



**GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE UNIDADES DE
LADERAS Y PERFILES TOPOGRÁFICOS, A
PARTIR DE UN MODELO DIGITAL DE
TERRENO, EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA,
CAUCA.**

**AUTOMATIC GENERATION OF HILLSIDE UNITS AND
TOPOGRAPHIC PROFILES, BASED ON A DIGITAL
TERRAIN MODEL, IN THE MUNICIPALITY OF LA VEGA,
CAUCA.**

Diego Alejandro Machado Rodríguez
3101582
Ingeniero Topográfico

Director trabajo de grado:
Ing. Freddy León Reyes M.Ed

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
JUNIO DE 2022
BOGOTÁ-COLOMBIA**

GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE UNIDADES DE LADERAS Y PERFILES TOPOGRÁFICOS, A PARTIR DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO, EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA, CAUCA.

AUTOMATIC GENERATION OF HILLSIDE UNITS AND TOPOGRAPHIC PROFILES, BASED ON A DIGITAL TERRAIN MODEL, IN THE MUNICIPALITY OF LA VEGA, CAUCA.

Diego Alejandro Machado Rodríguez
Ingeniero Topográfico
Estudiante Facultad de ingeniería.
Universidad Militar Nueva Granada.
Bogotá, Colombia
est.diegoa.machado@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Los análisis de morfométricos de los diferentes tipos de modelo digitales de terreno con los que contamos hoy en día son una herramienta que cada día se vuelve más valiosa para el desarrollo de los diferentes proyectos de infraestructura urbana, así mismo como para los planes de ordenamiento territorial de cada uno de los municipios, con el fin de emplear estos elementos que cada día con los avances tecnológicos mejoran, se propone la siguiente metodología con el fin de generar unidades de laderas y perfiles de terreno que permitan realizar distintos tipos de análisis, fundamentalmente movimientos en masa los cuales pueden ser causales de avenidas torrenciales o derrumbes que causen diferentes tipos de afectaciones en el municipio y puedan incluso costar vidas humanas, en el desarrollo de este documento veremos cómo se desarrolla por medio del software ArcGIS, los insumos necesarios para realizar los diferentes estudios de forma rápida y adecuada.

Palabras Clave: Laderas, Perfiles, Movimientos en masa, Avenidas Torrenciales, Automatización, ArcGIS.

ABSTRACT

The morphometric analysis of the different types of digital terrain models that we have today is a tool that is becoming more valuable every day for the development of different urban infrastructure projects, as well as for the land use plans of each of the municipalities, in order to use these elements that improve every day with technological advances, the following methodology is proposed in order to generate slope units and terrain profiles that allow different types of analysis, mainly mass movements which can cause torrential floods or landslides that cause different types of damage in the municipality and can even cost human lives, in the development of this document we will see how it is developed through ArcGIS software, the necessary inputs to perform the different studies quickly and properly.

Keywords: Slopes, Profiles, Mass Movements, Torrential Floods, Automation, ArcGIS.

INTRODUCCIÓN

El año 2010 y 2011 en Colombia fue uno de los periodos en los cuales el fenómeno de “La Niña” se agudizo de tal manera que se presentaron temporadas de lluvias completamente anormales, este es un fenómeno natural que genera una variabilidad climática, derivado principalmente de un enfriamiento por debajo de lo normal de las aguas del Océano Pacífico Tropical central y oriental, frente a las costas de Perú, Ecuador y sur de Colombia [1], esto genera un cambio en el comportamiento de los vientos en las diferente regiones, lo cual deriva en un inevitable aumento de las lluvias. Cada vez que se presenta este fenómeno es diferente y sus efectos pueden variar de acuerdo a la intensidad con la cual se presente cada año. Las zonas que se ven más afectadas debido a su localización son la región caribe y pacífico, pero la afectación del clima es a nivel nacional los cual genera fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa que ocasionan serias afectaciones a la población a nivel nacional y perdidas económicas innumerables, razón por la cual desde la presidencia de la república se decidió implementar medidas que desde las políticas públicas y leyes permitieran tener planes de gestión del riesgo y mitigar de todas las formas posibles los estragos que en el futuro se puedan presentar a causa de las olas invernales, fue así que en el mes de abril del 2012 se publica la ley 1523, la cual derroca la 919 de 1989, y es conocida como la “LEY DEL SISTEMA NACIONAL DE GESTION DEL RIESGO”.

De esta forma en el país se incrementaron los retos para buscar las metodologías, el software y hardware que permita desarrollar de mejor forma modelos predictivos y estudios multidisciplinarios de gestión del riesgo, que permitan desarrollar los planes de ordenamiento territorial para cada uno de los municipios de país, teniendo en cuenta sus diferencias topográficas, hidrográficas y características de cada región, al ser Colombia un país con gran riqueza y diversidad natural, significa también que el

reto es mayor, ya que cada una de las regiones presenta fenómenos naturales diferentes de acuerdo a sus condiciones. Por este motivo y en pro del desarrollo de herramientas que permitan mejorar las predicciones y los análisis para la toma de decisiones, a continuación se presenta una metodología que permite crear de manera automática perfiles de terreno sobre las laderas que permitan realizar diferentes tipos de análisis tanto geológicos como estabilidad de suelos que permitan el desarrollo ágil de los diferentes estudios.

