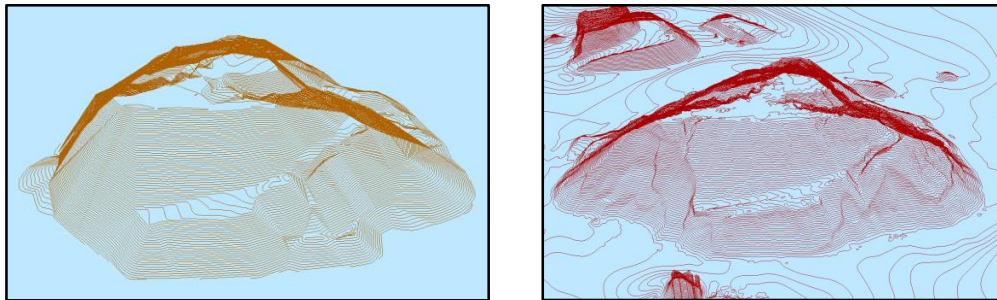


Fig 13. Comparación cotas curvas de nivel.

Fuente: Elaboración Propia, Software ArcGis.



1. Topografía Convencional

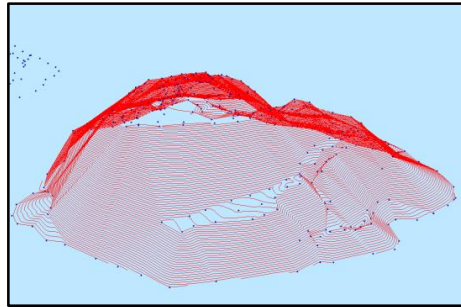
1A. Topografía Con Drones

Fig 14. Comparación modelos curvas de nivel.

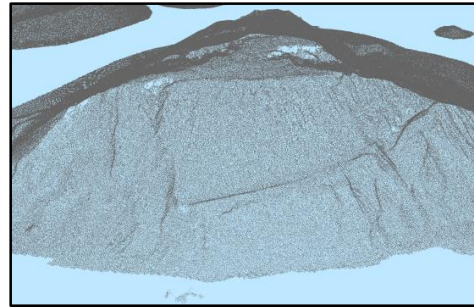
Fuente: Elaboración Propia, Software ArcGis.

## 2.6.2 Nube de Puntos

Una nube de puntos es un conjunto de vértices en un sistema de coordenadas tridimensional. Estos vértices se identifican habitualmente como coordenadas X, Y, y Z y son representaciones de la superficie externa de un objeto. Para este ejercicio se pudo observar una gran diferencia con respecto a la nube de puntos donde el sistema de topografía con drones tiene una mayor densidad de puntos en el área de estudio.



**2. Topografía Convencional**



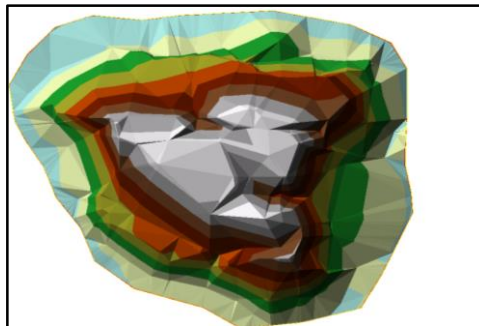
**2A. Topografía Con Drones**

**Fig 15.** Comparación nube de puntos.

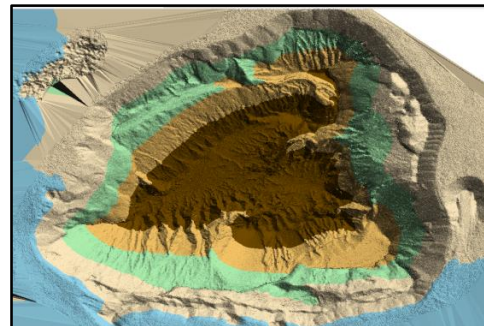
**Fuente:** Elaboración Propia, Software ArcGis.

### 2.6.3 Modelo TIN

Las TIN son una forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos).



**3. Topografía Convencional**



**3A. Topografía Con Drones**

**Fig 16.** Comparación Tin.

**Fuente:** Elaboración Propia Software ArcGis.

## 3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 3.1 Calculo de volúmenes

Los cálculos pueden ser determinados utilizando varios métodos. A continuación, se explica de manera general los tres métodos más utilizados.

