



**MODELO DIGITAL DE TERRENO DEL EMBALSE TOMINÉ A
PARTIR DE DATOS BATIMÉTRICOS Y LIDAR QUE SIRVA
COMO INSUMO PARA TOMA DE DECISIONES DE
ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN LOS MUNICIPIOS DE
GUASCA, GUATAVITA Y SESQUILÉ**

**PRESENTADO POR:
LUISA FERNANDA SÁNCHEZ RETAVISCA
INGENIERA CATASTRAL Y GEODESTA**

**DOCENTE:
FELIPE RIAÑO PÉREZ**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ D. C.
2017**



MODELO DIGITAL DE TERRENO DEL EMBALSE TOMINÉ A PARTIR DE DATOS BATIMÉTRICOS Y LIDAR QUE SIRVA COMO INSUMO PARA TOMA DE DECISIONES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN LOS MUNICIPIOS DE GUASCA, GUATAVITA Y SESQUILÉ

TOMINE DAM'S DIGITAL TERRAIN MODEL FROM BATHYMETRIC AND LIDAR DATA, AS INPUT FOR DECISION MAKING IN URBAN PLANNING FOR MUNICIPALITIES OF GUASCA, GUATAVITA AND SESQUILÉ

Luisa Fernanda Sanchez Retavisca

Ingeniera Catastral y Geodesta, Especialista en Gestión Ambiental, Profesional SemiJunior,
Profesional SIG proyectos, Dirección de Desarrollo Sostenible – Grupo de Energía de Bogotá

Bogotá D. C., Colombia.

ingenieracatastralluisa@gmail.com

RESUMEN

Una de las principales limitaciones para el Ordenamiento Territorial en la zona del Embalse de Tominé es la carencia de información cartográfica e hídrica. Como solución a esta situación se propone la generación de un (MDT) Modelo Digital de Terreno que es una estructura de datos numérica que representan la distribución espacial de una propiedad de la superficie del terreno (DOYLE, 1978) para que sea usado como insumo de ordenamiento territorial en los municipios de Guasca, Guatavita y Sesquilé. Al aplicar un modelo como el descrito se podrá predecir el comportamiento del embalse y planificar el desarrollo ambiental, social, cultural y económico alrededor de él.

Palabras clave: Modelo Digital de Terreno, Embalse Tominé, cartografía, Ordenamiento territorial, LiDAR, agua, Batimetría.



ABSTRACT

One of the main limitations of the Tominé Reservoir is the lack of cartographic and hydrological data for the land use planning. In order to address this situation the creation of Land Digital Model is proposed. This model is based on a numeric structure that represents the spatial distribution of a particular land surface attribute (DOYLE, 1978). The aim is to use the information generated by this model as input for the land use planning of Guasca, Guatavita and Sesquilé municipalities. Once this model is developed, the behavior could be predicted which will allow the design of the environmental, social, economic and cultural development of its surroundings.

Key words: Digital Terrain Model, reservoir Tominé, territorial order, Cartographic, Bathymetry, wáter, LiDAR,

INTRODUCCION

El presente proyecto tiene como objeto principal la creación de un Modelo Digital de Terreno (MDT) del embalse Tominé a partir de datos batimétricos y LiDAR, que sirva como insumo para toma de decisiones de ordenamiento territorial en los municipios de Guasca, Guatavita y Sesquilé. Este producto puede ser útil para que las diferentes entidades puedan desarrollar proyectos que potencialicen la zona como atractivo turístico del país, apoyándose en insumos actualizados ya que en el momento no se cuenta con esta información.

El embalse Tominé ocupa una región de gran valor histórico, en Colombia, ya que en la época precolombina Guatavita, uno de los municipios donde está localizado el Embalse, era la capital religiosa de los muisca. En esta región está ubicada la laguna sagrada del Cacique, que constituía el templo máximo de la veneración de este pueblo indígena a Sie. La construcción del Embalse de Tominé se comenzó en 1959 y concluyó en 1962, año en el que inicio su llenado y operación por parte de la Empresa de Energía de Bogotá, la gran importancia es que fue construido para embalsar las aguas del río Bogotá para su regulación hídrica y abastecimiento del agua para el acueducto del municipio de Sesquilé y Bogotá a través de la planta de Tibitoc y la generación de energía eléctrica en el salto del Tequendama (FUNDACIÓN GRUPO DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, 2016).

La importancia radica en el desarrollo que se puede generar no solo en la zona sino a nivel regional al poder integrar la ciudad de Bogotá y todas las zonas que conforman el circuito ambiental de los alrededores, como lo es, en Bogotá (río Bogotá, Fucha y Tunjuelo), en la calera el embalse san Rafael y el embalse Tominé.

Por medio de técnicas de filtrado y clasificación de información batimétrica y LiDAR respectivamente, se generará el MDT, que sirve como insumo de estudios hidrológicos que apoyan el ordenamiento territorial de la zona.



1. LOCALIZACION

El Embalse de Tominé, ubicado a 50 km al noreste de la capital de Colombia, dentro de los municipios del departamento de Cundinamarca; Sesquilé, Guatavita y Guasca. Al oriente limita con la cadena montañosa conformada por la cuchilla de peña blanca y peña negra, a una altura aproximada a los 3000 msnm, característica que da lugar a la existencia de zonas de paramo y subparamo (MORENO, 2013).



Imagen 1. Localización Embalse Tominé

Fuente: Cementerio Viejo (Guatavita): Anclaje para la memoria y la historia del valle del Tominé (Moreno, 2013).

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Problemática

El abastecimiento hídrico dado por el caudal del río Tominé fue aprovechado para la construcción del Embalse, sobre el pueblo antiguo de Guatavita el 15 de septiembre de 1967, provocando así el desplazamiento del pueblo hacia el oriente de donde estaba ubicado, como consecuencia de la inundación.

La empresa de Energía de Bogotá en 1962 inicio el llenado y la operación del embalse con el fin de embalsar las aguas del río Tominé y bombear los caudales excedentes del río Bogotá, para generar energía eléctrica.