El municipio de la vega está localizado al sur oriente del departamento del Cauca a 119 Km, de la ciudad de Popayán capital del departamento, en los límites del Macizo Colombiano en la cordillera central, limitando al norte con el Municipio de la Sierra y Sotara; al oriente con el departamento del Huila; al sur con los municipios de San Sebastián y Almaguer y al occidente con los municipios de Sucre y Patía como podemos observar en la **Figura 1**.

UBICACIÓN ESPACIAL

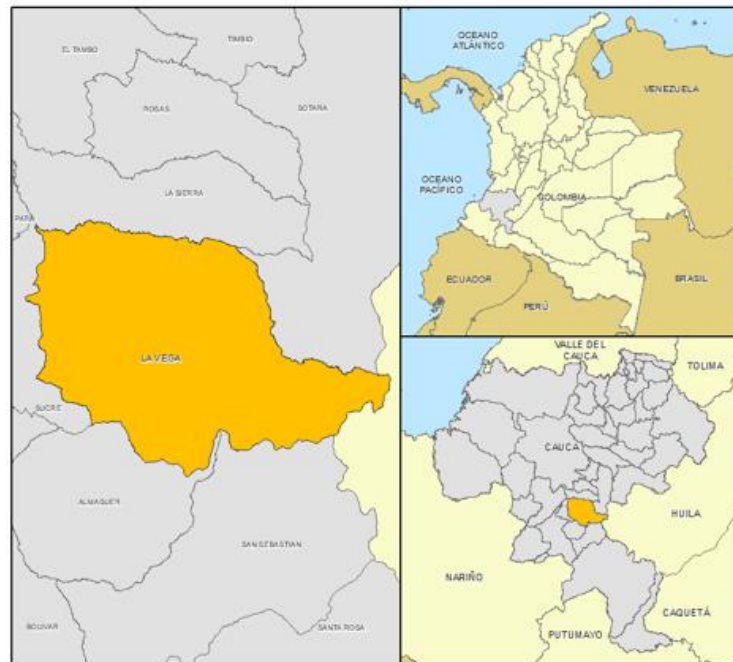


Figura 1 Localización general del municipio de La Vega.
Fuente: Elaboración propia.

Por estar dentro del Departamento del Cauca, se encuentra totalmente dentro de la Zona Ecuatorial, con altas temperaturas y bajas presiones durante todo el año; sin estaciones. Sólo presenta un periodo estacionario al año con dos sub períodos: Uno seco, que se denomina sequía y otro en el que llueve con mayor frecuencia e intensidad que se denomina lluvias (invierno). Su altura promedio sobre el nivel del mar es de 2.272 metros y en su territorio se pueden encontrar toda la gama de climas [2].

Por estas razones climatológicas y morfológicas el municipio de La Vega es uno de los más susceptibles a fenómenos de movimientos en masa y avenidas torrenciales, además de eso la localización de su cabecera municipal coincide con la unión de cuatro drenajes con potencial avenida torrencial, por tal motivo se desarrollara el proceso de generar los perfiles para los futuros análisis de laderas que se puedan llegar a realizar en el municipio.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

El insumo base para el desarrollo del insumo es el modelo digital de terreno, por lo cual y siguiendo la guía de amenazas por avenida torrencial del Servicio Geológico Colombiano, el modelo adecuado para la realización de productos cartográficos a escala 1:25000 es el de ALOS PALSAR, el cual se descarga de forma gratuita desde la página del servicio geológico de los Estados Unidos como lo vemos en la **Figura 2**.