### *Método Average End Area*

El método Average End Área (Área Final Media) calcula el volumen entre dos secciones transversales; se halla la media de las áreas de sección transversal y se multiplica por la distancia entre secciones transversales para determinar el volumen.

El método Average End Area se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$V = \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) L$$

donde V es el volumen, calculado a partir de las dos áreas finales A1 y A2, y la distancia L entre las dos áreas.

### *Método Conic Approximation*

El método Conic Approximation calcula el volumen entre dos áreas de sección; se suman las dos áreas a la raíz cuadrada de su producto y se multiplican por un tercio de la distancia entre las áreas para determinar el volumen.

El método Conic Approximation se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$V = \left( \frac{h}{3} \right) (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2})$$

donde V es el volumen, calculado a partir de las dos áreas A1 y A2, y la distancia h entre las dos áreas.

### *Método de volumen compuesto*

El método compuesto se base en la comparación de materiales que tienen sólo dos superficies y no se puede utilizar en listas de materiales que contengan formas de obra lineal.

## **3.2 Resultados**

Para el estudio realizado se utilizó el método de Volumen compuesto para determinar el volumen del acopio de la zona de estudio. A continuación, en las siguientes tablas se muestra los resultados del cálculo de volumen obtenido con los dos métodos utilizados.



ACOPIO 1 ARENA TIPO 2 TOPOGRAFIA CONVENCIONAL

Site	Stratum	Surf1	Surf2	Cut cu.m.	Fill cu.m.	Net cu.m.	Method
=====							
ACOPIO 1 ARENA TIPO 2				0.00	57342.25	57342.25 (F)	Composite

**Tabla 2.** Calculo de Volumen Topografía Convencional.

**Fuente:** Elaboración Propia.

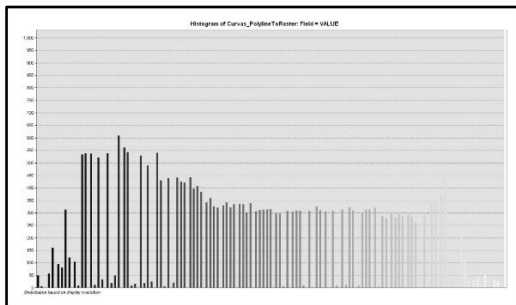
ACOPIO 1 ARENA TIPO 2 TOPOGRAFIA CON DRONES

Site	Stratum	Surf1	Surf2	Cut cu.m.	Fill cu.m.	Net cu.m.	Method
=====							
ACOPIO 1 ARENA TIPO 2				0.00	59301.25	59301.25 (F)	Composite

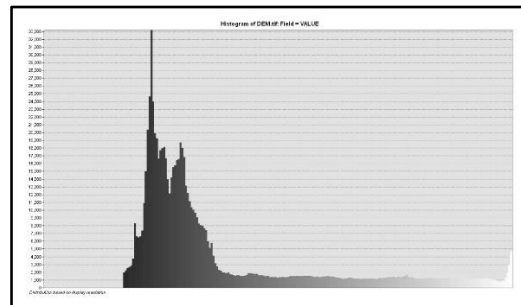
**Tabla 3.** Calculo de Volumen Topografía Convencional.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Basados en el caso práctico de este estudio comparativo del que tomamos un acopio de material, podemos analizar los diferentes resultados obtenidos de los dos métodos de topografía empleados, a continuación, se muestra los histogramas basados en la resolución de cada modelo de elevación.



**1. Resolución MDT Convencional**



**2. Resolución MDT Dron**

**Fig 17.** Comparación Histogramas (MDT).

**Fuente:** Elaboración Propia. Software ArcGis.

Con base a las gráficas mostradas anteriormente (Histogramas) podemos observar la alta resolución del modelo de elevación de terreno que se obtiene con la topografía con drones comparada con la resolución de la topografía convencional, donde se muestra una serie de espacio vacíos con falta de información de la superficie tomada en campo.

Los resultados de los cálculos de volúmenes mostrados en la tabla 2 y 3, podemos observar que existe una diferencia con referencia a la cantidad de los metros cúbicos obtenidos con cada método de captura, determinando así, que el nivel de detalle de la topografía con dron es mucho mayor que la obtenida con la convencional.