Alrededor del embalse se han desarrollado diferentes actividades náuticas, camping y rocería, pero no se le ha dado la importancia de potencializador regional, ni un uso adecuado al no saber con certeza hasta donde podría llegar la cota máxima de inundación, lo que no permitiría llevar a cabo un plan de ordenamiento territorial efectivo y toma de decisiones sobre este territorio por carencia de información actualizada, por estas razones es necesario contar con un MDT que sirva como insumo para iniciar diferentes planes de acción para tomar decisiones en esta zona del país.



2.2. Marco Teórico

La representación de la superficie terrestre está dada por el Modelo Digital de Terreno para (DOYLE, 1978), es un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio, también se considera dentro de otros conceptos como “una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua” (FELICISIMO, 1994).

El LiDAR (“light detection and ranging”) es una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz de láser para obtener una muestra densa de la superficie de la tierra produciendo mediciones exactas de x, y y z. LIDAR, que se utiliza principalmente en aplicaciones de representación cartográfica láser aéreas”. (ESRI, 2017).

La batimetría es el estudio que consiste en la obtención de valores y la representación de la profundidad de los cuerpos de agua; la información batimétrica puede utilizarse para diversos fines, como ser la instalación de estructuras, construcción de muelles, dragados, piscicultura, etc. (ROMERO & PINEDA, 2007).

Los datos LiDAR y batimétricos son indispensables para la generación del MDT, pues son integrados y suministran información de la zona para toma de decisiones y ordenamiento del territorio. El ordenamiento territorial es una ciencia interdisciplinaria enfocada de manera global, la cual analiza, desarrolla y gestiona los procesos de planificación de los territorios, por medio de diferentes estrategias creadas de acuerdo a los aspectos ambientales, sociales, económicos y políticos.

El embalse de Tominé es un cuerpo de agua que se extiende por los municipios de Guasca, Guatavita y Sesquilé, tiene una longitud aproximada de 18 km de largo por 4 km de ancho, con profundidad promedio de 5 metros, se encuentra localizado en la parte alta de la cordillera oriental, en la zona Nororiental del Departamento de Cundinamarca y en la zona Nororiente del río Bogotá (RODRIGEZ & RODRIGUEZ, 2010), para este embalse y los municipios que lo conforman es de vital importancia el ordenamiento territorial, pues a su alrededor existe un potencial alto de desarrollo, que se puede llevar a cabo teniendo en cuenta prácticas de ingeniería que sirven como insumo para la planificación de este territorio.

De esta manera la cartografía también hace parte del gran avance para el ordenamiento territorial, pues es el arte de trazar cartas geográficas, es la ciencia que las estudia, es una representación lo más exacta posible de una parte de la tierra o toda su superficie (HARLEY, 2005), también es vista como “el conjunto de estudios y operaciones científicas, artísticas y técnicas que intervienen a partir de resultados de las observaciones directas o de la explotación de una documentación existente (ASSOCIATION, 2017).



2.3. Metodología aplicada

La metodología aplicada para la generación del Modelo Digital de Terreno que sirva como insumo para la toma de decisiones de ordenamiento territorial en los municipios de Guasca, Guatavita y Sesquilé, tiene como insumo principal datos batimétricos y LiDAR, los cuales han sido previamente ajustados y entregados por el contratista que los capturó a cargo de la empresa Emgesa, donde se hizo un ajuste de los datos con la red geodésica del proyecto y calibración de líneas de vuelo para verificar la coherencia entre las batimetrías y los puntos LiDAR.

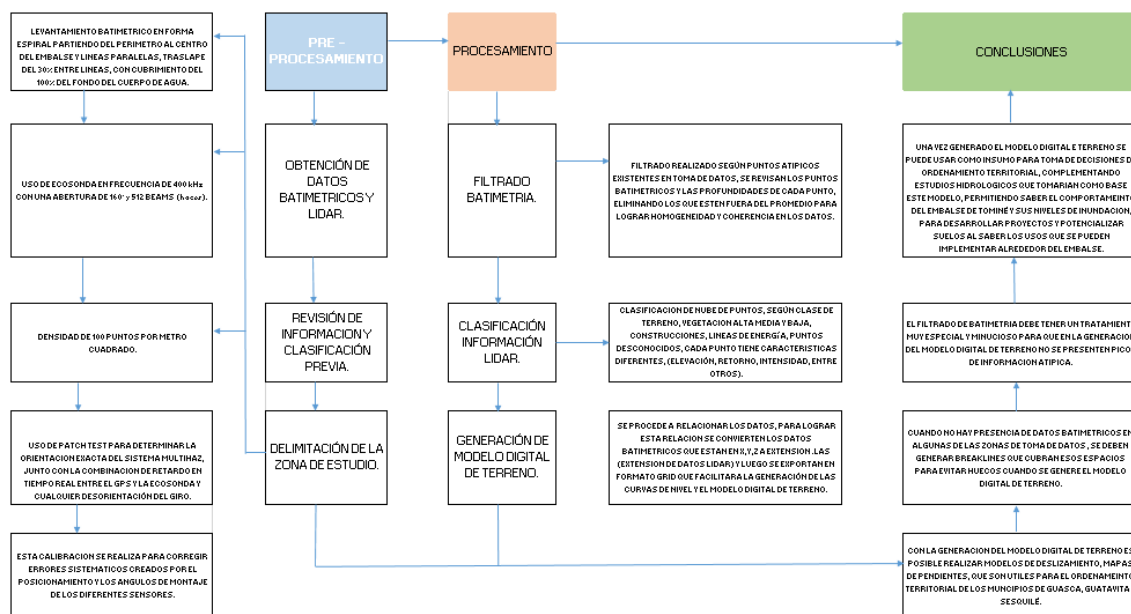


Diagrama 1. Procedimiento general

Fuente: Elaboración propia

2.3.1. Procedimiento específico pre procesamiento datos batimétricos y LiDAR.

Se analizan los datos batimétricos que fueron tomados por medio de ecosonda en frecuencia de 400 kHz, abertura de 160° y 512 haces (haces), luego de ser analizados se cambia la extensión de los datos que vienen dados por X, Y y Z a una nube de puntos con extensión .las los cuales contienen el modelo de superficie de la profundidad del cuerpo de agua, al tener los datos en extensión .las, se procede a realizar el cargue de datos LiDAR calibrados previamente en líneas de vuelo y ajuste del modelo geoidal de las coordenadas de referencia del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), de esta forma los datos batimétricos y LiDAR se encuentran con la misma extensión, listos para ser cargados en el software libre por 30 días MARS¹.