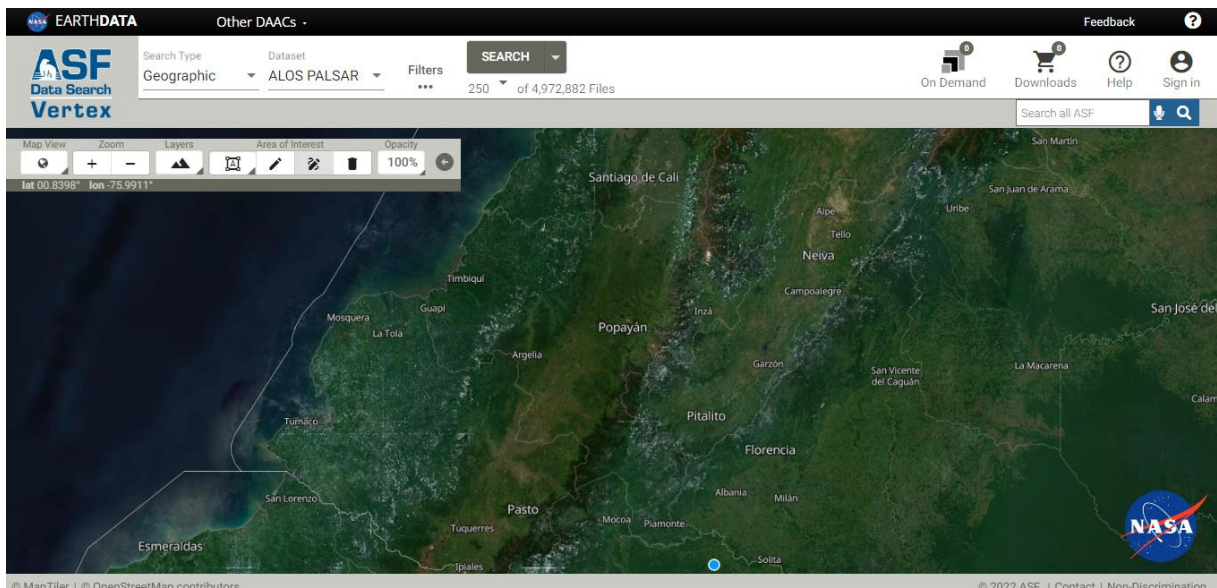


Figura 2 Página de descarga de modelo digital de terreno ALOS PALSAR.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez descargamos el modelo digital de terreno, procedemos a realizar los cortes correspondientes a nuestra área de estudio, en este caso el límite municipal de La Vega, este modelo se valida con ayuda de la red geodésica nacional, verificando que sus alturas sean correctas o que estén dentro del rango de error que permite la escala de trabajo, para el desarrollo de este ejercicio académico, el modelo cumple con esta condición por la cual no se le realiza ningún tipo de ajuste a nivel de alturas, a continuación en la **Figura 3** podemos ver el modelo digital que se va a utilizar para el desarrollo del proyecto.

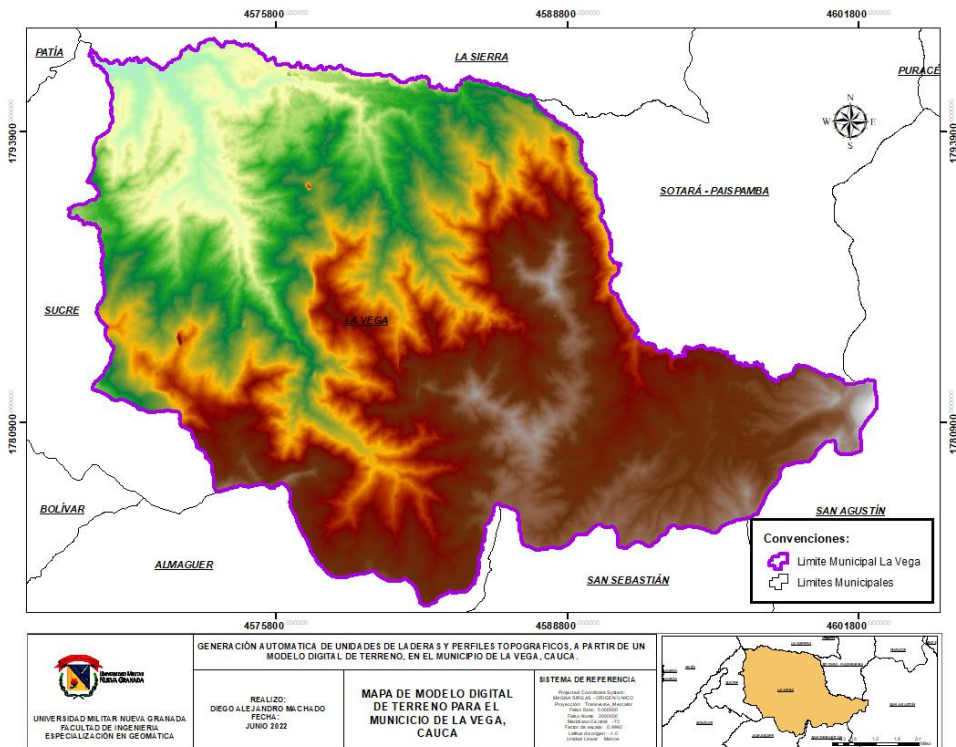


Figura 3 Modelo Digital de Terreno del municipio de La Vega.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez tenemos el modelo digital de terreno (MDT), procederemos a realizar los siguientes pasos que están en la **Figura 4** los cuales son procesos cartográficos con el fin de obtener las unidades de laderas para las cuales son el segundo insumo principal para el desarrollo de esta actividad

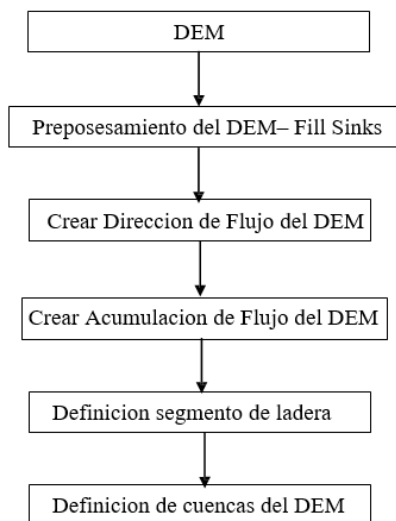


Figura 4 Modelo Digital de Terreno del municipio de La Vega.
Fuente: Metsu, Turel [3].