## **4. CONCLUSIONES**

Los levantamientos topográficos con drones economizan tiempo en la toma de la información en campo, se emplea menos personal y los resultados presentan muy buenas precisiones, así mismo permite obtener una visión más clara del área y sus alrededores.

Uno de los factores más relevantes es la seguridad, el topógrafo no necesita transportar un equipo a lugares potencialmente peligrosos, minimizando así los accidentes laborales.

Los modelos digitales de terreno se obtienen con mucho mayor resolución al nivel de detalle a través de la topografía con drones y adicionalmente permite entregar productos adicionales como modelos digitales de superficie (DSM) y Ortofotos georreferenciadas de alta resolución.

Debido al nivel de detalle de la topografía con drones los resultados obtenidos en los cálculos de los volúmenes en los acopios de material son mucho más reales que el obtenido con la topografía convencional.

Los vehículos aéreos no tripulados (Drones) se están convirtiendo en una nueva herramienta tecnológica que ha revolucionado la Topografía convencional. Sin embargo, el país se enfrenta al desafío de poder reglamentar la utilización de estos aparatos para garantizar su operación y la seguridad de la población en general.

Con respecto a la eficiencia. Mediante el vuelo del dron se pueden conseguir millones de puntos; mientras que antes el topógrafo debía ir observando punto por punto, obteniendo únicamente unas coordenadas en las que podría conseguir 600 puntos por día. De esta manera, la superficie obtenida queda mucho mejor representada y es posible obtener un DTM que se ajuste más a la realidad.

A partir de la Geomática, podemos asegurar la calidad de la adquisición, el tratamiento, la generación y un análisis de los datos para generar Topografía precisa y que posteriormente, pueden ser aplicadas a

múltiples sectores, tales como, proyectos civiles, agricultura de precisión, forestales, ingeniería civil, medioambientales, aeroespaciales, industriales etc.

## BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, M. S. (s.f.). <http://colegiotopografoscr.com>. Obtenido de <http://colegiotopografoscr.com>: <http://colegiotopografoscr.com/appat/boletin/04/drones.pdf>

CODAZZI, I. I. (2018). [www.igac.gov.co](http://www.igac.gov.co). Obtenido de <https://www.igac.gov.co/es/contenido/en-que-consiste-un-levantamiento-topografico>

Inc., 2. A. (2018 ). [www.autodesk.com](http://www.autodesk.com). Obtenido de <http://help.autodesk.com/view/CIV3D/2017/ESP/index.html?guid=GUID-1E3A9CD9-DFD6-4455-9EB1-D8E46721A0B4>

Ing. Bryan Reyes, I. J. (2017). El uso del drone en levantamiento de información topográfica. *INSTITUTO TECNOLOGICO DE SANTO DOMINGO*, 1-14.

Instituto Nacional De estadísticas y Geografía (INEGI), M. (2016). <http://www.inegi.org.mx>. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>

Published by geofumadas dron on julio, 2. F. (2015). [www.geofumadas.com](http://www.geofumadas.com). Obtenido de <https://www.geofumadas.com/topografa-tradicional-vrs-lidar-precisin-tiempo-y-costos/>

Spain, D. (2018). *Drone Spain*. Obtenido de Drone Spain: <http://dronespain.pro/fotogrametria-con-drones/>

wikipedia. (2018). <https://es.wikipedia.org>. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_digital\\_del\\_terreno](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_digital_del_terreno)

Corredor Daza, J. G., & León Sánchez, C. A. (2015). Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación sector tuluá – río frío.

Escobar Villanueva, Jairo & Iglesias Martínez, Luis & Perez, Jhonny. (2017). Evaluación de modelos de elevación derivados de fotogrametría por aeronaves remotamente pilotadas para el cálculo de áreas de inundación en zonas urbanas: el caso de estudio de la ciudad costera de Riohacha (Caribe colombiano).

Escobar Villanueva, Jairo. (2016). ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL Y LA DERIVADA DE LIDAR AÉREO PARA EL CÁLCULO DE ÁREAS DE INUNDACIÓN EN ZONAS URBANAS.