¹ The Merrick Advanced Remote Sensing (MARS[®]), es una aplicación de Windows complete, de producción independiente, diseñada para visualizar, gestionar, procesar y analizar datos de nube de



Como se visualiza los datos se encuentran mezclados, por lo que es necesario realizar el proceso de clasificación y filtrado, para los datos LiDAR y batimétricos respectivamente, de esta manera lo que se encuentra en color rojo son los datos correspondientes a batimetrías que reflejan la profundidad del embalse Tominé, los demás son los datos LiDAR que reflejan los elementos que están alrededor del embalse representados en diferentes colores, gris, naranja y morado, los datos representados en estos colores pueden ser mobiliario urbano, postes, aves, superficies vegetales, altas medias y bajas, personas, líneas de energía, postes de luz, carros, animales, construcciones, que serán clasificados más adelante en el procesamiento. .

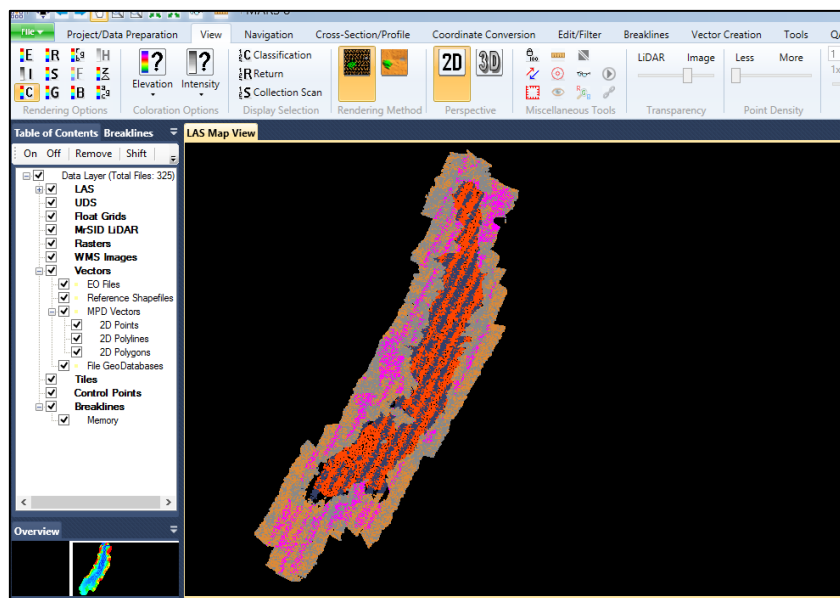


Imagen 2. Datos batimétricos y LiDAR de la zona de generación de Modelamiento Digital de Terreno

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. **Procesamiento** se realiza el trazo de secciones transversales para observar el comportamiento del terreno y a su vez generar separaciones de niveles a categorías correctas, este proceso es el mismo para todos los datos LiDAR obtenidos del vuelo.

Se observan los datos por medio de una Red Irregular de Triángulos (TIN), que representa la información vectorial de la superficie terrestre física o del fondo marino, formada por nodos y líneas irregularmente distribuidos, con coordenadas tridimensionales (x, y, z) dispuestas en una red de triángulos no superpuestos.

puntos LiDAR. Está diseñado para sistemas operativos Windows de 64 bits y ofrece poderosas funciones de filtrado, edición y gestión de datos LiDAR.



En esta clase de toma de datos se puede evidenciar capturas de mobiliario urbano, postes, aves, superficies vegetales altas medias y bajas, personas, superficies de agua, líneas de energía, postes de luz, carros, animales, construcciones, en esta clase de toma de datos se puede evidenciar capturas de mobiliario urbano, postes, aves, superficies vegetales altas, medias y bajas, personas, superficies de agua, líneas de energía, postes de luz, carros, animales, construcciones, los cuales se ven reflejados en el MDT, luego de hacer su debida clasificación y proceso de filtrado.

La sección transversal puede visualizar la batimetría en color rojo y los demás elementos de la superficie de terreno, que serán dispuestos a clasificación, donde se dejara en un solo nivel el terreno y los demás elementos en otros niveles según sea el caso.