Realizamos el procesamiento del MDT, en el cual nos va presentando los subproductos los cuales son necesarios para la determinación de las laderas, a continuación en la se presenta el modelo en ArcGIS con el cual se generan de forma automática.

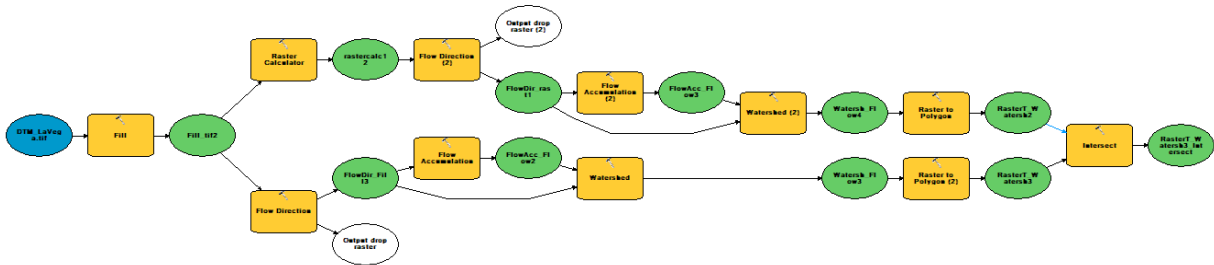


Figura 5 Modelo Digital de Terreno del municipio de La Vega.
Fuente: Elaboración propia.

1.1. Fill (Llenar)

Este es el primer paso el cual consiste en un proceso de rellenar las imperfecciones que se puedan presentar en el modelo de terreno a partir de los pixeles vecinos, esta herramienta se encuentra en la ruta, su proceso lo podemos ver en la **Figura 6**.



Figura 6 Ajustes de modelo por herramienta Fill.
Fuente: ArcGIS Help [4]

1.2. Flow Direction(Dirección de flujo)

Es vital determinar el comportamiento hidrológico del municipio, por tal razón se es necesario implementar las herramientas del módulo de hidrología de ArcGIS, la primera herramienta de este tipo es la dirección de flujo, la cual realiza el análisis de recorrido del agua de acuerdo a las condiciones topográficas del terreno, el proceso lo vemos explicado en la **Figura 7**.



Figura 7 Valores de elevación convertidos en códigos de dirección de flujo
Fuente: ArcGIS Help [4]

1.3. Flow Accumulation (Acumulación de flujo)

Una vez tenemos la dirección de flujo, que es un pre requisito, procedemos a realizar la acumulación de flujo, la cual es el proceso que toma los valores de pixel comunes y empieza a determinar por medio de un algoritmo las zonas en la cuales es más probable que el flujo se acumule y genera un nuevo Raster, el proceso se explica en la **Figura 8**.

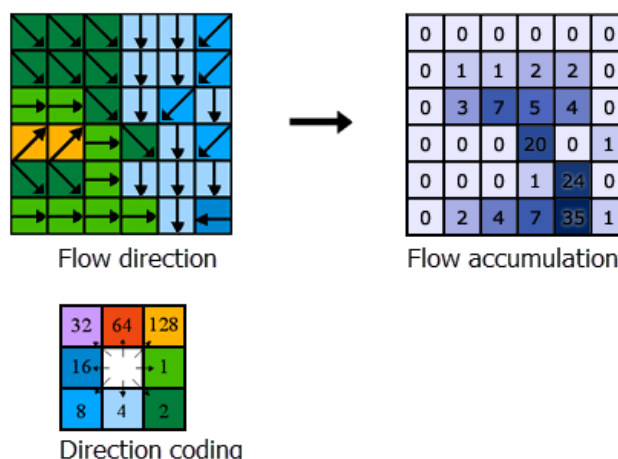


Figura 8 Determinar la acumulación de flujo
Fuente: ArcGIS Help [4]

1.4. Watershed (Cuenca Hidrográfica)

Las cuencas hidrográficas son generadas a partir de una de las características topográficas que es la pendiente y la acumulación de flujo, en la **Figura 9** podemos ver las diferentes partes de la cuenca y por medio de esta herramienta podemos determinar generar las cuencas correspondientes para cada uno de los modelos.

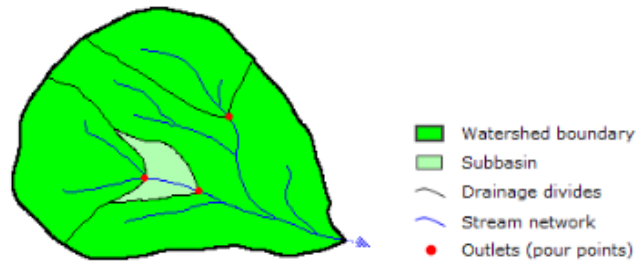


Figura 9 Componentes de cuenca hidrográfica
Fuente: ArcGIS Help [4]

1.5. Raster to Polygon (Raster a Polígono)

Este proceso toma entidades de las cuencas hidrográficas de tipo Raster y las convierte a polígonos los cuales solo los que vamos a necesitar para generar las laderas que es el segundo insumo.

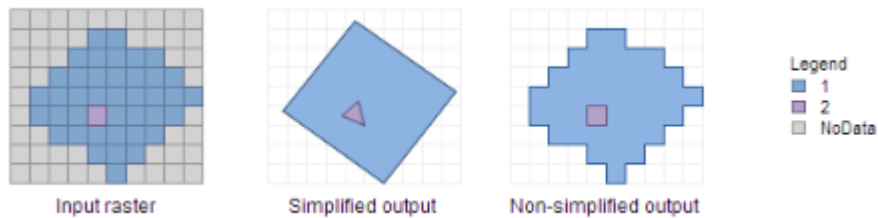


Figura 10 Comparación de la salida con diferentes opciones de simplificar
Fuente: ArcGIS Help [4]

1.6. Intersect (Intersection)

Este proceso toma las cuencas generadas para cada uno de los modelos y los intersecta de forma tal que los polígonos generados corresponden a la unidad de laderas y son los polígonos y el producto el segundo producto principal ya que son la unidad de análisis y a partir de esta se generaran los perfiles.

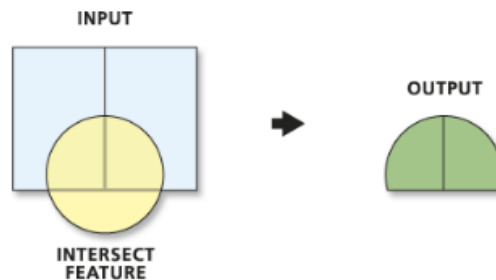


Figura 11 Comparación de la salida con diferentes opciones de simplificar
Fuente: ArcGIS Help [4]

Los resultados obtenidos los podemos visualizar en la Figura 12, estos son los resultados de los subproductos generados para poder llegar a los resultados finales que son los perfiles topográficos, es importante entender cómo podemos ver en el modelo generado es necesario correr el proceso con dos modelos, es decir, el modelo digital de terreno que es el insumo inicial se le debe realizar un procesamiento el cual invierte los valores de cota, esto se consigue realizando un algebra de mapas que consiste en multiplicar el modelo por -1, con esto se consigue generar las que denominaremos cuencas inversas, estas son las que intersectamos con las cuencas del modelo original y obtendremos nuestra unidad de laderas.

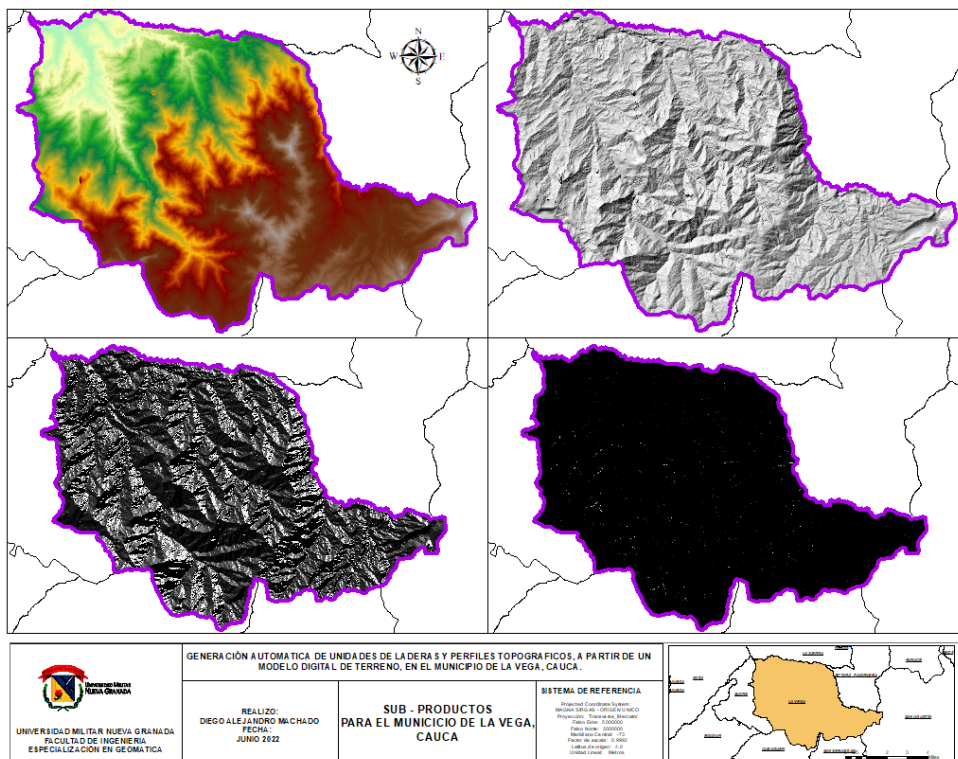


Figura 12 Modelo Digital de Terreno del municipio de La Vega.