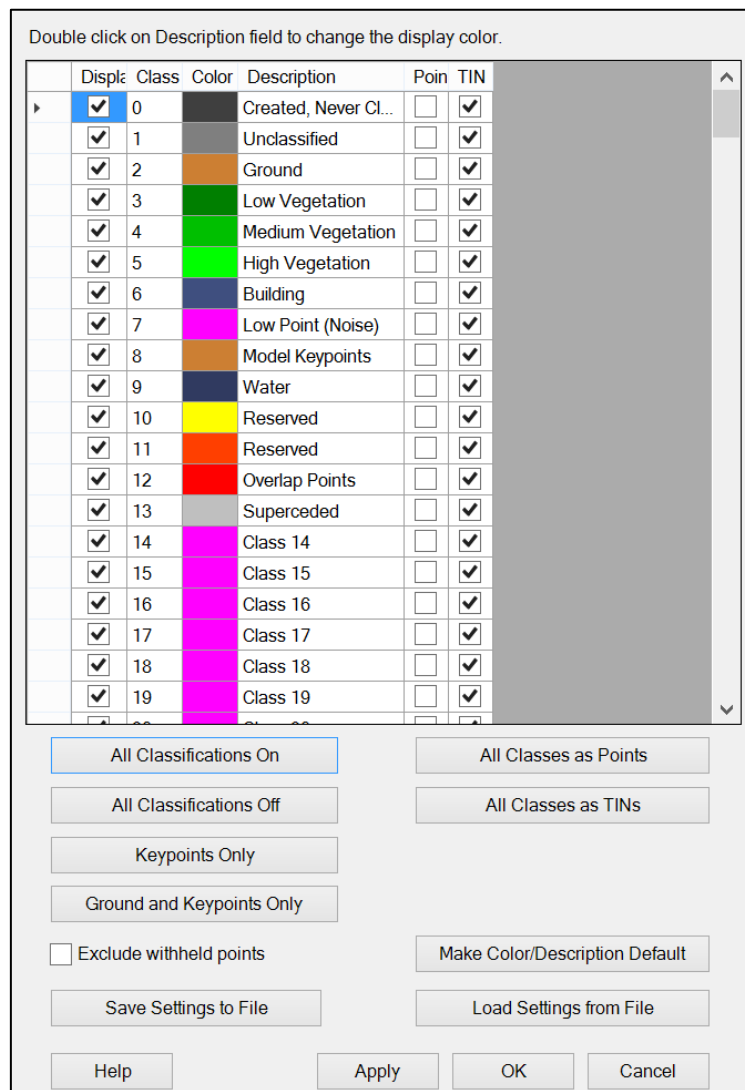


Imagen 3. Niveles de clasificación

Fuente: The Merrick Advanced Remote Sensing (MARS ®)

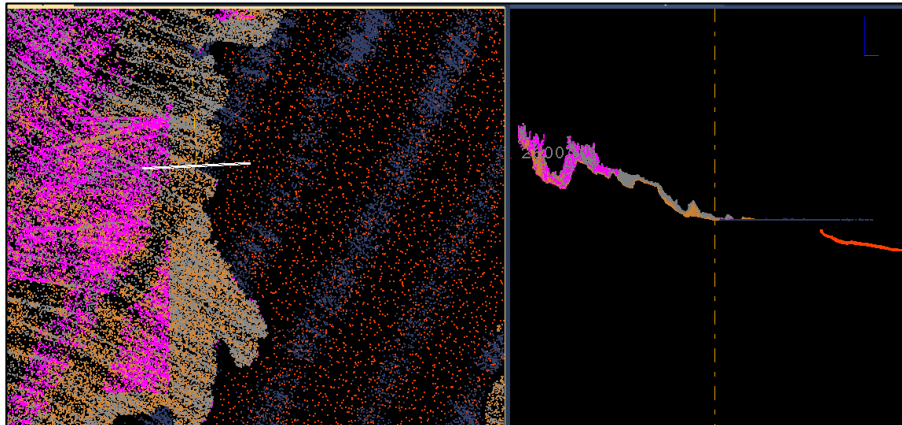


Imagen 4. Perfil de zona de cuerpo de agua y terreno

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar la clasificación se obtienen perfiles como el siguiente donde se puede diferenciar el terreno de la vegetación y de los demás elementos, de esta manera se tiene una superficie lista para ser integrada con los datos de batimetría.

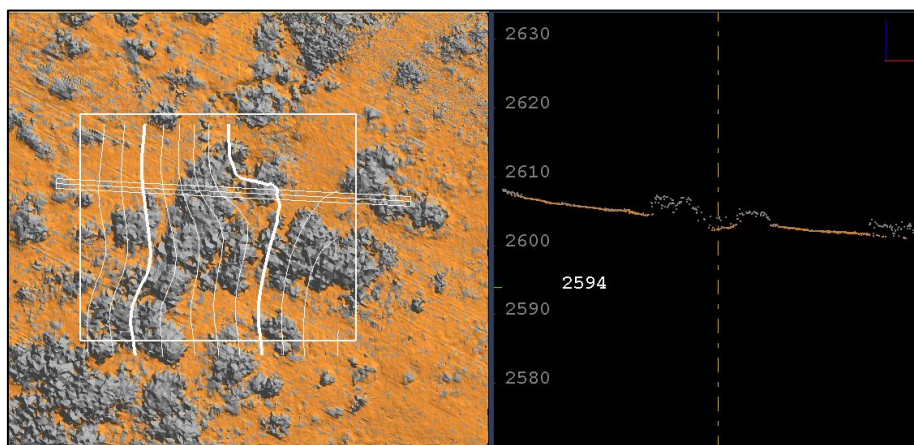


Imagen 5 Vista de perfil de Clasificación de información

Fuente: Elaboración propia

El siguiente proceso consiste en hacer una separación de la capa de superficie del agua obtenida de los datos batimétricos, para tener una vista inicial de la forma del cuerpo de agua y su profundidad, por medio de breaklines que se trazan tomando como referencia los puntos de batimetrías para interpolar los espacios donde hay vacío de información, estos breaklines también se deben pasar a formato .las para que puedan integrarse con la demás información al genera el Modelo Digital de Terreno, como se observa a continuación.

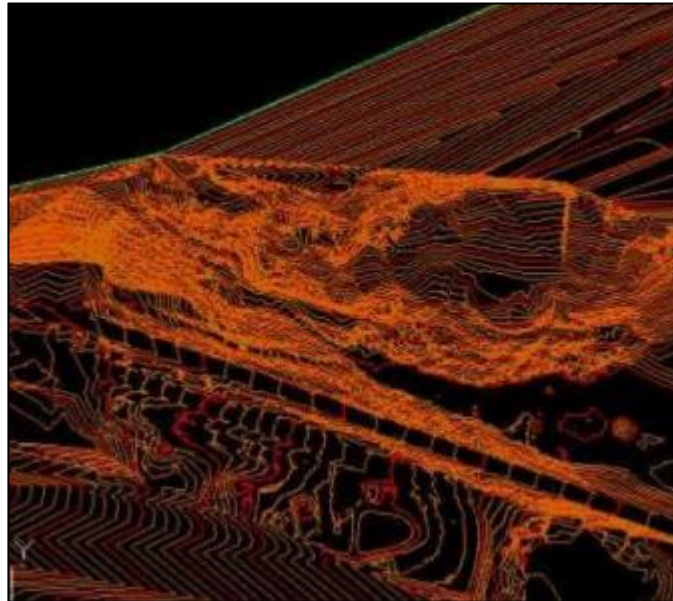


Imagen 6. Trazado de breaklines en zonas de poca información.