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso es a través de otras herramientas de ArcGIS generar los perfiles sobre las unidades de laderas, para esto se genera el siguiente modelo que vamos a incluir en el original, esto con el fin de que en la modelación sea optimizada y solamente requiera ingresar el MDT y este a su vez genere todos los subprocesos y nos dé resultados finales que serán las laderas y los perfiles correspondientes a las mismas, de esta forma en la Figura 13, vemos el sub modelo.

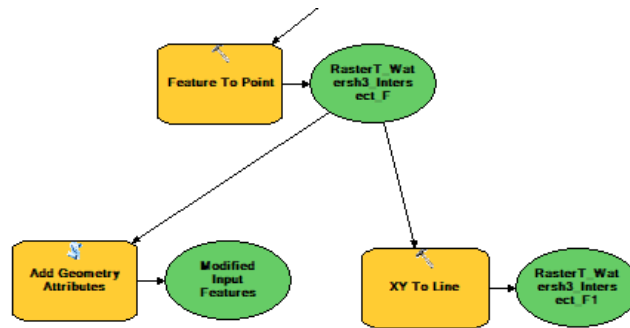


Figura 13 Sub modelo para generar perfiles.

Fuente: Elaboración propia

1.7. Feature To Point (Polígono a punto)

Este proceso toma los polígonos de laderas y les genera el centroide, y el punto máximo y mínimo para cada uno de ellos, calculando esta geometría podemos genera las líneas como lo veremos en los siguientes procesos.

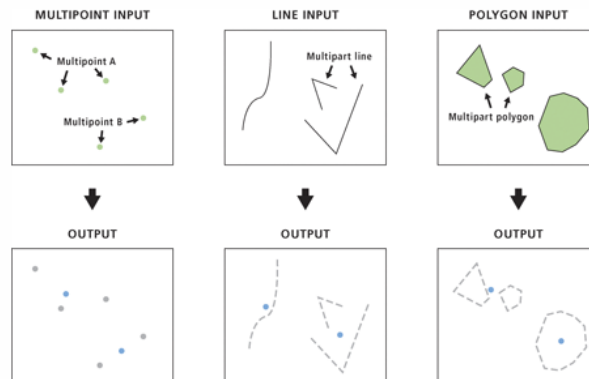


Figura 14 Comparación de la salida con diferentes opciones de simplificar

Fuente: ArcGIS Help [4]

1.8. Add Geometry Attributes (Agregar atributos de geometría)

Esta herramienta nos permite agregar la geometría de los puntos generados con la herramienta anterior, al ser entidades tipo puntos lo que nos calcula la herramienta es la coordenada X y la coordenada Y, los cuales son los atributos principales para la generación de los perfiles.

1.9. XY to Line (XY a línea)

Esta herramienta genera línea a partir de coordenadas XY, por tal motivo es la que utilizamos para crear los perfiles desde los puntos ya conocidos.

2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación se presenta el modelo de ArcGIS final en el cual podemos observar todas las herramientas integradas y el cual nos permite generar los perfiles de forma finales para el análisis, como podemos notar el modelo solo requiere una entrada, es decir un único insumo inicial el cual es el modelo digital de terreno

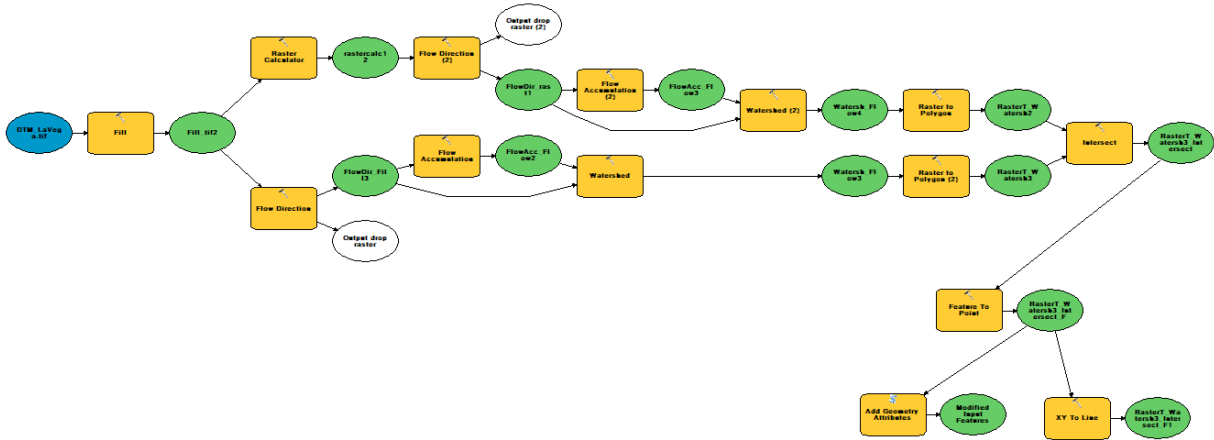


Figura 15 Modelo final para la generación de los perfiles
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 16, podemos observar los primeros resultados los cuales corresponden a las laderas generadas por el modelo denominado “normal”, esto hace referencia a que a este no se le realizaron que variaran sus valores de elevación.

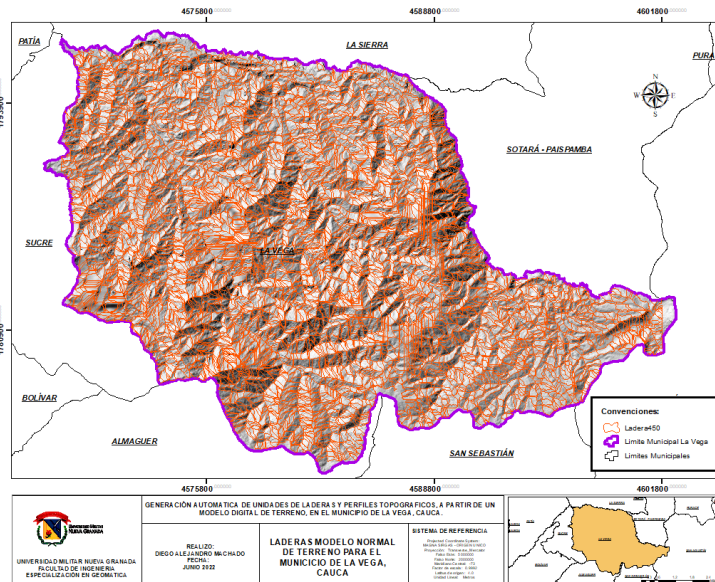


Figura 16 Laderas de modelo de terreno normal
Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte en la Figura 17, podemos observar las laderas generadas a partir del modelo denominado “Inverso”, el cual si tiene una operación matemática que es multiplicarlo por -1, con esto podemos obtener la contraparte de las laderas y realizar la intersección para generar las laderas finales.

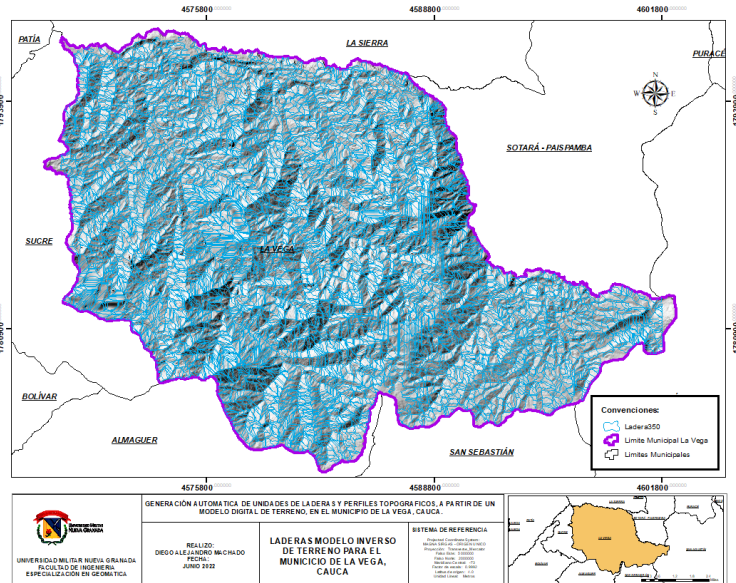


Figura 17 Laderas de modelo de terreno inverso
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente podemos observar el resultado final de las laderas y perfiles los cuales pueden extraer los que se consideren necesarios para realizar los análisis en software externos como Slide para estabilización de taludes o demás aplicaciones que se puedan dar.