Fuente: Elaboración propia

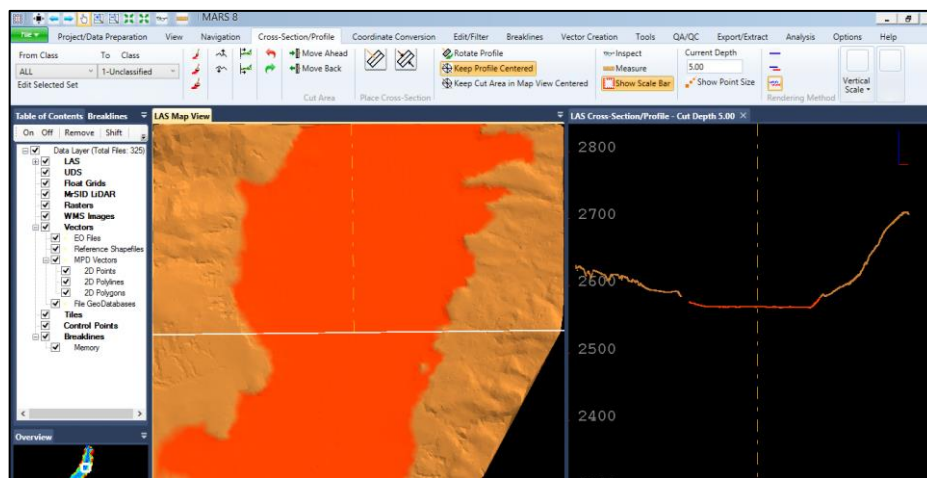


Imagen 7. Perfil de separación del nivel de agua y terreno

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo los datos LiDAR clasificados y las batimetrías filtradas, se procede a hacer la exportación de estos datos, se pueden generar diferentes formatos de exportación que pueden ser útiles para diferentes fines, como el caso de las curvas de nivel que se generan a partir del modelo de superficie, los archivos de texto ASCII que pueden ser leídos por diferentes programas de modelamiento hidráulico, los archivos float grid que generan mallas de puntos con valores y archivos TIF que es un formato universal reconocido que agrupa diferentes características que en este caso representaría el MDT.



Para la exportación se generan Tiles para que se procesen los datos por sectores y se selecciona el área que se quiere exportar.

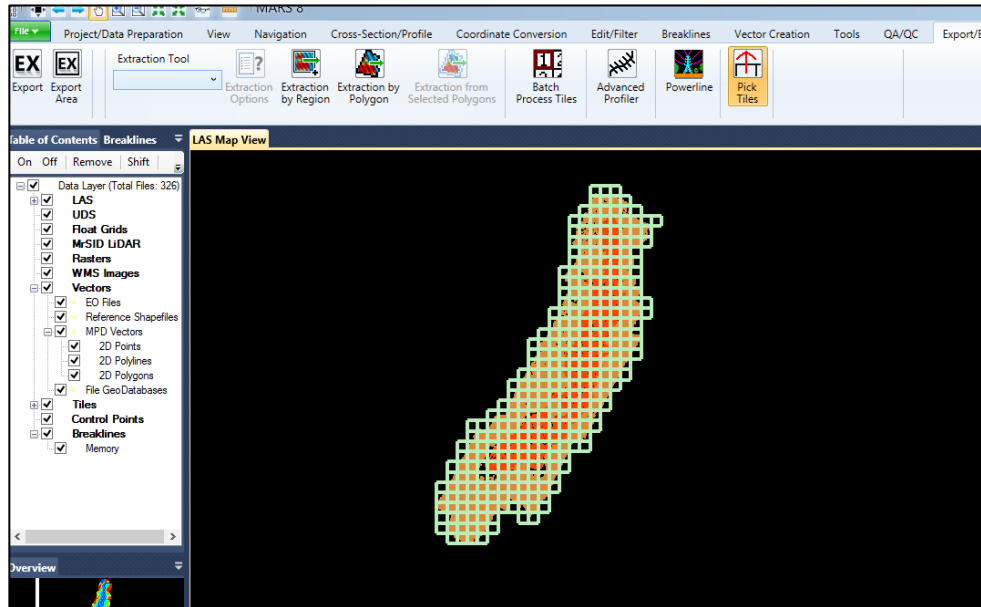


Imagen 8. Vista en software ArcGIS de la zona de generación de Modelo Digital de Terreno

Fuente: Elaboración propia.

Una vez generado el grid, se importa en ArcGIS y se visualiza el modelo en Tiles.

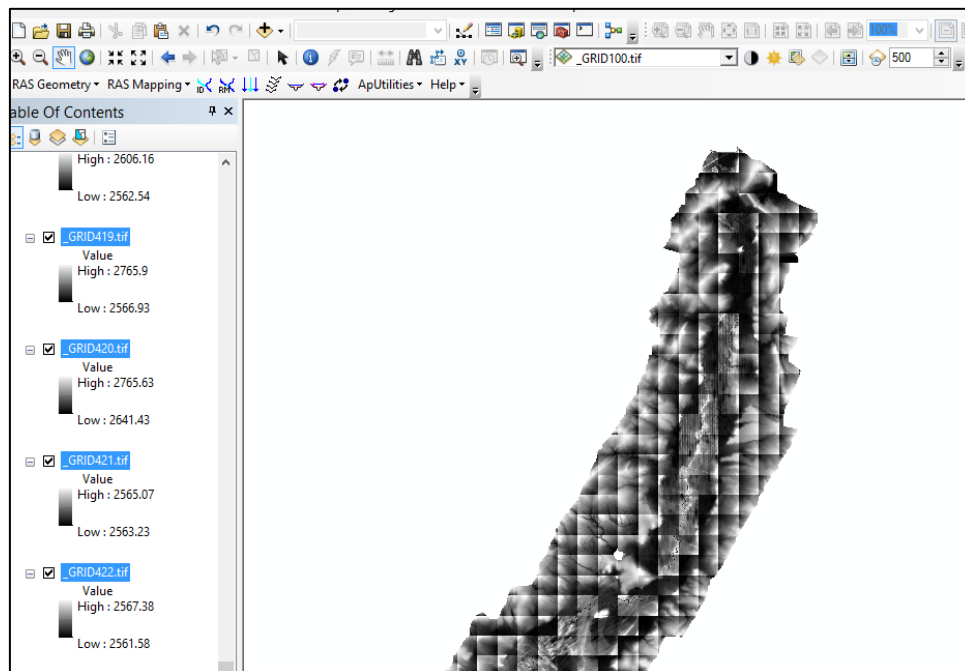


Imagen 9. Grid generado del Modelo Digma de Terreno dividido den Tiles

Fuente: Elaboración propia



Finalmente se genera el Modelo Digital de Terreno unificando el grid anterior para que las subdivisiones hechas por tiles se resuman a uno solo.