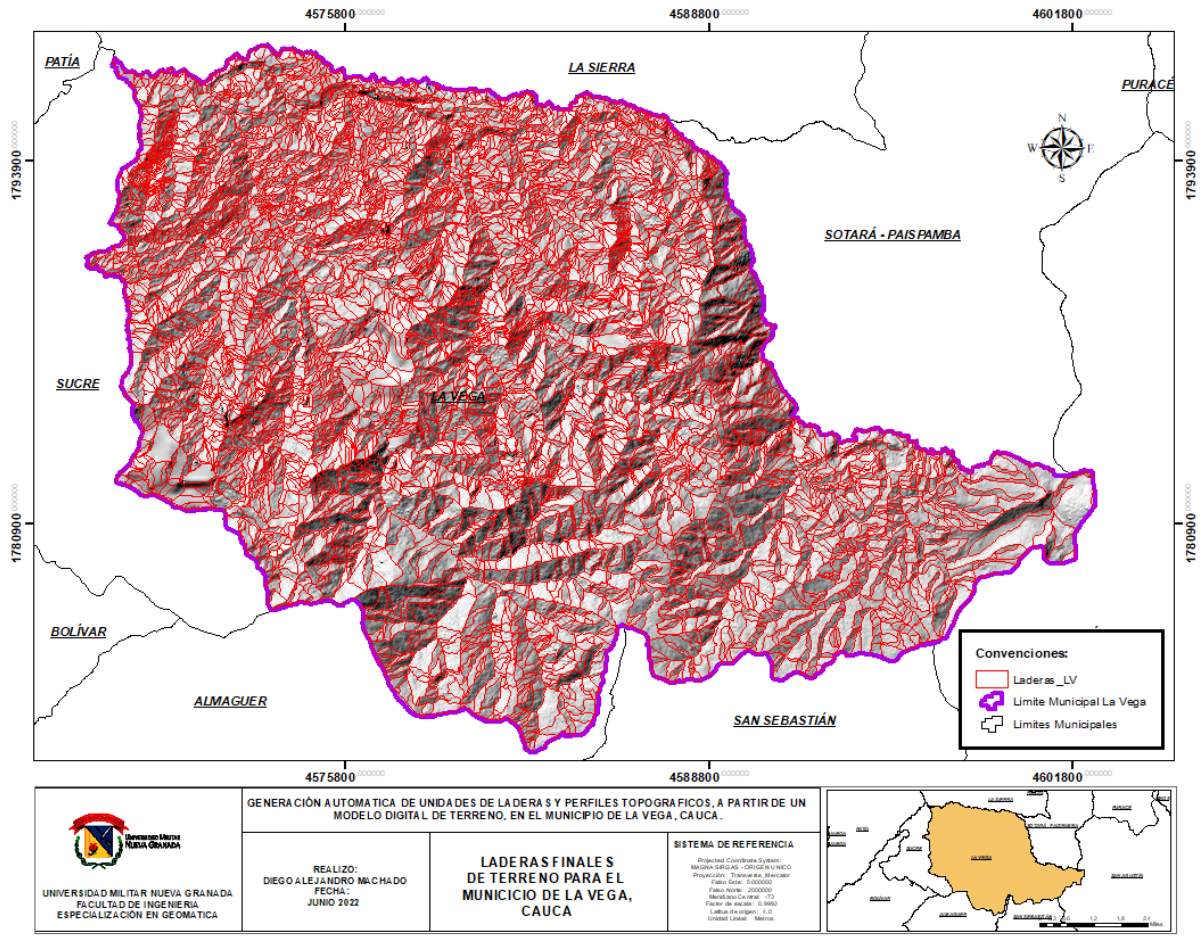


Figura 18 Laderas y perfiles finales
Fuente: Elaboración propia.

3. CONCLUSIONES

- Las herramientas actuales tanto de hardware como de software nos permiten crear una gran cantidad de soluciones de automatización de productos cartográficos que posteriormente pueden ser utilizados para el análisis del comportamiento de diferentes fenómenos naturales.
- La morfología del municipio de La Vega permite que la automatización de los perfiles sea más óptima, esto debido a las grandes pendientes y quiebres de terreno que tiene.
- El modelo generado tiene dificultades en los resultados cuando las zonas del terreno son de pendientes inferiores al 5%.
- Es necesario contar con un insumo como el modelo digital de terreno como insumo primordial para la ejecución de este proceso, así mismo vale la pena aclarar que entre mayor sea la resolución espacial del modelo, más unidades de laderas se van a generar, en este caso se trabajó con un modelo de 12.5 metros para escala 1:25.000.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). 2012, «Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia, 2010-2011,» Misión BID - Cepal, Bogotá, Colombia, 2012.
- [2] A. M. d. L. V. Cauca, «Esquema de Ordenamiento Territorial La Vega Cauca 2002: EOT La Vega Cauca 2002,» 2002. [En línea]. Available: <https://repositoriocdim.esap.edu.co/handle/123456789/16087>.
- [3] M. Turel, «SOFT COMPUTING BASED SPATIAL ANALYSIS OF EARTHQUAKE TRIGGERED COHERENT LANDSLIDES,» Georgia Institute of Technology , Georgia, 2011.
- [4] ESRI, «Arcgis Desktop,» ESRI, 2019. [En línea]. Available: <https://desktop.arcgis.com/search/?q=fill&collection=help&product=arcgis-desktop&version=10.4&language=es>. [Último acceso: 5 Mayo 2022].
- [5] A. E. i. U. H. S. B. D. Erdem Akagündüz, «DELINIATION OF SLOPE UNITS BASED ON SCALE AND RESOLUTION INVARIANT 3D CURVATURE EXTRACTION,» Department of Electrical and Electronics Engineering, Turkey, 2010.