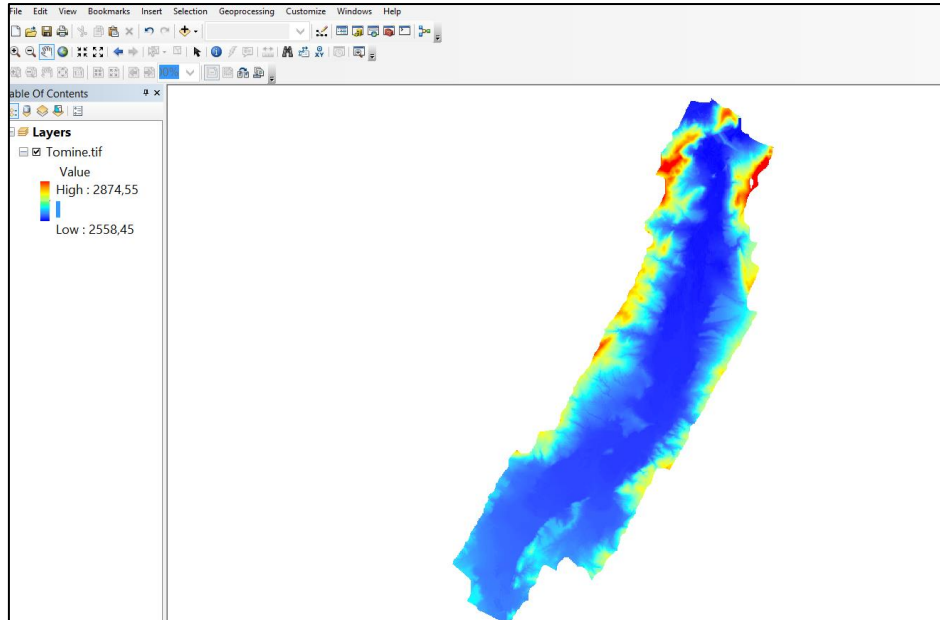


Imagen 10. Modelo Digital de Terreno

Fuente: Elaboración propia

Luego de tener el Modelo Digital de Terreno, lo cargamos en ArcScene, donde se puede visualizar el Embalse de Tominé en 3D.

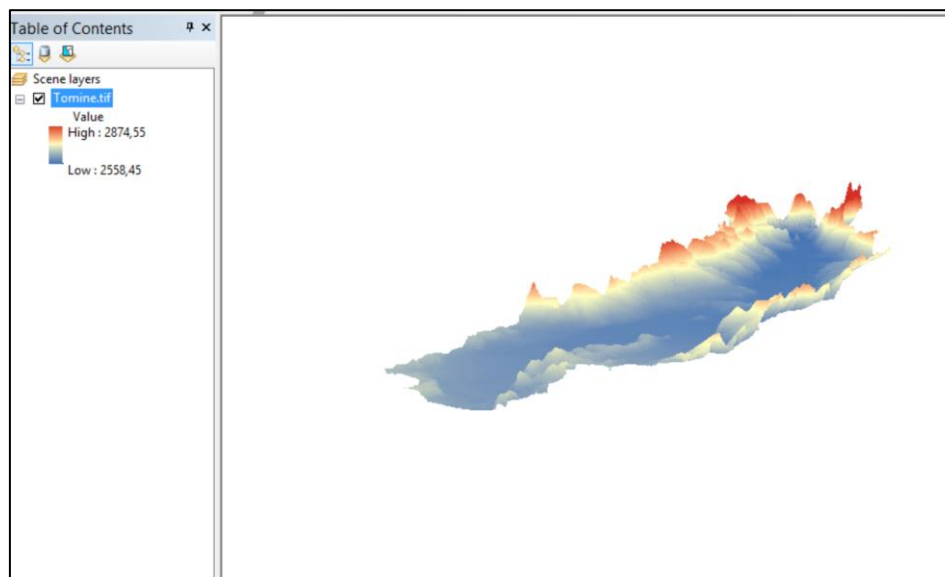


Imagen 11. Modelo Digital de Terreno vista 3D

Fuente: Elaboración propia



3. DESARROLLO, RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo a la metodología realizada en el desarrollo del artículo se tuvieron en cuenta dos momentos importantes para llegar a determinar las conclusiones.

- 3.1. **Pre- Procesamiento:** En primer lugar, se analizaron los datos batimétricos y LiDAR, su extensión y coherencia. Luego de reconocer la extensión de los datos batimétricos se realizó la transformación de la extensión que venían en X, Y y Z, a .las para que los datos que se manejen dentro del modelo tengan las mismas extensiones, tanto las batimetrías como los LiDAR.

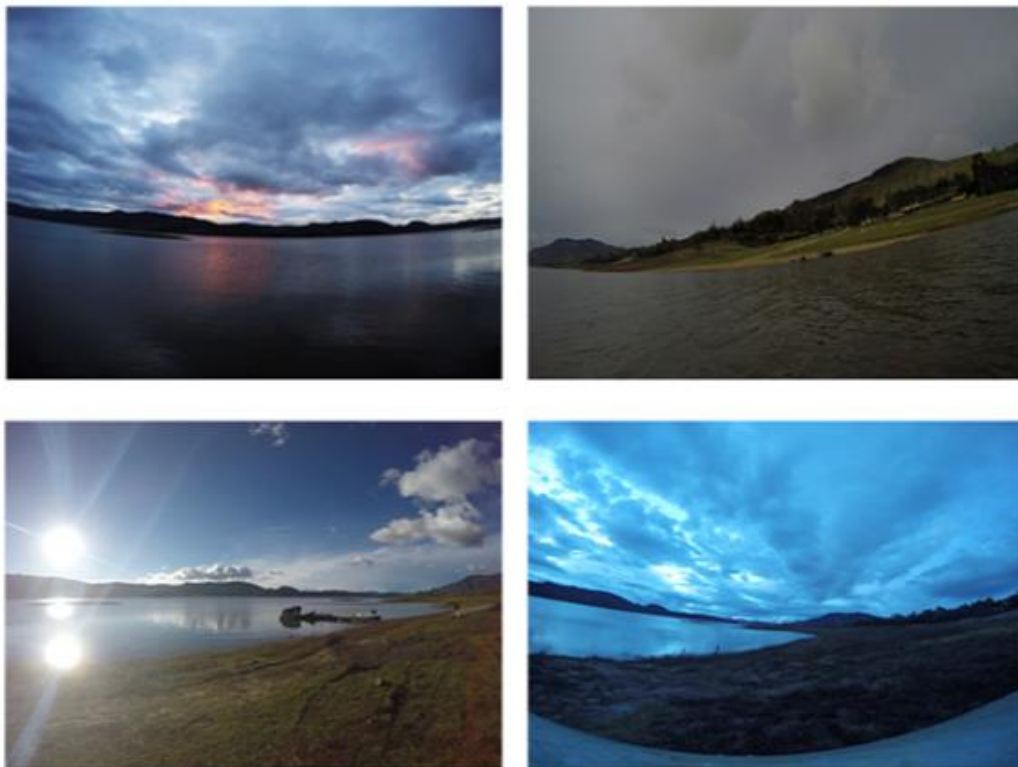


Imagen 12. Imagen Embalse Tominé en perspectiva

Fuente: Batimetría SAS Conocimiento profundo, Emgesa

- 3.1.1. **Procesamiento:** Luego de tener los datos en la misma extensión *.las, se procede a hacer el cargue en el software MARS para realizar la clasificación de datos LiDAR y filtrado de batimetrías, en los casos donde los datos batimétricos son escasos se trazan breaklines generados también en extensión .las para que en el siguiente proceso de interpolación no se encuentren vacíos en el modelo generado.



Imagen 13. Generación grid, zonas sin información batimétrica.

Fuente: Elaboración Propia

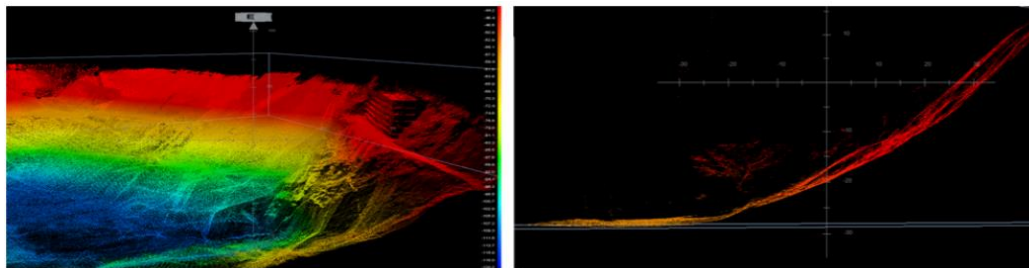


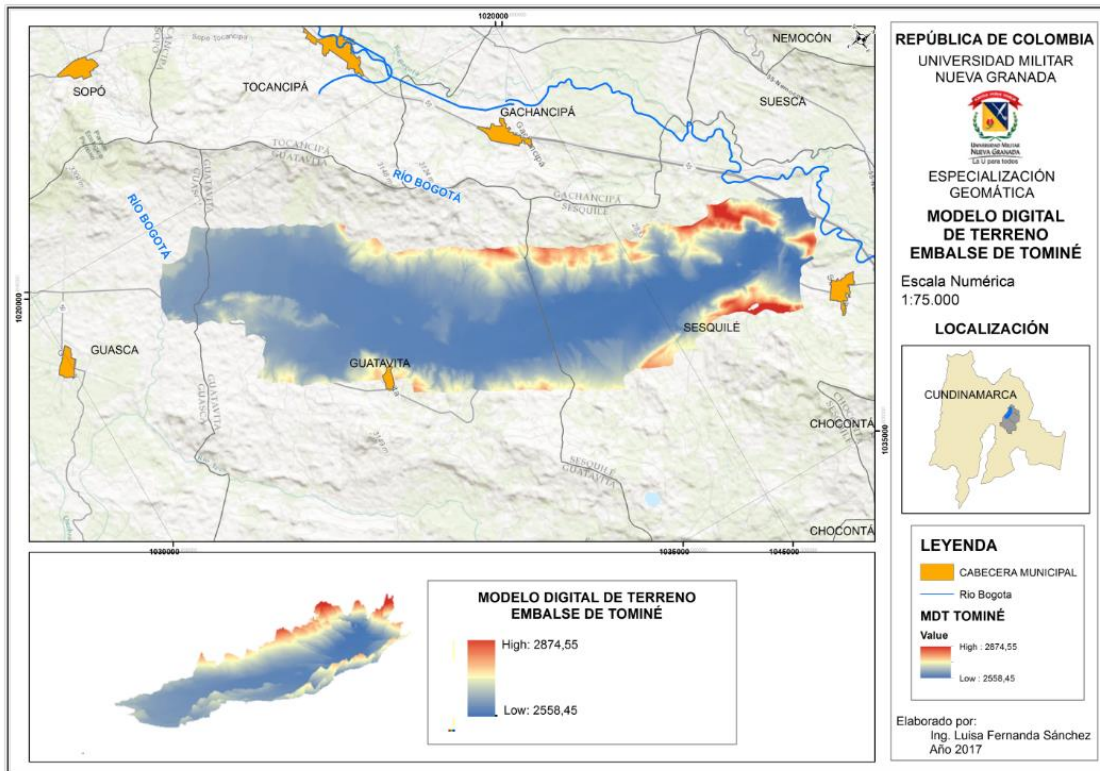
Imagen 14. Perfil de datos batimétricos y LiDAR filtrados y clasificados

Fuente: Elaboración propia

Luego de generar los breaklines para cubrir los espacios donde falta información, se genera nuevamente el modelo y se exporta en el software MARS como grid fraccionado en tiles para que la información se procese por partes teniendo en cuenta la robustez de los datos, para luego ser cargado en ArcGIS y realizar la integración de esta información en un solo archivo, para obtener el Modelo Digital de Terreno.

3.1.2. RESULTADOS

Se generó un Modelo Digital de Terreno del Embalse de Tominé, que tiene en cuenta la forma del cuerpo de agua, su profundidad y las características de los elementos ubicados a su alrededor, que sirve como insumo para toma de decisiones y generación de productos como lo son mapas de pendientes, modelos hidrológicos, modelos de deslizamientos, entre otros, que apoyen el ordenamiento territorial de los municipios de Guasca, Guatavita y Sesquilé. Luego de generar el Modelo Digital de Terreno por medio de los colores se pueden diferenciar las zonas más profundas en color azul correspondientes al cuerpo de agua y las más altas cercanas al terreno en colores amarillos y rojos, las áreas en amarillo y rojo que están en el embalse son islas o buchón.



3.2. DISCUSIÓN

Con el paso de los años alrededor del embalse se han desarrollado actividades importantes para su desarrollo económico, social, cultural, y político, pero el ordenamiento no ha sido el más efectivo, por falta de conocimiento del comportamiento del embalse, además de cómo se pueden aprovechar los suelos que se encuentran allí, con la generación del Modelo Digital de Terreno se podrá avanzar en la creación de nuevo material que permita realizar un ordenamiento territorial efectivo de la zona, aunque no es suficiente tener solo el Modelo Digital de Terreno es la base para muchos estudios del área de influencia.

La operación del embalse ha estado a cargo de la Empresa de Energía de Bogotá, pero a la fecha no se tienen insumos sólidos para comprender el comportamiento del mismo y poder planificar, además de que se lleva a cabo desde el año 2013 informes de cumplimiento ambiental por las actividades que se hacen allí pero no hay un histórico o antecedentes que permitan conocer sobre el territorio de manera profunda, la falta de cartografía e insumos hidrográficos hacen más difícil la planificación, por este motivo es de suma importancia contar con información actualizada y verídica que fortalezca las actividades desarrolladas y el cumplimiento con diferentes entidades territoriales.

Aunque es un trabajo arduo el de toma de datos en el embalse y su alrededor, por su gran extensión, es necesario y justificable realizarlo,



por el potencial que tiene la zona, además de los cuidados ambientales que se deben implementar para lograr desarrollo sostenible.

4. CONCLUSIONES

- El volumen total de agua que puede contener el embalse a la cota máxima obtenida 2588,6 es de 622.97 hm³ y el área de inundación que corresponde a esta cota es de 3473.13 ha.
- La máxima profundidad del embalse se encontró a 23.67 metros.
- De acuerdo a información suministrada por la empresa de energía de Bogotá del histórico de cotas máximas alcanzadas por el embalse, se obtuvo el promedio del periodo desde el año 2008 hasta el 2016 registrando una cota promedio de 2588,6 msnm, al realizar la comparación con el Modelo Digital de Terreno se obtuvo una cota máxima de rebose de 2598.5 msnm, lo que quiere decir que la cota máxima de rebose es más alta al promedio que se había obtenido en los años anteriores.
- Una vez generado el Modelo Digital de terreno se puede usar como insumo para toma de decisiones de ordenamiento territorial, complementando estudios hidrológicos que tomarían como base este Modelo, permitiendo saber el comportamiento del embalse y sus niveles de inundación, para desarrollar proyectos y potencializar suelos al saber los usos que se pueden implementar alrededor del embalse
- Cuando no hay presencia de datos batimétricos en algunas de las zonas de toma de datos, se deben generar breaklines que cubran esos espacios para evitar vacíos de información cuando se genere el Modelo Digital de Terreno.
- Con la generación del Modelo Digital de Terreno es posible realizar modelos de deslizamiento, mapas de pendientes, que son útiles para el ordenamiento territorial de los municipios de Guasca, Guatavita y Sesquilé

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento de este proyecto va dirigido a Dios en primer lugar porque hizo posible llevar a cabo esta especialización y me dio las facultades necesarias para culminarla, también a mi mamá, hermanas y sobrinas, quienes estuvieron de manera constante en mi proceso apoyándome de manera incondicional para que fuera exitoso.

De igual manera a mis compañeros y docentes quienes fortalecieron mis capacidades y guiaron el buen desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

ASSOCIATION, I. C. (2017). *ICA, GEOMÁTICA*.

DOYLE, F. J. (1978). *DIGITAL TERRAIN MODELS: AN OVERVIEW*.



- ESRI. (2017, JUNIO 10). *ArcGis for Desktop*. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>
- FELICISIMO, A. M. (1994). *MODELOS DIGITALES DE TERRENO*.
- FUNDACIÓN GRUPO DE ENERGÍA DE BOGOTÁ. (2016). *PROCESO COMPETITIVO CERRADO No. 01. BOGOTÁ*.
- HARLEY, J. B. (2005). *LA NUEVA NATURALEZA DE LOS MAPAS, ENSAYOS SOBRE LA HISTORIA DE LA CARTOGRAFIA*.
- MORENO, J. S. (2013). *CEMENTERIO DE PUEBLO VIEJO (GUATAVITA): ANCLAJE PARA LA MEMORIA Y LA HISTORIA DEL VALLE DE TOMINÉ*. BOGOTÁ.
- RODRIGEZ, L., & RODRIGUEZ, L. F. (2010). *PERFIL AMBIENTAL DE LA SUBCUENCA DEL EMBALSE DE TOMINÉ DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ*.
- ROMERO, F., & PINEDA, N. M. (2007). *MATIMETRIA DEL LAGO DE YOJOA. REVISTA - CIENTIFICA TATASCAN. VOLUMEN 19, NUMERO 2*.
- SILVA HERRERA, J. (2008, JUNIO 10). *LOS NEVADOS DE COLOMBIA SE ESTAN ACABANDO A CAUSA DEL CALENTAMIENTO GLOBAL. EL TIEMPO*.